



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

**Evaluación de los efectos al implementar Carrier
Ethernet sobre tecnologías ópticas de la red SAM-1**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de
Telecomunicaciones

AUTOR

Mery Janeth TURPO CHAYÑA

ASESOR

Mg. Wilbert CHAVEZ IRAZABAL

Lima, Perú

2021



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

Turpo, M. (2021). *Evaluación de los efectos al implementar Carrier Ethernet sobre tecnologías ópticas de la red SAM-1*. [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 | Mery Janeth Turpo Chayña |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 47549090 |
| URL de ORCID | No aplica |
| Datos de asesor | |
| Nombres y apellidos | Wilbert Chavez Irazabal |
| Tipo de documento de identidad | DNI |
| Número de documento de identidad | 08121733 |
| URL de ORCID | https://orcid.org/0000-0002-7978-7031 |
| Datos del jurado | |
| Presidente del jurado | |
| Nombres y apellidos | Jean Carlos Malca Fernandez |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 45535181 |
| Miembro del jurado 1 | |
| Nombres y apellidos | Wilbert Chavez Irazabal |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 08121733 |
| Miembro del jurado 2 | |
| Nombres y apellidos | Teofilo Matias Huablocho Perez |
| Tipo de documento | DNI |
| Número de documento de identidad | 25420840 |
| Datos de investigación | |
| Línea de investigación | Comunicaciones ópticas. |
| Grupo de investigación | No aplica |

| | |
|--|---|
| Agencia de financiamiento | Sin financiamiento |
| Ubicación geográfica de la investigación | Edificio: Leuro País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Miraflores Calle: Av. Paseo de la República 5895. Of. 903 Latitud: -12.12518 Longitud: -77.02372 |
| Año o rango de años en que se realizó la investigación | 2021 |
| 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 INGENIERIA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
PROGRAMA DE TITULACIÓN EXTRAORDINARIA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL Nº 044/FIEE-EPIE/2021

Los suscritos Miembros del Jurado, nombrados por la Comisión Ejecutiva del Programa de Perfeccionamiento Profesional de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha, bajo La Presidencia Del **Mg. Malca Fernandez, Jean Carlos** integrado por **Mg. Chavez Irazabal, Wilbert** y **Ing. Huablocho Perez, Teofilo Matias**.

Después de escuchar la Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional del **Bach. TURPO CHAYÑA, MERY JANETH** con código N° **10190210** que para optar el Título Profesional de Ingeniera de Telecomunicaciones sustentó su Trabajo de Suficiencia Profesional titulada **“EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS AL IMPLEMENTAR CARRIER ETHERNET SOBRE TECNOLOGÍAS ÓPTICAS DE LA RED SAM-1”**

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió **aprobar** otorgándole el calificativo de dieciocho (18)

Ciudad Universitaria, 27 de agosto del 2021


Mg. Malca Fernandez, Jean Carlos
Presidente de Jurado


Mg. Chavez Irazabal, Wilbert
Miembro de Jurado


Ing. Huablocho Perez, Teofilo Matias
Miembro de Jurado

RESUMEN

El presente informe de Trabajo de Suficiencia Profesional titulado “Evaluación de los efectos al implementar Carrier Ethernet sobre tecnologías ópticas de la red SAM-1” contiene la evaluación de la tecnología Carrier Ethernet como una nueva solución que permite extender las redes Ethernet LAN hacia redes MAN y WAN. Para caracterizar la tecnología Carrier Ethernet y facilitar el entendimiento de esta en un escenario real y concreto, se describirá la red Global Carrier Ethernet actualmente implementada sobre el sistema de cable submarino internacional SAM-1 de Telxius que se utiliza para el transporte de altas capacidades que hoy en día el mercado demanda.

Adicionalmente se realizará una serie de pruebas y comparaciones con otras tecnologías de gran capacidad que ya se venían utilizando sobre la red SAM-1 como lo son Ethernet sobre SDH y Ethernet sobre OTN, de modo que se pueda evidenciar los beneficios de optar por Carrier Ethernet como solución de transporte Ethernet en una red de alcance internacional, es decir que la evaluación realizada pueda evidenciar una mejora en los indicadores de operatividad, monitoreo e implementación de la red submarina en cuestión.

Posteriormente, luego de la evaluación y análisis correspondiente se procederá a detallar las conclusiones y recomendaciones finales.

Palabras clave: Carrier Ethernet, LAN, Ethernet, Ciena, red de transporte.

ABSTRACT

This Professional Sufficiency Work report entitled "Evaluation of the effects of implementing Carrier Ethernet on optical technologies of the SAM-1 network" contains the evaluation of Carrier Ethernet technology as a new solution that allows to extend Ethernet LAN networks to MAN networks and WAN. To characterize the Carrier Ethernet technology and facilitate its understanding in a real and concrete scenario, the Global Carrier Ethernet, network currently implemented on the Telxius SAm-1 international submarine cable system that is used for the transport of high capacities that today the market demands, will be described.

Additionally, a series of tests and comparisons will be carried out with other high-capacity technologies that had already been used on the SAM-1 network, such as Ethernet over SDH and Ethernet over OTN, so that the benefits of opting for Carrier Ethernet can be demonstrated as an Ethernet transport solution in an international network, that is, the evaluation carried out may show an improvement in the operational, monitoring and implementation indicators of the subsea network involved.

Subsequently, after the corresponding evaluation and analysis, the final conclusions and recommendations will be detailed.

Key words: Carrier Ethernet, LAN, Ethernet, Ciena, transport network.

INDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| RESUMEN | ii |
| ABSTRACT | iii |
| INDICE DE CONTENIDOS | iv |
| INDICE DE FIGURAS | vi |
| INDICE DE TABLAS | viii |
| I. INTRODUCCION..... | 1 |
| II. INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD..... | 3 |
| 2.1. Institución donde se desarrolló la actividad | 3 |
| 2.2. Periodo de duración de la actividad..... | 3 |
| 2.3. Finalidad y objetivos de la entidad..... | 3 |
| 2.3.1 Finalidad..... | 3 |
| 2.3.2 Objetivos | 3 |
| 2.4. Razón social. | 4 |
| 2.5. Dirección postal. | 4 |
| 2.6. Correo electrónico de la persona a cargo. | 4 |
| III. DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD | 5 |
| 3.1. Organización de la actividad..... | 5 |
| 3.2. Finalidad y Objetivos de la actividad..... | 5 |
| 3.2.1. Finalidad..... | 5 |
| 3.2.2. Objetivo Principal..... | 6 |
| 3.2.3. Objetivos específicos..... | 6 |
| 3.3. Problemática..... | 6 |
| 3.3.1. Problema general | 6 |
| 3.3.2. Problemas específicos..... | 6 |
| 3.3.3. Justificación e importancia de la actividad | 6 |
| 3.4. Metodología..... | 7 |
| 3.4.1. Bases teóricas. | 7 |
| 3.4.2. Marco conceptual. | 8 |
| 3.5. Procedimiento para resolver la problemática..... | 19 |

| | |
|--|----|
| 3.5.1. Presentación de la red SAM-1 y sus servicios con tecnologías legacy. | 20 |
| 3.5.2. Descripción de la red GCE. | 25 |
| 3.6. Presentación de resultados. | 30 |
| 3.6.1. Configuración de un servicio CE y Ethernet. | 30 |
| 3.6.2. Comparación de disponibilidad y continuidad entre G.8032 y SNCP/MSP. | 35 |
| 3.6.3. S&M de los servicios CE y Ethernet encapsulados. | 45 |
| 3.6.4. Comparación de CAPEX de CE y otros servicios. | 49 |
| IV. CONCLUSIONES. | 52 |
| V. RECOMENDACIONES. | 53 |
| VI. BIBLIOGRAFIA. | 54 |
| VII. ANEXOS. | 56 |
| ANEXO N°1. | 57 |
| ANEXO N°2. | 58 |
| ANEXO N°3-A. | 60 |
| ANEXO N°3-B. | 61 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Formato de tramas Ethernet. | 10 |
| Figura 2. Formato de trama 802.1ah. | 11 |
| Figura 3. Arquitectura de una red CE. | 12 |
| Figura 4. Servicios E-Line. | 13 |
| Figura 5. Servicios E-LAN. | 14 |
| Figura 6. Servicios E-Tree. | 14 |
| Figura 7. Servicios E-Access. | 15 |
| Figura 8. Servicios E-Transit. | 15 |
| Figura 9. Canales de un Virtual Ring. | 16 |
| Figura 10. Virtual Ring y Logical Ring. | 17 |
| Figura 11. Elementos de un Ethernet Ring. | 18 |
| Figura 12. Operación de G.8032. | 19 |
| Figura 13. Red SAM-1. | 21 |
| Figura 14. Configuración de 1GBEth compuesto por 7 canales VC4. | 23 |
| Figura 15. Configuración de VCAT y LCAS en un servicio 1GBEth. | 24 |
| Figura 16. Conmutación UNI o Bidireccional en MSP Linear. | 25 |
| Figura 17. Configuración de un Protection Group SNCP en equipos Infinera. | 25 |
| Figura 18. Red Global Carrier Ethernet de Telxius. | 26 |
| Figura 19. Tipos de servicios CE. | 27 |
| Figura 20. Anillos virtuales PAC015 y ATL015. | 28 |
| Figura 21. Servicio EPL del CRM 19464. | 29 |
| Figura 22. Servicio E-Transit de NNI a NNI. | 30 |
| Figura 23. PWSM de 1C para provisionar servicios y anillos CE. | 31 |
| Figura 24. Crossconexiones VC-4 de un 1GBEth en el NE de USA. | 33 |
| Figura 25. Crossconexiones VC-4 de un 1GBEth en el NE de Perú. | 34 |
| Figura 26. Crossconexiones AddDrop y Express de un 10G LAN. | 34 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 27. Protección SNCP por cada canal del servicio..... | 36 |
| Figura 28. Protection Group con SCNP para OTN. | 37 |
| Figura 29. Medición de SDT para servicio #1 de Microsoft protegido con SNCP..... | 38 |
| Figura 30. Medición de SDT para servicio #2 de Microsoft protegido con SNCP | 38 |
| <i>Figura 31. Anillo virtual CAM035 de la GCE.</i> | <i>39</i> |
| Figura 32. Enlace de prueba sobre el anillo virtual RPO026. | 41 |
| Figura 33. Tramas perdidas del primer switch para jumbo frames. | 42 |
| Figura 34. Tramas perdidas del segundo switch para jumbo frames..... | 42 |
| Figura 35. Gráfico de resultados de pruebas SDT..... | 45 |
| Figura 36. Alarmas del equipamiento Ciena en 1C..... | 46 |
| Figura 37. Alarmas del equipamiento Infinera en DNA. | 46 |
| Figura 38. Statistics dentro del PWSM del OneControl. | 48 |
| Figura 39. Tabla de direcciones MAC de un servicio CE..... | 48 |
| Figura 40. Servicio CE conmutado a su ruta protección. | 49 |
| Figura 41. Equipamiento para servicios CE. | 50 |
| Figura 42. Equipamiento Ethernet sobre OTN. | 51 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla N° 1. Segmentos submarinos y terrestres de la red SAm-1..... | 21 |
| Tabla N° 2. Parámetros para configurar un servicio CE con PWSM..... | 32 |
| Tabla N° 3. Service Disruption Time del anillo 64SAM06. | 36 |
| Tabla N° 4. Pruebas de conmutación del anillo CAR035..... | 40 |
| Tabla N° 5. Pruebas de conmutación para el anillo BRA026..... | 43 |
| Tabla N° 6. Pruebas de conmutación para el anillo MAR040. | 43 |
| Tabla N° 7. Pruebas de conmutación para el anillo BRU045..... | 43 |
| Tabla N° 8. Pruebas de conmutación para el anillo LOG050..... | 44 |
| Tabla N° 9. Resumen de pruebas de conmutación..... | 44 |
| Tabla N° 10. Costo de equipamiento CE. | 50 |
| Tabla N° 11. Costo equipamiento para servicios Ethernet sobre OTN. | 51 |

I. INTRODUCCION

Este informe de Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) viene motivado por las conclusiones cada vez más certeras que hablan de una clara tendencia mundial al despliegue de servicios Ethernet, se encuentra conexiones Ethernet desde dispositivos domésticos hasta los Data Centers más importantes. Pero Ethernet como tal se limita a redes de área local y los intentos por utilizarlo en redes de transporte no están claramente definidos, por eso es necesario un Ethernet "Carrier grade"; en este sentido el Metro Ethernet Fórum (MEF) ha desarrollado especificaciones con la finalidad de estandarizar la implementación de redes y servicios Ethernet para carriers.

En primer lugar, se puntualizará los detalles del entorno donde se desarrolló este TSP, seguidamente de los objetivos y problemática del mismo, luego se describirá las ventajas de Carrier Ethernet, así como también sus principales características incluyendo el mecanismo de protección G.8032 definido para resguardar la disponibilidad y continuidad de los servicios Carrier Ethernet.

Para llevar a la realidad la teoría referente a Carrier Ethernet, y reforzar las definiciones y características que en ella se desarrollan, se tomará como caso de estudio las redes y servicios Carrier Ethernet implementados actualmente en la red de cable submarino SAM-1; se procurará detallar la configuración y las pruebas usadas en el proceso de aprovisionamiento de los servicios Carrier Ethernet.

Adicionalmente se realizará un test para comprobar el *service disruption time* (SDT) del mecanismo de protección G.8032 y compararlo con los mecanismos de protección que resguardan los servicios encapsulados sobre SDH y OTN de la red SAM-1. Posteriormente se procederá a comparar los sistemas de gestión (operación y supervisión) y los aspectos económicos de las tecnologías OTN que permiten transportar Ethernet y las tecnologías

Carrier Ethernet, demostrando así la viabilidad y efectividad de implementar Carrier Ethernet en las redes de transporte actuales.

II. INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1. Institución donde se desarrolló la actividad

Telxius Cable Perú

2.2. Periodo de duración de la actividad.

Junio 2018 – febrero 2019

2.3. Finalidad y objetivos de la entidad.

A continuación, se menciona la finalidad y objetivos que Telxius Cable Perú busca obtener con Carrier Ethernet.

2.3.1 Finalidad

Complementar y actualizar la cartera de productos de servicios de capacidad dentro del entorno Ethernet.

2.3.2 Objetivos

- Ofrecer un servicio ethernet basado en tecnología punta de última generación y con certificación MEF 3.0.
- Expandir la funcionalidad de un servicio Ethernet puro, brindando mayor flexibilidad de ancho de banda, uso eficiente de interfaces, transmisión transparente y transporte de alta calidad.
- Permitir un acceso abierto y sin restricciones extremo a extremo, con una red robusta y auto restaurable.

2.4. Razón social.

Telxius Cable Perú S.A.C.

2.5. Dirección postal.

150131

2.6. Correo electrónico de la persona a cargo.

carlos.lopezdorado@telxius.com

III. DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD

3.1. Organización de la actividad.

Para lograr los objetivos y resolver la problemática del presente TSP se plantearon diversas directrices en el siguiente orden:

- Recopilación de la información teórica de Carrier Ethernet y el alcance de su aplicación en redes de alta capacidad.
- Revisión del estado actual de la red SAm-1 para un reconocimiento a priori de las posibles limitaciones de las tecnologías anteriores a Carrier Ethernet.
- Identificación de casos de uso en la red SAm-1 dentro de las tecnologías legacy y dentro de la Global Carrier Ethernet.
- Proceso de recolección de datos adicionales para complementar los aspectos a analizar.
- Evaluación de las funcionalidades de las tecnologías involucradas.
- Presentación de resultados obtenidos.

3.2. Finalidad y Objetivos de la actividad.

3.2.1. Finalidad

Sustentar el caso de la red Global Carrier Ethernet de Telxius Cable Perú para evidenciar la viabilidad y efectividad de implementar Carrier Ethernet en las redes de transporte actuales.

3.2.2. Objetivo Principal

Determinar los efectos de la implementación de Carrier Ethernet sobre tecnologías de transmisión ópticas de la red SAm-1

3.2.3. Objetivos específicos

- Describir la red Global Carrier Ethernet desplegada sobre la red SAm-1 de Telxius.
- Evaluar los beneficios obtenidos al implementar Carrier Ethernet comparado con las tecnologías legacy.

3.3. Problemática.

3.3.1. Problema general

¿Qué efectos se tiene al implementar Carrier Ethernet sobre las tecnologías de transmisión ópticas en la red SAm-1?

3.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo materializar los conceptos de Carrier Ethernet sobre una red actual?
- ¿Cómo favorece a la red SAm-1 la implementación de una red Carrier Ethernet frente a las redes con tecnologías legacy?

3.3.3. Justificación e importancia de la actividad

La creciente tendencia a tener Ethernet como interfaz en el acceso y en la interconexión con otras redes demanda el uso de una red de transporte Ethernet que permita simplemente extender una red LAN de manera

transparente para el tráfico del usuario, es por ello que surge Carrier Ethernet para ofrecer redes y servicios con mayor flexibilidad de ancho de banda, uso eficiente de interfaces, transmisión transparente y transporte de alta calidad.

3.4. Metodología

3.4.1. Bases teóricas.

La aceptación de Ethernet como estándar de conectividad física ha ido creciendo de una manera notable desde su aparición al inicio de la década de los 70s, las diferentes empresas que proveen servicios de telecomunicaciones han ido migrando paulatinamente sus redes de estándares antiguos como Frame Relay, Asynchronous Transfer Mode (ATM), o Synchronous Optical Network (SONET) hacia Ethernet como principal método de transporte. (NTT Communications, 2010)

Ethernet fue concebido para proveer conectividad a redes pequeñas, denominadas de área local Local Area Network (LAN), las mismas que consistían en un grupo de equipos distribuidos en un área geográfica pequeña, como una casa, edificio, etc. y que no se necesitaba de un proveedor de servicios para proveer de conectividad entre los diferentes dispositivos. Las velocidades a las que trabaja Ethernet han ido creciendo desde sus inicios con 3Mbps hasta velocidades de 40Gbps o 100Gbps en la actualidad, destacando así sobre otras tecnologías como Frame Relay, ATM o SONET que no pueden ostentar un crecimiento tan significativo.

Ethernet no muestra señales de desaceleración, sino por el contrario y es por eso que Carrier Ethernet se basa en Ethernet, de modo que la conversión hacia y/o desde otro tipo de protocolos Wide Area Networking (WAN) no es necesaria. Carrier Ethernet puede entenderse como una acertada alternativa para proporcionar un medio transparente mediante la extensión de servicios Ethernet a través de una red WAN. De esta manera se le permite al usuario final tener el control de la conexión solicitada a través del proveedor de servicios, ya que se trata de la extensión de su dominio Ethernet

en capa 2. Los usuarios no requieren intercambiar tablas de ruteo, ni adaptarse o modificar sus protocolos de enrutamiento para acoplarse a la red del proveedor, se da la total autonomía e independencia a los usuarios, sean estos finales, u otros proveedores de servicios.

Las interfaces y servicios Carrier Ethernet están definidos por el MEF y han sido ampliamente adoptados por los proveedores de servicios de todo el mundo. De ahí que Carrier Ethernet no sea una tecnología desconocida, tal como sostiene Ángel Báez en su trabajo de fin de Máster donde se diseña y estudia una red Carrier Ethernet usando equipos Nokia Siemens Network y Juniper para comunicar dos sedes en dos ciudades de España de una empresa mediante un servicio E-Line (Ethernet Line). (Báez Suárez, 2013)

Los servicios Carrier Ethernet pueden ser protegidos o lineares (no protegidos). Cabe mencionar que el uso de una red con una protección Ethernet en capa 2 brinda autonomía con respecto a la red de capa 0/1 que la soporta, debido a que los parámetros de protección se pueden configurar directamente a nivel Ethernet. Esta autonomía brinda la opción de prescindir de una red propia en capas 0/1 y optar por la compra de capacidad a un operador que maneje dichas capas, según indica la investigación realizada por L. Velásquez en su tesis de Diseño de una red multidepartamental Carrier Ethernet. (Velásquez Centeno, 2015)

Es así como Carrier Ethernet está siendo estudiada y adoptada para extender las redes LAN y ofrecer servicios Ethernet transparentes que cumplan los Service Level Agreement (SLA) requeridos en el actual mercado de las telecomunicaciones.

3.4.2. Marco conceptual.

Carrier Ethernet (CE) es la evolución del Ethernet estándar a un formato con mayor capacidad para ofrecer servicios empresariales y extender el alcance de proveedores de redes de transporte. Carrier Ethernet está basado en el Ethernet tradicional con definiciones adicionales y extensiones acordadas para servicios de transporte o servicio proveedor de redes grandes. El Metro Ethernet Fórum (MEF) es el comité que desarrolla los estándares de Carrier

Ethernet y define a CE como un servicio transportador de clase y red que se describe con cinco características distintivas: servicios estandarizados, escalabilidad, confianza, calidad de servicio y administración de servicio. (Title & Janson, 2011)

El MEF es una asociación de la industria de más de 210 organizaciones (operadores, proveedores de servicios, evaluadores de productos, vendedores de productos, fabricantes de equipos y laboratorios de investigación), el cual proporciona un programa de certificación para productos y servicios CE para garantizar el cumplimiento de los estándares. De igual manera, el MEF ofrece programas de certificación para profesionales de redes que buscan expandir sus conocimientos y habilidades para respaldar los productos y servicios de CE.

3.4.2.1. Carrier Ethernet. En CE además de utilizar la trama Ethernet usual, se utiliza otros estándares para desplazar estas tramas hacia redes WAN de modo que permitan a la información poseer una etiqueta distintiva del cliente y de las necesidades que este requiere de la trama. Estos otros estándares serán descritos a continuación:

- Estándar IEEE 802.1q (VLAN)

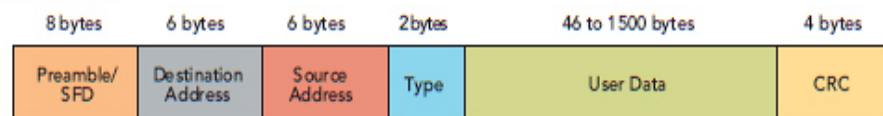
Este estándar provee un etiquetado a las tramas Ethernet con identificador de VLAN (Virtual LAN). El uso de VLANs permite compartir la misma red física mientras mantiene la separación entre las redes virtuales. El equipo que permite realizar esto en una red local es un equipo de capa 2. El estándar 802.1q en realidad no encapsula la trama original, sino que añade un campo de 4 bytes al encabezado Ethernet original. El valor del campo EtherType se cambia a 0x8100 para señalar el cambio en el formato de la trama. (Velásquez Centeno, 2015)

- Estándar IEEE 802.1 ah (Q-in-Q)

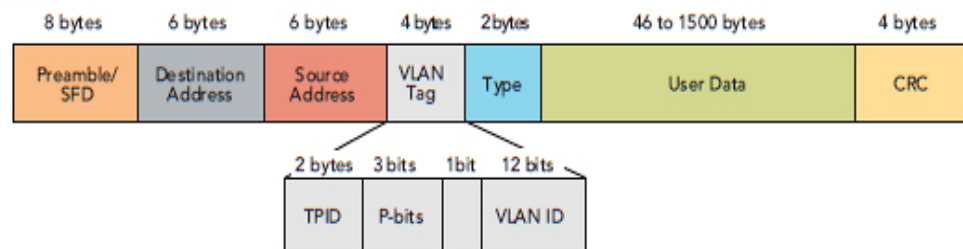
Este estándar le permite a una trama Ethernet soportar varias cabeceras VLANs. Anteriormente se contaba con una limitación en el estándar 802.1q debido a que no podía soportar más de 4096 etiquetas, por lo que se desarrolló este estándar que permite tener más de 2 etiquetas y de esta

manera diferenciar entre etiquetas para clientes y para servicios. Ahora gracias a este estándar se cuenta con etiquetas para clientes o Customer Tag (C-VLAN) y etiquetas para proveedores o Service Tag/Provider Tag (S-VLAN), lo cual permite tener instancias separadas de MACs para servicios de múltiples clientes. (Velásquez Centeno, 2015)

BASIC ETHERNET FRAME



VLAN FRAME



Q-IN-Q FRAME

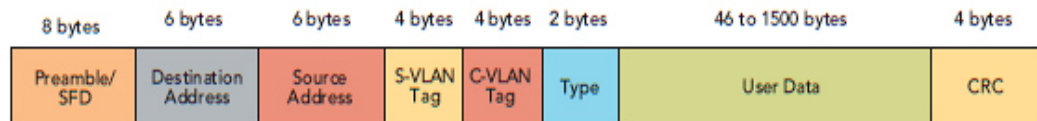


Figura 1. Formato de tramas Ethernet.

Fuente: Ciena Corporations. (2016). Carrier Ethernet. [Figura].
http://www.ciena.com.mx/insights/articles/Carrier-Ethernet-Speeds-Standards-and-Services_es_MX.html

- Estándar IEEE 802.1ah (MAC-in-MAC)

Este estándar define los puentes entre protocolos y una arquitectura para la interconexión de los puentes de las redes del proveedor, lo cual permite tener una interoperabilidad entre operadores además de poder ofrecer más de 16 millones de servicios como 4000 en una sola red interna. La cabecera de un PBB (Provider Backbone Bridge) está compuesta por la dirección MAC de origen y de destino, un identificador de VLAN que proviene del backbone y un identificador de 24 bits que identifica a los servicios (I-SID) y su etiqueta (I-TAG). (Velásquez Centeno, 2015)

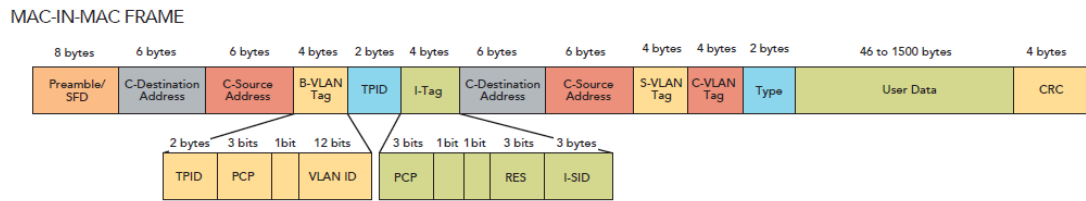


Figura 2. Formato de trama 802.1ah.

Fuente. Ciena Corporations. (2016). Carrier Ethernet. [Figura].
http://www.ciena.com.mx/insights/articles/Carrier-Ethernet-Speeds-Standards-and-Services_es_MX.html

3.4.2.2. CE 2.0. La transmisión de información por una plataforma de transporte Carrier Ethernet requiere también de actualizaciones y mejoras. Es por esto por lo que surge Carrier Ethernet 2.0 (CE. 2.0), definido por el MEF como la siguiente generación de CE.

Básicamente el CE 1.0 fue definido para una única red del proveedor de servicios, mientras que el CE 2.0 ha sido diseñado para facilitar la globalización y la eficiencia en términos de estandarización de la interconexión de las redes de los operadores, mejorando la utilización del ancho de banda y la administración. (Concha R., 2013).

Para encarar los problemas de Class of Service (CoS) presentados en el CE 1.0, el CE 2.0 introduce tres poderosos estándares, la Múltiple Clase de Servicio, la Interconexión y la Manejabilidad o Capacidad de Gestión, mediante el desarrollo de Atributos de Servicio del MEF (MEF Service Attributes: MEF 10.2, 10.2.1, and 26.1), Acuerdos de Implementación (Implementation Agreements: MEF 13, 20 and 23.1) y las Especificaciones de Gestión (Management Specifications: MEF 7.1, 16, 17, 30, and 31).

- Múltiple Clase de Servicio (*Multi-CoS*)

El tráfico se envía sobre múltiples clases de servicio CoS, las mismas que están asociadas con los objetivos y niveles de rendimiento definidos por el MEF, lo que permite una calidad constante del servicio a través de múltiples proveedores.

- Interconexión (*Interconnect*)

El modelo referencial de MEF se centra en dos entidades cliente/proveedor. En CE 2.0 se añade una tercera entidad denominada

“operador”, la misma que se define por quien presta interconexión al proveedor, en caso de que no pueda alcanzar todas las localidades del cliente.

- Administración (*Managability*)

CE 2.0 incluye mejoras en las capacidades de detectar fallas y errores de configuración, para monitorear el desempeño de la red. Adicionalmente provee políticas para el tratamiento del tráfico dentro de los parámetros del SLA, todo lo que esté fuera de lo estipulado en él, es descartado.

3.4.2.3. Tipos de servicios. La arquitectura de red propuesta por el MEF (Figura 3) describe que un servicio Ethernet End-to-End puede atravesar redes de diferentes proveedores, cada uno con sus respectivas topologías y mecanismo Ethernet interconectados por interfaces ENNI, de tal manera que esto sea transparente para el usuario el cual se conectará a través de interfaces UNI.

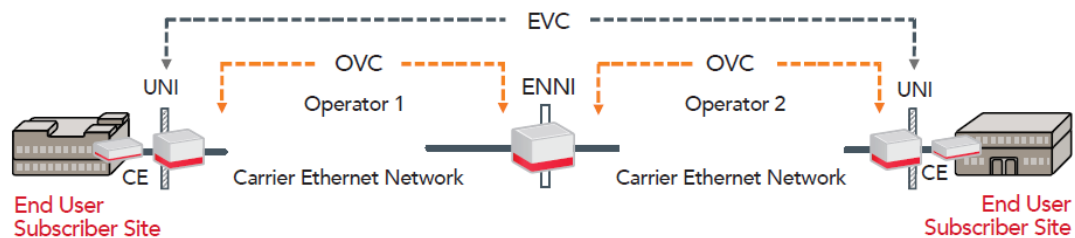


Figura 3. Arquitectura de una red CE.

Fuente. Ciena Corporations. (2016). Carrier Ethernet. [Figura].
http://www.ciena.com.mx/insights/articles/Carrier-Ethernet-Speeds-Standards-and-Services_es_MX.html

- **EVC:** *Ethernet Virtual Connection*. Es la conexión End-to-End de UNI a UNI.
- **OVC:** *Operator Virtual Circuit*. Es el tramo del servicio en una operadora, delimitado por una UNI y/o NNI.
- **UNI:** *User Network Interface*. Es el punto de demarcación física entre la responsabilidad del proveedor del servicio y la responsabilidad del usuario/suscriptor.

- **ENNI:** *External Network to Network Interface*. Es el punto de demarcación física entre la responsabilidad de los dos proveedores de servicios.
- **CE:** *Customer Equipment*.

El MEF viene desarrollando la definición de los servicios Carrier Ethernet desde 2001. Las primeras definiciones (E-Line, E-LAN, E-Tree) ahora forman parte de los catálogos de servicios de la mayoría de los proveedores de servicios. Un poco después se introdujeron los servicios mayoristas E-Access y E-Transit para permitir a los proveedores de servicios enlazar servicios de extremo a extremo usando redes de múltiples operadores.

Servicios E-Line

Permite brindar servicios Ethernet punto-punto (UNI-UNI) (Figura 4). Ethernet Private Line (EPL) utiliza UNIs dedicadas y proporciona un alto grado de transparencia. Ethernet Virtual Private Line (EVPL) permite agrupamiento de servicios sobre una misma UNI, cada servicio se diferencia por el uso de una C-VLAN específica.

E-Line

- **Virtual Private Lines (EPL)**
- **Ethernet Private Lines (EVPL)**
- **Ethernet Internet Access**

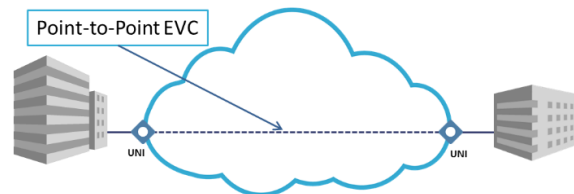


Figura 4. Servicios E-Line.

Fuente. MEF. (2018). CE Services: E-Line. [Ilustración]. Recuperado de <http://www.mef.net/carrier-ethernet/carrier-ethernet-services>

Servicios E-LAN

Permite brindar servicios Ethernet multipunto-multipunto (UNIs-UNIs). Ethernet Private LAN (EP-LAN) y Ethernet Virtual Private LAN (EVP-LAN) comunican una UNI con las demás UNIs conectadas al E-LAN (Figura 5), de esta manera una UNI nueva puede integrarse a la red sin mucha complejidad.

E-LAN

- Multipoint L2 VPNs
- Transparent LAN Service
- Multicast Networks

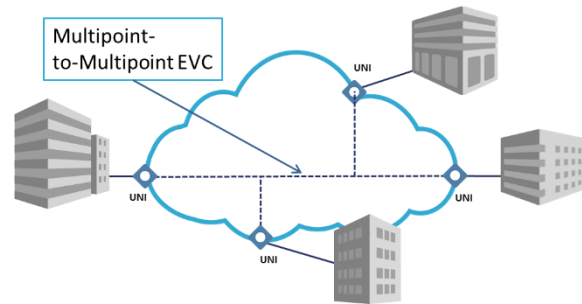


Figura 5. Servicios E-LAN.

Fuente: MEF. (2018). CE Services: E-LAN. [Ilustración]. Recuperado de <http://www.mef.net/carrier-ethernet/carrier-ethernet-services>

Servicios E-Tree

Permite brindar servicios Punto-Multipunto (UNI-UNIs). Puede ser Ethernet Private Tree (EP-Tree) o Ethernet Virtual Private Tree (EVP-Tree). En estos servicios existen 2 tipos de UNI, una denominada root y la otra leaf (Figura 6). La UNI root puede comunicarse con cualquier UNI leaf mientras que la UNI leaf puede comunicarse sólo con una UNI root.

E-Tree

- Rooted Multi-Point L2 VPNs
- Traffic Segregation
- EP-Tree, EVP-Tree

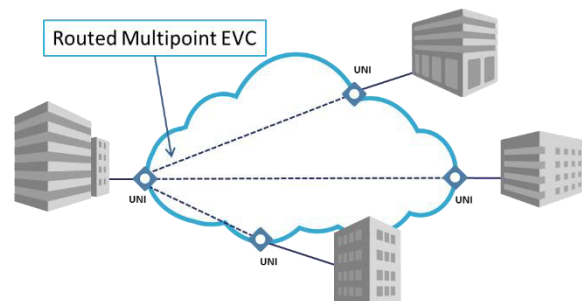


Figura 6. Servicios E-Tree.

Fuente: MEF. (2018). CE Services: E-Tree. [Ilustración]. Recuperado de <http://www.mef.net/carrier-ethernet/carrier-ethernet-services>

Servicios E-Access

Interconecta una UNI y una ENNI. En estos servicios se hace uso del campo S-VLAN, el cual se modifica al pasar de una red a otra y C-VLAN si se requiere. Puede ser Access EPL o Access EVPL.

E-Access

- Wholesale Access Services
- Access EPL
- Access EVPL

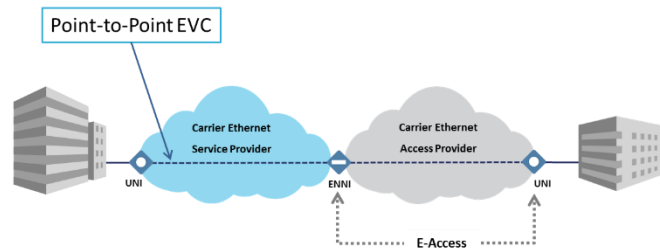


Figura 7. Servicios E-Access.

Fuente. MEF. (2018). CE Services: E-Access. [Ilustración]. Recuperado de <http://www.mef.net/carrier-ethernet/carrier-ethernet-services>

Servicios E-Transit

Interconecta dos ENNI, estos servicios servirán para comunicar dos o más redes Ethernet (OVC) que forman parte del EVC. Pueden ser Transit E-Line o Transit E-LAN.

E-Transit

- Wholesale Transit Services
- Transit E-Line
- Transit E-LAN

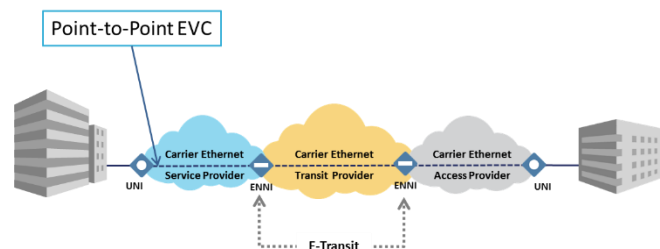


Figura 8. Servicios E-Transit.

Fuente. MEF. (2018). CE Services: E-Transit. [Ilustración]. Recuperado de <http://www.mef.net/carrier-ethernet/carrier-ethernet-services>.

3.4.2.4. Protección G.8032. El Ethernet Ring Protection Switching (ERPS) es una solución desarrollada por la ITU G.8032 como un protocolo diseñado para las topologías en anillo en reemplazo del estándar Spanning Tree Protocol (STP) en equipos de capa 2. Este mecanismo de protección provee eficiente conectividad de la red y rápida restauración del servicio (menor a 50 ms para anillos con menos de 16 nodos y 1200 Km de circunferencia máximo), también puede ser soportado sobre cualquier capa física y de servicio además de poder transportar cualquier tecnología de cliente. (*International Telecommunication Union, 2010*)

En este protocolo de protección se utiliza los conceptos de anillos virtuales creados sobre anillos lógicos los cuales se soportan en la infraestructura física en anillo de la red (Figura 10). Uno o más anillos virtuales (Virtual Ring) son asociados con un anillo lógico (Logical Ring) y cada virtual ring es compuesto por dos canales (Figura 9):

- R-APS Channel – Usado para transporte de información de control del anillo.
- Service Data Channel – Usado para transportar información de tráfico (cliente). Un service data channel transporta un grupo o colección de flujos de tráfico de cliente.

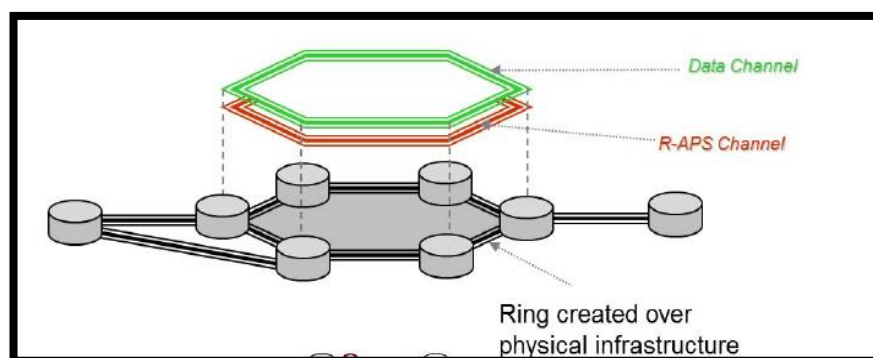


Figura 9. Canales de un Virtual Ring.

Fuente. Ciena Corporations. (2016). Channels of virtual rings [Figura]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

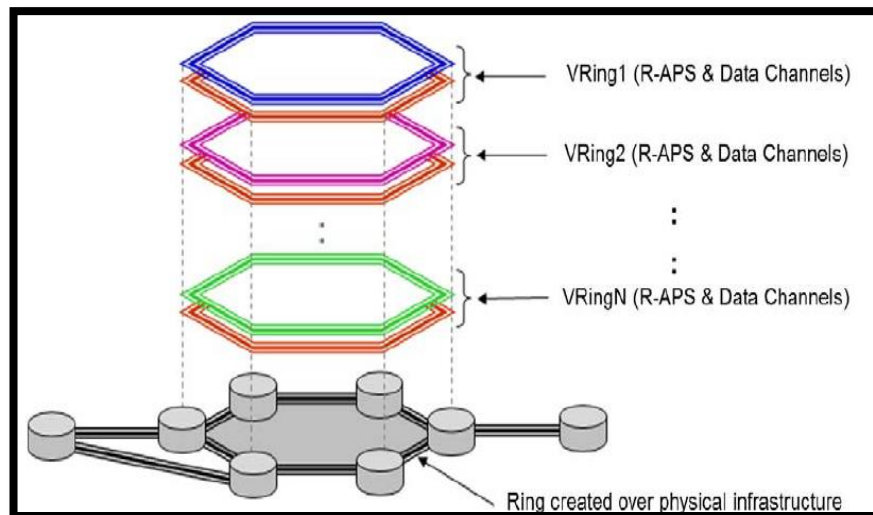


Figura 10. Virtual Ring y Logical Ring.

Fuente. Ciena Corporations. (2016). Structure of virtual rings. [Figura]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C

A continuación se describirá otros conceptos clave que son esenciales para comprender el ERPS:

- **Ethernet Ring.** Una colección de nodos de anillo Ethernet que forman un bucle cerrado por lo que cada nodo está conectado a dos nodos adyacentes. (Figura 11).
- **Ring Protection Link (RPL).** Enlace de protección de anillo que en condiciones normales es bloqueado para el tráfico con el fin de evitar la formación de bucles.
- **RPL Owner.** El nodo de anillo adyacente al RPL que es responsable de bloquear un extremo del RPL en condiciones normales.
- **Channel Block.** Es una regla de entrada / salida en un puerto nodal ERPS de G.8032. La regla de bloque de canal especifica que cualquier tráfico con un VLAN ID recibido sobre este puerto debe ser descartado.
- **Virtual Ring.** un anillo virtual es un grupo de flujos de tráfico que comparten un bloque común de canal (situado en un puerto del nodo propietario del RPL del anillo virtual)
- **R-APS Channel.** Se utiliza exclusivamente para la transmisión de mensajes OAM incluyendo mensajes Ring-Automatic Protection Switching (R-APS).

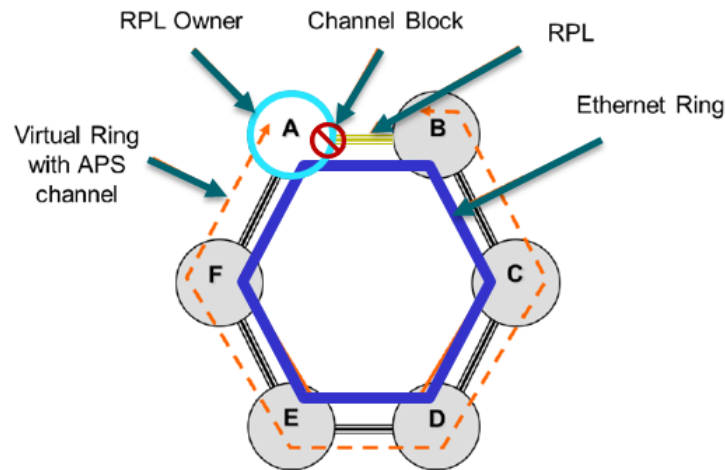


Figura 11. Elementos de un Ethernet Ring.

Fuente. Elaboración propia.

El mecanismo de protección funciona de la siguiente manera (Figura 12):

- Se detecta la falla mediante el Connectivity Fault Management (CFM) y se bloquea los puertos adyacentes al punto donde ocurrió la falla.
- Se espera un tiempo (Hold Off Time) para confirmar la falla (por default = 500ms). El Hold off es el tiempo desde que se detecta la falla hasta que conmuta (mueve el RPL)
- Se envía la información de la falla en un mensaje Fault Indication Message (FIM) por el R-APS channel y se mueve el puerto de bloqueo original.
- Una vez, la falla sea solucionada, se debe esperar un Guard Time (tiempo para confirmar que se recuperó la falla) y comunicar esta recuperación por el R-APS enviando un Recover Indication Message (RIM).
- Luego se espera un tiempo llamado Wait-to-restore (tiempo para verificar la estabilidad de la red antes de reestablecer el RPL original) posteriormente se envía la confirmación de que está bien la red por el R-APS channel.
- Se remueve el bloqueo temporal en el tramo de la falla.

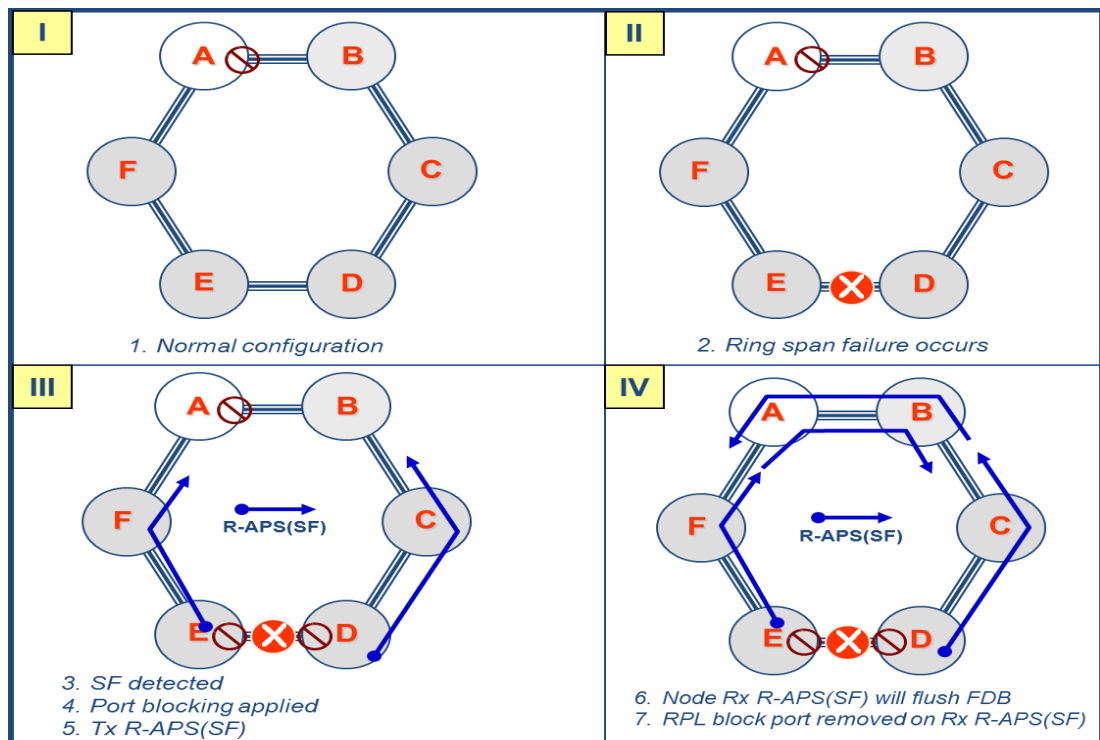


Figura 12. Operación de G.8032.

Fuente. Ciena Corporations. (2016). Resiliency of G.8032. [Figura]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C

Existe también otro mecanismo de protección 1+1 llamado Link Agregation Group (LAG) el cual consiste en tener varias conexiones físicas (physical ports) actuando como si fuera una sola conexión (logical port). LAG es usado para complementar la protección ERPS.

3.5. Procedimiento para resolver la problemática

Para determinar los efectos de la implementación de Carrier Ethernet sobre las tecnologías de transmisión ópticas de la red SAM-1 es necesario en primer lugar conocer sobre los servicios actuales que ofrece Telxius con tecnologías legacy como Ethernet sobre SDH y Ethernet encapsulado en OTN y así poder establecer el contexto que se procura optimizar con la solución recientemente implementada Carrier Ethernet.

3.5.1. Presentación de la red SAM-1 y sus servicios con tecnologías legacy.

El cable submarino SAM-1 provee el medio de transporte de luz para la transmisión óptica DWDM submarina y canales de supervisión DCN (*Data Communication Network*), así como un medio de propagación eléctrico para energizar los amplificadores ópticos. Esta red de cable submarino ofrece servicios SDH, SONET, Ethernet, Gigaethernet y OTN, todos ellos sobre la tecnología DWDM de sus equipos submarinos Tyco Subcom y equipos terrestres Ciena e Infinera.

Está conformado por 15 estaciones de amarre en 9 países.

- Argentina: Las Toninas.
- Brasil (4 estaciones): Santos, Río de Janeiro, Salvador y Fortaleza
- Puerto Rico: San Juan
- Estados Unidos: Boca Ratón
- Guatemala (2 estaciones): Puerto San José y Puerto Barrios
- Perú (2 estaciones): Lurín y Máncora.
- Chile (2 estaciones): Arica y Valparaíso.
- Ecuador: Salinas
- Colombia: Barranquilla

También conformado por aproximadamente 20 POPs (*Point Of Presence*) formando segmentos terrestres y backhaul en los países que interconecta (Figura 13).



Figura 13. Red SAM-1.

Fuente: Telxius Perú. (2016). Red SAM-1. [Figura]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

La red SAM-1 como sistema de telecomunicaciones se basa en un doble anillo auto restaurable de fibra óptica monomodo de 27 300 Kilómetros de longitud (Tabla N°1) operando en segunda ventana ($\lambda=1310\text{nm}$).

Tabla N° 1. Segmentos submarinos y terrestres de la red SAM-1.

| Segmento | Longitud (km) | Extremo 1 | Extremo 2 |
|----------|---------------|------------------------|------------------------|
| A | 2155 | Las Toninas, Argentina | Santos, Brasil |
| B | 436 | Santos, Brasil | BU-2 |
| C | 225 | BU-2 | Rio de Janeiro, Brasil |
| D | 1957 | BU-2 | BU-1 |
| E | 286 | BU-1 | Salvador, Brasil |

| | | | |
|----------------------|------|----------------------------|----------------------------|
| F | 1681 | BU-1 | Fortaleza, Brasil |
| G | 4386 | Fortaleza, Brasil | San Juan, Puerto Rico |
| G1 | 1215 | San Juan, Puerto Rico | BU-5 |
| G2 | 202 | BU-5 | Barranquilla, Colombia |
| G3 | 10 | BU-5 | Stub |
| H | 1958 | San Juan, Puerto Rico | Boca Ratón, USA |
| I | 512 | Boca Ratón, USA | BU-4 |
| J | 10 | BU-4 | Stub |
| K | 1230 | BU-4 | Puerto Barrios, Guatemala |
| Terrestre N°2 | 482 | Puerto Barrios, Guatemala | Puerto San José, Guatemala |
| L | 1569 | Puerto San José, Guatemala | BU-3 |
| M1 | 680 | BU-3 | BU-3A |
| M2 | 112 | BU-3A | Salinas, Ecuador |
| M3 | 226 | BU-3A | Máncora, Perú |
| N | 2238 | BU-3 | Lurín, Perú |
| O | 1311 | Lurín, Perú | Arica, Chile |
| P | 1877 | Arica, Chile | Valparaíso, Chile |
| Terrestre N°1 | 2588 | Valparaíso, Chile | Las Toninas, Argentina |

Fuente. Telxius Perú. (2016). Segmentos de la red SAM-1. [Tabla]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Además de los países donde ya se tiene presencia, la red SAM-1 de Telxius se apoya con otros cables submarinos para extender su cobertura:

- **PCCS** (Pacific Caribbean Cable System) donde Telxius es miembro del consorcio y tiene capacidad en este cable submarino. PCCS comunica EEUU, Puerto Rico, Curaçao, Colombia, Panamá y Ecuador.
- **UNISUR** comunica Uruguay y Argentina, es un cable submarino punto-punto. Telxius como copropietario tiene capacidad en este cable.
- **MAREA** es una red de cable submarino en el que Telxius, Microsoft y Facebook se unieron para brindar capacidad en Europa y América. MAREA conecta España y EEUU atravesando el océano Atlántico.
- **BRUSA** es un cable trasatlántico submarino que conecta Brasil y EE. UU., este sistema de cable es de propiedad completa de Telxius e inició operaciones en 2018.

El mapa completo de las redes mencionadas anteriormente se puede visualizar mejor en el Anexo N°1.

Antes de implementar la red Global Carrier Ethernet en la red SAM-1 de Telxius, ya se ofrecía servicios Ethernet y Gigaethernet encapsulados en SDH o también llamados Ethernet over SDH (EoSDH) y encapsulados sobre OTN (10G LAN PHY y 10G WAN PHY). Sin embargo, éstos no son totalmente transparentes y no tienen la granularidad flexible que Ethernet en sus múltiples estándares ofrece.

Para el transporte de servicios EoSDH, SDH utiliza técnicas de mejora llamadas VCAT y LCAS. El Virtual Concatenation (VCAT) es la concatenación virtual que permite la multiplexación inversa de canales virtuales VC-12, VC-3 y VC-4, los cuales son encaminados independientemente. Por ejemplo, para formar 1Gbps se necesita 7 canales VC-4 para formarlo, cada VC-4 entra en un STM-1 (155Mbps) y cada uno de los 7 canales pueden configurarse y operar independientemente (Figura 14). En la red SAM-1 el equipamiento que permite realizar esto es la tarjeta NTK535LA y NTK535FA junto a los módulos NTPP01CF de 1GE (Figura 15) del fabricante Ciena.

The screenshot shows the 'Path Connections' tab in the Site Manager software. The filter is set to 'Rate: (All) : Shelf: (5) : Slot: (4) : Port: (3) : J-K (All)'. The 'Rate' dropdown is set to 'All' and the 'Slot' dropdown is set to '4'. Below the filter, there is a table with the following columns: Connection ID, From, To, PRIME, Rate, and Type. The table contains 7 rows of data, all with a Rate of 'VC4' and Type of '2WAY (Bidirectional)'.

| Connection ID | From | To | PRIME | Rate | Type |
|---------------|-----------------|-------------|-------|------|----------------------|
| 19296 | STM64-5-11-1-8 | WAN-5-4-3-1 | OSS | VC4 | 2WAY (Bidirectional) |
| 19296 | STM64-5-11-1-9 | WAN-5-4-3-2 | OSS | VC4 | 2WAY (Bidirectional) |
| 19296 | STM64-5-11-1-17 | WAN-5-4-3-3 | OSS | VC4 | 2WAY (Bidirectional) |
| 19296 | STM64-5-11-1-20 | WAN-5-4-3-4 | OSS | VC4 | 2WAY (Bidirectional) |
| 19296 | STM64-5-11-1-21 | WAN-5-4-3-5 | OSS | VC4 | 2WAY (Bidirectional) |
| 19296 | STM64-5-11-1-22 | WAN-5-4-3-6 | OSS | VC4 | 2WAY (Bidirectional) |
| 19296 | STM64-5-11-1-30 | WAN-5-4-3-7 | OSS | VC4 | 2WAY (Bidirectional) |

Figura 14. Configuración de 1GBEth compuesto por 7 canales VC4.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión Site Manager. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Node Information | Equipment & Facility Provisioning

Shelf: 5

Equipment

| Unit | Primary State | Secondary State | Provisioned PEC | Equipment Mode | Equipment Profile | Equ Prof |
|-----------------|---------------|-----------------|---|----------------|-------------------|----------|
| P155622M-5-3-14 | IS | Idle | NTTP04BF: OC-3/12/STM-1/4 SR-1/1-1_J-4 1310nm SFP | - | - | - |
| P155622M-5-3-15 | IS | Active | NTTP04BF: OC-3/12/STM-1/4 SR-1/1-1_J-4 1310nm SFP | - | - | - |
| P155622M-5-3-16 | IS | Active | NTTP04BF: OC-3/12/STM-1/4 SR-1/1-1_J-4 1310nm SFP | - | - | - |
| SMUX-5-4 | IS | Active | NTK535FA: SuperMux 24 Port I/O 1xVFP/10xSFP | XC: Cross-c... | GFP-F | VC4 |
| PGEFC-5-4-2 | IS | Active | NTTP01CF: GE LX (10k)FC100 SM 1310nm LC SFP | - | - | - |
| PGEFC-5-4-3 | IS | Active | NTTP01CF: GE LX (10k)FC100 SM 1310nm LC SFP | - | - | - |
| PGEFC-5-4-4 | IS | Active | NTTP01CF: GE LX (10k)FC100 SM 1310nm LC SFP | - | - | - |
| PGEFC-5-4-6 | IS | Active | NTTP01CF: GE LX (10k)FC100 SM 1310nm LC SFP | - | - | - |

Facility Type: WAN Facility Auto Refresh

| Unit | Primary State | Secondary State | Basic Rate | Packet Mapping | Virtual Concatenation | Link Connectivity Monitor | Link Capacity Adjustment Scheme | Provisioned Units | Actual Units | Provisioned Reception Units |
|-----------|---------------|-----------------|------------|----------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------|--------------|-----------------------------|
| WAN-5-4-3 | OOS-MA | | VC4 | GFP-F | Enable: Grouped | Disable | Enable | 7 | 0 | 7 |

Edit facility WAN-5-4-3 on PGEFC-5-4-3 - NAP-MSPP-05

Virtual concatenation: Enable: Grouped

Link capacity adjustment scheme: Enable

Frame checksum: 32

Conditioning type: GFP CMF

GFP RFI: Disable

GFP CMF UPI: 0

Round trip delay status: Enable

Figura 15. Configuración de VCAT y LCAS en un servicio 1GBEth.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión Site Manager. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

También se introdujo la técnica Link Capacity Adjustment Scheme (LCAS) que permite reducir/ampliar el ancho de banda otorgando mayor flexibilidad a la red en caso de alguna avería en un canal SDH, es decir que si alguno de los canales del servicio falla, los otros canales pueden seguir operando sin problemas lo cual no ocurre en los servicios SDH, por ejemplo en un servicio STM-4 conformado por 4 canales STM-1, si uno llegase a fallar, el resto de canales, es decir el servicio STM-4 se vería afectado por ello.

Para la protección de los servicios EoSdh, al viajar por redes SDH se pueden proteger con los esquemas de protección SDH Multiplexing Section Protection Linear (SDH MSP Linear) si es una red punto a punto, o Sub-Network Connection Protection (SNCP) si se configura por un anillo. MSP Linear opera de manera unidireccional o bidireccional, tiene un enlace Working y otro llamado Protection, cada dirección de la comunicación puede protegerse (conmutar) independientemente o ambos al mismo tiempo (Figura 16). Esta protección es a nivel del puerto de línea (puerto agregado) de la red. Mientras que en un anillo SNCP, la conmutación se realiza por cada circuito

configurado por el anillo SDH y se protege la ruta corta (camino más corto entre los extremos del servicio) con la ruta larga.

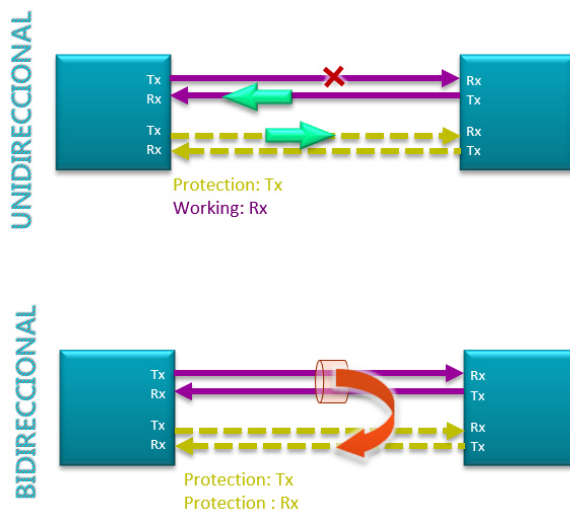


Figura 16. Conmutación UNI o Bidireccional en MSP Linear.

Fuente. Elaboración propia.

Los servicios encapsulados sobre OTN como ya se mencionó pueden ser 10G LAN PHY o 10G WAN PHY, ambos se transportan por enlaces o troncales OTN y pueden protegerse configurando SNCP en cada extremo del servicio.

| Node | Name | Label | Type | Reliable TP AID | Revertive | PU #1 | PU #2 | WTR | | | | | | | |
|----------|---------|----------|-------------|-----------------|-----------|----------|--------------|---------------|------|----------|------------|---------------------|------|------|---|
| Santos | 19284 P | Neutrons | 1-port DSNC | 20-A-3-T1-1 | Yes | DTF Path | 20-A-3-L1-10 | Act (Working) | None | None | 5 | | | | |
| Teremark | 19284 P | Neutrons | 1-port DSNC | 1-A-3-T1-2 | Yes | DTF Path | 1-A-3-L1-10 | Act (Working) | None | DTF Path | 1-A-4-L1-3 | HotSby (Protecting) | None | None | 5 |

Figura 17. Configuración de un Protection Group SNCP en equipos Infinera.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión DNA Infinera. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

3.5.2. Descripción de la red GCE.

XFP de 10G/OTU2/OTU2e (NTTP84BA); éste hardware es un equipamiento de capa 2 sin embargo no tiene todas las funcionalidades de un switch, los puertos o módulos de las eMOTR pueden configurarse como interfaces UNI, E-NNI o I-NNI, para conectarse con cliente, proveedor o formar anillos/redes CE respectivamente.

Los servicios que se ofrecen actualmente en la red GCE son EPL, EVPL, Access EPL, Access EVPL y Transit E-Line; sin embargo, la finalidad es llegar a operar todos los tipos de servicios CE (Figura 19).

| | Service Type | Port-based Service | VLAN-aware Service |
|---------------------------------------|--------------------|--|---|
| EVC Services | E-Line P2P EVC | Ethernet Private Line (EPL) | Ethernet Virtual Private Line (EVPL) |
| | E-LAN MP2MP EVC | Ethernet Private LAN (EP-LAN) | Ethernet Virtual Private LAN (EVP-LAN) |
| | E-Tree RMP EVC | Ethernet Private Tree (EP-Tree) | Ethernet Virtual Private Tree (EVP-Tree) |
| OVC Services | E-Access | Access EPL Access E-Line P2P OVC with 1 UNI and 1 ENNI | Access EVPL |
| | | Access E-LAN MP2MP OVC with UNI(s) and 1 ENNI | |
| | E-Transit | Transit E-Line P2P OVC with 2 ENNIs | |
| Transit E-LAN MP2MP OVC with ENNIs | | | |

EVC: Ethernet Virtual Connection MP2MP: Multipoint-to-Multipoint EPL: Ethernet Private Line
OVC: Operator Virtual Connection RMP: Rooted MultiPoint EVPL: Ethernet Virtual Private Line
P2P: Point-to-Point

Figura 19. Tipos de servicios CE.

Fuente: Ciena Corporations. (2018). Tipos de servicios. [Ilustración]. Recuperado de http://www.ciena.com.mx/insights/articles/Carrier-Ethernet-Speeds-Standards-and-Services_es_MX.html

Para comprender mejor los beneficios de utilizar redes y servicios CE se describirá a continuación algunos de los anillos y servicios activos de la red GCE:

- Anillo lógico SAM015 y anillos Virtuales PAC015 y ATL015.

Como ya se explicó anteriormente, ERPS (G.8032) se basa en el uso de anillos lógicos y virtuales, en la red GCE la infraestructura con topología en anillo coincide con la ruta de cada anillo lógico (SAM015), y

sobre cada anillo lógico se configuran anillos virtuales, en este caso los dos anillos virtuales se diferencian por el RPL, en uno de ellos el RPL bloquea un tramo del lado Oeste de la red GCE y en el otro anillo se bloquea un tramo del lado Este de la red GCE (Figura 20), de modo que en un anillo la conexión Norteamérica con Sudamérica se hace por la ruta del Pacífico (PAC015) y en el otro se hace la conexión vía el océano Atlántico (ATL015).

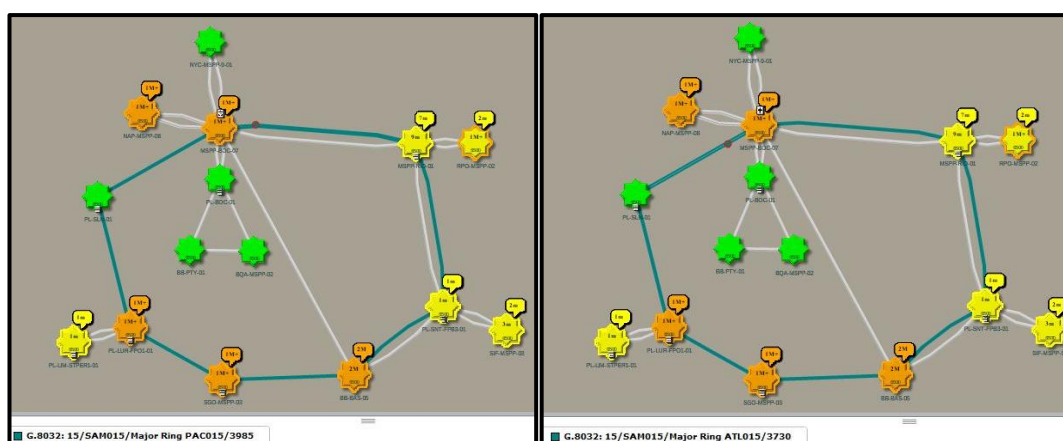


Figura 20. Anillos virtuales PAC015 y ATL015.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión OneControl. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Los anillos lógicos y virtuales de la red GCE y la distribución de los LAG correspondientes se aprecian mejor en el diagrama topológico del Anexo N°2.

- Servicio E-Line EPL (Circuit ID CRM 19464)

Este servicio de capacidad 5GB conecta dos extremos UNI con Ethertype 8100, un extremo localizado en Barracas (BAS) y el otro en New York (NYC). El servicio por ser EPL puede o no contener una VLAN (inner VLAN) en cada trama entrante por el puerto UNI. Una vez que ingresa a la red GCE, se mantiene el Ethertype (8100) de la interfaz UNI sin embargo se le agrega un campo adicional de VLAN (outer VLAN) este valor de VLAN es la P-VLAN, VLAN del proveedor que sirve para administrar el servicio dentro de la red GCE de Telxius, esta P-VLAN se agrega a la

trama cuando ingresa por la UNI y se retira al salir por la UNI del otro extremo (Figura 21).

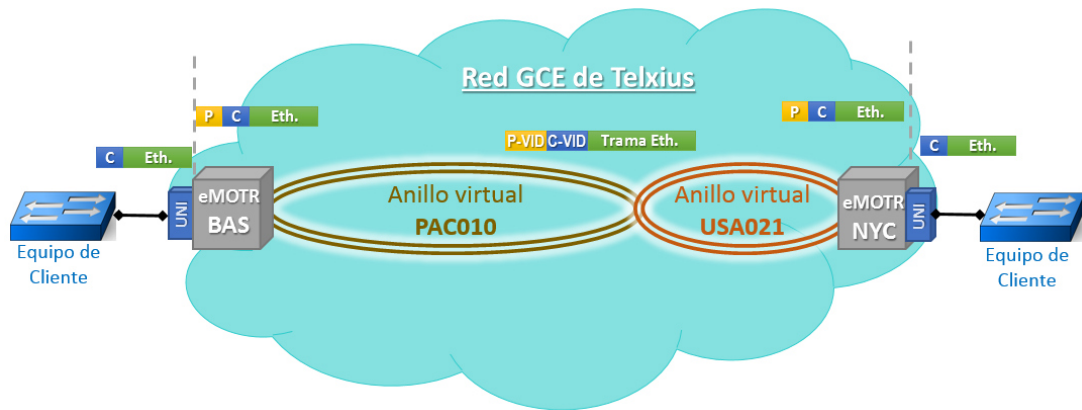


Figura 21. Servicio EPL del CRM 19464.

Fuente. Elaboración propia.

- Servicio Transit E-Line (Circuit ID CRM 18579)

Los beneficios de tener interfaces NNI es que permiten extender los servicios CE a través de la red de proveedores que también cuentan con redes CE, en este caso el servicio end-to-end (EVC) va desde Santiago (SGO) a Sao Paulo (SIF), pasando por las redes CE de Entel, Telxius y Masergy. El OVC correspondiente a Telxius se conforma por un enlace NNI-NNI, la NNI con Entel opera con Ethertype 88a8 y la NNI de Masergy opera con Ethertype 8100, la diferencia radica en que en la red de Entel la interface NNI (Q-in-Q) podrá mapear y distinguir los servicios entrantes por sus valores de C-VLAN en caso se requiera, sin embargo en la NNI de Masergy (VLAN) las tramas no se podrán distinguir y serán enviadas a un mismo destino dentro de la red de Masergy. Es importante mencionar que en cada interface NNI ocurre un intercambio de la S-VLAN/P-VLAN acorde a la VLAN que operará cada proveedor en su red, es decir, un servicio entra en la red CE de Entel, Entel agrega su campo de S-VLAN (3264) a la trama y así se traslada hasta la interface NNI con Telxius, donde el campo S-VLAN se modifica (extrae el valor 3264 y se cambia por el valor P-VLAN de Telxius: 113) con la P-VLAN de Telxius la trama llega hasta la

NNI de Masergy, donde se vuelve a modificar la S-VLAN (extrae el valor 113 y se coloca el valor S-VLAN de Masergy: 1305). El proceso de encapsulamiento de VLAN se puede observar en la siguiente figura (Figura 22).

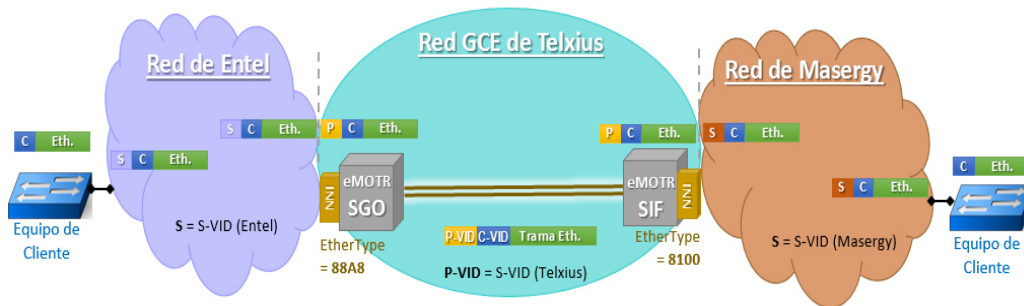


Figura 22. Servicio E-Transit de NNI a NNI.

Fuente. Elaboración propia.

3.6. Presentación de resultados.

En esta sección, se mostrará el análisis durante la evaluación de las funcionalidades de operatividad, monitoreo e implementación de la red GCE frente las tecnologías legacy de la red SAm-1 y los resultados obtenidos de ello serán indicados en base a cada criterio empleado para evaluar los principales aspectos relacionados a la configuración, indicadores de indisponibilidad del servicio, supervisión e implementación de cada una de las tecnologías.

3.6.1. Configuración de un servicio CE y Ethernet.

La configuración de servicios y anillos sobre la red GCE puede realizarse por comandos (lenguaje de programación TL1) vía la herramienta Service-Aware Operating System (SAOS) o por la herramienta Packet Wavelength Service Management (PWSM) del sistema de gestión OneControl

del fabricante Ciena, que es un entorno gráfico más amigable para la creación de enlaces CE (Figura 23).

The screenshot shows the OneControl Desktop interface for provisioning services. The left panel is titled 'Service Provisioning' and shows configuration for an Ethernet service. Key settings include:

- Type: EPPL
- Routing: Implicit
- Core transport: G.8032
- Start node: PL-BOC-01
- End node: RPO-MSPP-02
- Port type: UNI
- Maximum transmission unit: 9600
- Control frame tunneling: checked
- Resolved CoS mapping: Fixed
- Priority bit: 7
- 802.1ag continuity check: checked

The right panel shows a network topology with nodes like NYC-MSPP-01, NAP-MSPP-02, and RPO-MSPP-02. Below the topology is a 'Selector' table with the following data:

| Start port | End port | Route |
|-------------------------------------|-------------------------------|--|
| PL-BOC-01-EQGTGRP-18-101-9/2 [ETH] | RPO-MSPP-02-EQGTGRP-4-101-... | G.8032:22/USA022/BOC022/3981 G.8032:15/SAM015/ATL015/3730 G.8032:26/BRA026/RPO026/3974 |
| PL-BOC-01-EQGTGRP-18-101-10/1 [ETH] | RPO-MSPP-02-EQGTGRP-4-101-... | G.8032:22/USA022/BOC022/3981 G.8032:15/SAM015/ATL015/3730 G.8032:26/BRA026/RPO026/3974 |
| PL-BOC-01-EQGTGRP-18-101-10/1 [ETH] | RPO-MSPP-02-EQGTGRP-4-101-... | G.8032:22/USA022/BOC022/3981 G.8032:15/SAM015/ATL015/3730 G.8032:26/BRA026/RPO026/3974 |
| PL-BOC-01-EQGTGRP-18-101-9/2 [ETH] | RPO-MSPP-02-EQGTGRP-4-101-... | G.8032:22/USA022/BOC022/3981 G.8032:15/SAM015/ATL015/3730 |

Figura 23. PWSM de 1C para provisionar servicios y anillos CE.

Fuente: Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión OneControl. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Para la configuración de servicios CE previamente ya debe existir los anillos lógicos y virtuales por los cuales pasará el servicio y tener asignados los puertos tributarios extremos (UNI o NNI). Los principales parámetros para la provisión de servicios CE son los que se muestran en la tabla siguiente (Tabla N°2).

Tabla N° 2. Parámetros para configurar un servicio CE con PWSM.

| | | | |
|---|--|--|--|
| PROFILE | Ethernet | Se usa para provisionar los servicios CE. | |
| | G.8032 | Se elige para provisionar anillos lógicos y virtuales. | |
| TYPE | EPL | | |
| | EVPL | | |
| | EP-TREE | | |
| | EVP-TREE | | |
| *Los servicios E-LAN son creados a partir de un servicio E-Line preexistente. | | | |
| ROUTING | Explícito | Cuando el configurador elige cada nodo por el que pasará el servicio. | |
| | Implícito | Permite al sistema de gestión (OneControl) buscar las rutas disponibles acorde al resto de parámetros especificados. | |
| TRANSPORT | Automatic | OneControl no discrimina el tipo de protección y busca todas las opciones. | |
| | G.8032 | Se elige cuando el servicio a provisionar es protegido con G.8032. | |
| | Linear | Se elige para provisionar enlaces no protegidos. | |
| START NODE | Slot | Se selecciona el nodo inicial y se coloca, si ya se tiene definido, el slot (tarjeta) y puerto tributario | |
| | Puerto | | |
| | Client protection | LAG or NONE, LAG, NONE | |
| | Adjust Port Setting | Auto negotiation: Enable o Disable | |
| | | Máximum Transmission Unit. | |
| | Port Type | UNI o ENNI | |
| | Customer VID range | Rango de C-VLAN IDs aceptados por un EVPL. | |
| | Policing | CIR (Committed Information Rate): Tasa que se asegura al cliente. | |
| | | EIR (Excess Information Rate): Exceso de ancho de banda que podría brindarse si no está saturada la red. | |
| | | CBS (Committed Burst Size): Máximo ancho de banda del medio. | |
| EBS (Excess Burst Size). | | | |
| 802.1ag | Enable o Disable. CFM (Connectivity Fault Management). Monitorea la red en capa 2, sirve para detectar las fallas en capa 2. | | |
| END NODE | Seleccionar el nodo final (si es un anillo, debe cerrar el anillo). | | |
| SERVICE ID | ID del servicio Ethernet que estamos provisionando. | | |
| PROVIDER VID | S-Tag/Service VLAN de Telxius. | | |

Fuente: Elaboración propia.

Una vez configurados, los servicios son probados para asegurar el correcto funcionamiento del OVC de Telxius, lo que se denomina tramo On-Net, las pruebas que se realizan son las siguientes:

- Bit Error Rate Test (BERT): para probar la continuidad del servicio sin errores por 24 horas.

- RFC2544: pruebas específicas para Ethernet con el objetivo de verificar los atributos clave del servicio al momento de realizar su activación (Latencia, Throughput y Frame Loss).
- Y.1564: Metodología de pruebas de activación del servicio Ethernet que incluye una RFC2544 y medición del SLA (CIR) del servicio.

Por otro lado, el aprovisionamiento de servicios Ethernet encapsulados requiere tener bien definida la ruta, ya que el servicio se va configurando en cada uno de los nodos de la ruta que atraviesa (Figura 24, Figura 25), y por cada canal necesario hasta completar la capacidad del servicio, por ejemplo un enlace 1GbEth de USA a Guatemala utiliza 7 canales VC-4 atraviesa 4 nodos o Network Elements (NE), por lo que el total de crossconexiones lógicas a crear sería 28 únicamente para éste servicio.

| Connection ID | From | To | PRIME | Switch Mate | Destination Mate | Rate | Type | Revertive | Guard Time |
|---------------|-----------------|------------------|-------|-----------------|------------------|------|----------------------------------|-----------|------------|
| 11991 | STM15-24-5-7-8 | STM64-24-3-2-8 | OSS | | | VC4 | ZWAY (Bidireccional) | | |
| 11991 | STM15-24-5-7-4 | STM64-24-3-2-11 | OSS | | | VC4 | ZWAY (Bidireccional) | | |
| 11991 | STM15-24-5-7-5 | STM64-24-3-2-12 | OSS | | | VC4 | ZWAY (Bidireccional) | | |
| 11991 | STM15-24-5-7-7 | STM64-24-3-2-14 | OSS | | | VC4 | ZWAY (Bidireccional) | | |
| 12254 | STM64-24-1-19 | STM15-24-5-10-10 | OSS | STM64-24-2-1-19 | STM15-24-5-10-10 | VC4 | ZWAYPR (Bidirectional Path Ring) | Yes | 0.1 |
| 12254 | STM64-24-1-1-20 | STM15-24-5-10-11 | OSS | STM64-24-2-1-20 | | VC4 | ZWAYPR (Bidirectional Path Ring) | Yes | 0.1 |
| 12254 | STM64-24-1-1-18 | STM15-24-5-10-9 | OSS | STM64-24-2-1-18 | | VC4 | ZWAYPR (Bidirectional Path Ring) | Yes | 0.1 |
| 12254 | STM64-24-1-1-21 | STM15-24-5-10-12 | OSS | STM64-24-2-1-21 | | VC4 | ZWAYPR (Bidirectional Path Ring) | Yes | 0.1 |
| 12254 | STM64-24-1-1-15 | STM15-24-5-10-7 | OSS | STM64-24-2-1-15 | | VC4 | ZWAYPR (Bidirectional Path Ring) | Yes | 0.1 |
| 12254 | STM64-24-1-1-22 | STM15-24-5-10-13 | OSS | STM64-24-2-1-22 | | VC4 | ZWAYPR (Bidirectional Path Ring) | Yes | 0.1 |
| 12254 | STM64-24-1-1-17 | STM15-24-5-10-8 | OSS | STM64-24-2-1-17 | | VC4 | ZWAYPR (Bidirectional Path Ring) | Yes | 0.1 |
| 12565 | STM15-24-5-8-5 | STM64-24-3-2-31 | OSS | | | VC4 | ZWAY (Bidireccional) | | |
| 12565 | STM15-24-5-8-4 | STM64-24-3-2-30 | OSS | | | VC4 | ZWAY (Bidireccional) | | |

Figura 24. Crossconexiones VC-4 de un 1GBEth en el NE de USA.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión Site Manager. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

| Connection ID | From | To | PRIME | Switch Mate | Destination Mate | Rate | Type | Revertive | Guard Time |
|---------------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|------------------|------|----------------------------------|-----------|------------|
| 10914 | STM64-19-3-2-19 | STM64-19-3-1-9 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |
| 11036 | STM64-19-5-2-49 | STM64-19-5-2-49 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |
| 12254 | STM64-19-2-2-20 | STM64-19-1-2-20 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |
| 12254 | STM64-19-2-2-21 | STM64-19-1-2-21 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |
| 12254 | STM64-19-2-2-22 | STM64-19-1-2-22 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |
| 12254 | STM64-19-2-2-16 | STM64-19-1-2-16 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |
| 12254 | STM64-19-2-2-19 | STM64-19-1-2-19 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |
| 12254 | STM64-19-2-2-18 | STM64-19-1-2-18 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |
| 12254 | STM64-19-2-2-17 | STM64-19-1-2-17 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |
| 12729 | STM64-19-6-2-10 | WAN-19-12-1-1 | OSS | STM64-19-5-2-10 | | VC4 | 2WAYPR (Bidirectional Path Ring) | Yes | 0.1 |
| 12983 | STM64-19-2-2-33 | STM64-19-1-2-33 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |
| 13050 | STM64-19-2-2-14 | STM64-19-1-2-14 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |
| 13050 | STM64-19-2-2-9 | STM64-19-1-2-9 | OSS | | | VC4 | 2WAY (Bidirectional) | | |

Figura 25. Crossconexiones VC-4 de un 1GBEth en el NE de Perú.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión Site Manager. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Aunque no siempre es elevada la cantidad de crossconexiones lógicas a crear, si se demanda un servicio 10G LAN, solo sería necesario crear las crossconexiones lógicas en cada extremo y puertos tributarios intermedios solo si se requiere realizar regeneración del servicio en esos puntos, además de crossconexiones *express*, es decir conectar los canales ópticos (ODU2) por los que pasa (Figura 26).

| Op... | Node | Node Label | CID | Label | Create M... | Service Rate | Network M... | Connectivity | Src Endpoint | Interm... | Dst Endpoint |
|-------|----------------|-----------------|-------|-----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|---------------------|
| ✓ | DTN-VAL-FP4-01 | Valparaiso | 19406 | INTERNEXA | Manual | 10G | NA | Express | 5-A-5-L1-9 | | 5-A-5-L2-1 |
| ✓ | DTX-SNT-FP3-01 | Santos DTN-X | 19406 | INTERNEXA | Manual | 10GbE LAN | ODU2e | Add/Drop | 1-A-1-T1-4 | | 1-B-5-L1-3-ODU2e#10 |
| ✓ | DTN-SNT-FP4-01 | Santos | 19406 | INTERNEXA | Manual | 10GbE LAN | DTF Path | Add/Drop | 1-A-5-T5-1 | | 1-A-5-L1-3 |
| ✓ | DTN-RIO-01 | Rio Station | 19406 | INTERNEXA | Manual | 10GbE LAN | ODU2e | Add/Drop | 8-A-1-T1-5 | | 8-A-5-L1-3-ODU2e#10 |
| ✓ | DTN-PSJ-FP4-01 | Puerto San Jose | 19406 | INTERNEXA | Manual | 10G | NA | Express | 5-A-5-L2-1 | | 5-A-5-L1-6 |
| ✓ | DTN-PBA-FP4-01 | Puerto Barrios | 19406 | INTERNEXA | Manual | 10G | NA | Express | 5-A-5-L1-6 | | 5-A-3-L2-3 |
| ✓ | DTX-NAP-01 | NAP DTN-X | 19406 | INTERNEXA | Manual | 10GbE LAN | ODU2e | Add/Drop | 1-A-1-T9-2 | | 1-A-5-L1-9-ODU2e#3 |
| ✓ | DTN-LUR-FP4-01 | Lurin | 19406 | INTERNEXA | Manual | 10G | NA | Express | 5-A-5-L2-1 | | 5-A-5-L2-1 |

Figura 26. Crossconexiones AddDrop y Express de un 10G LAN.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión DNA Infinera. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

La configuración de servicios CE en la red de Telxius permite, gracias a sus diversas funcionalidades, brindar un servicio de capa 2 completamente transparente con CoS y granularidad altamente flexible, ya que la tecnología

de las tarjetas eMOTR permite asignar diversas capacidades para diferentes servicios en unidades Kbps hasta Gbps sobre un mismo puerto, de modo que se aproveche al máximo la capacidad de un puerto, lo cual no se logra en EoSDH u OTN, por ejemplo en la red SAm-1, actualmente hay servicios Ethernet de 100Mbps que se transportan sobre un canal VC-4 o STM-1 (155Mbps) ya que un canal VC-3 (45Mbps) no es suficiente para transportar esa capacidad, con lo cual esos 50Mbps que no fueron contratados representa una pérdida para el proveedor Telxius. Análogamente ocurre cuando el cliente solicita capacidades diferentes a 10G LAN (que se brinda sobre OTN), por ejemplo, 5Gbps. Desde la perspectiva de la configuración, el OneControl agiliza la creación de los servicios CE, como se describió anteriormente, bastaría con definir los extremos y capacidad del servicio para que el sistema realice la búsqueda y liste todas las posibles rutas que encuentre.

3.6.2. Comparación de disponibilidad y continuidad entre G.8032 y SNCP/MSP.

El esquema de protección SNCP se utiliza en los anillos STM-64 de la red SAm-1, estos anillos pasan por más de dos NE permitiendo trazar una ruta corta y otra larga entre dos NE (extremos de un servicio EoSDH), la protección se realiza por cada canal del servicio (Figura 27), sin embargo, al fallar un tramo del anillo, todos los circuitos (canales) afectados conmutan a su ruta larga. Esta conmutación tiene un tiempo de interrupción del servicio conocido como Service Disruption Time (SDT) el cual no es el mismo para todos los anillos SNCP y servicios protegidos por este mecanismo.

| VC4 path protection details | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------|------------------|------|-------|--------|-------------|--------|
| Connec... | From | To | Rate | Type | State | Switch | Reason |
| 13870 | STM64-24-13-1-29 | STM64-24-3-2-15 | VC4 | 2 way | Active | Idle, Local | - |
| 13870 | STM64-24-14-1-11 | STM64-24-3-2-15 | VC4 | 2 way | - | - | - |
| 13870 | STM64-24-13-1-30 | STM64-24-3-2-16 | VC4 | 2 way | Active | Idle, Local | - |
| 13870 | STM64-24-14-1-30 | STM64-24-3-2-16 | VC4 | 2 way | - | - | - |
| 13870 | STM64-24-13-1-31 | STM64-24-3-2-17 | VC4 | 2 way | Active | Idle, Local | - |
| 13870 | STM64-24-14-1-31 | STM64-24-3-2-17 | VC4 | 2 way | - | - | - |
| 13870 | STM64-24-13-1-32 | STM64-24-3-2-18 | VC4 | 2 way | Active | Idle, Local | - |
| 13870 | STM64-24-14-1-32 | STM64-24-3-2-18 | VC4 | 2 way | - | - | - |
| 13870 | STM64-24-13-1-33 | STM64-24-3-2-19 | VC4 | 2 way | Active | Idle, Local | - |
| 13870 | STM64-24-14-1-33 | STM64-24-3-2-19 | VC4 | 2 way | - | - | - |
| 13870 | STM64-24-13-1-34 | STM64-24-3-2-20 | VC4 | 2 way | Active | Idle, Local | - |
| 13870 | STM64-24-14-1-34 | STM64-24-3-2-20 | VC4 | 2 way | - | - | - |
| 13870 | STM64-24-13-1-35 | STM64-24-3-2-21 | VC4 | 2 way | Active | Idle, Local | - |
| 13870 | STM64-24-14-1-35 | STM64-24-3-2-21 | VC4 | 2 way | - | - | - |
| 17797 | STM64-24-13-1-11 | STM64-24-13-2-8 | VC4 | 2 way | Active | Idle, Local | - |
| 17797 | STM64-24-14-1-36 | STM64-24-13-2-8 | VC4 | 2 way | - | - | - |
| 17875 | STM64-24-13-1-27 | STM16-24-1-9-1 | VC4 | 2 way | Active | Idle, Local | - |
| 17875 | STM64-24-14-1-27 | STM16-24-1-9-1 | VC4 | 2 way | - | - | - |
| 17875 | STM64-24-13-1-28 | STM16-24-1-9-2 | VC4 | 2 way | Active | Idle, Local | - |
| 17875 | STM64-24-14-1-28 | STM16-24-1-9-2 | VC4 | 2 way | - | - | - |
| 18181 | STM64-24-13-1-17 | STM64-24-13-2-12 | VC4 | 2 way | Active | Idle, Local | - |
| 18181 | STM64-24-14-1-17 | STM64-24-13-2-12 | VC4 | 2 way | - | - | - |

Figura 27. Protección SNCP por cada canal del servicio.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión Site Manager. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Uno de los principales anillos SDH de la red SAM-1 se denomina 64SAM06, el cual fue debidamente probado antes de pasar a operación, para ello se ejecutaron pruebas BERT y se simuló un corte de fibra para medir el SDT de un circuito de prueba que estaba protegido por este anillo. Las pruebas de este anillo dieron los resultados de la Tabla N°3.

Tabla N° 3. Service Disruption Time del anillo 64SAM06.

| Circuito de prueba SGO-LIM (Pacífico): | |
|---|--------------------------------------|
| Conmutación a Protección: | Service Disruption Time = 321.750 ms |
| Retorno a ruta principal: | Service Disruption Time = 121.272 ms |
| Circuito de prueba SGO-BOC (Atlántico): | |
| Conmutación a Protección: | Service Disruption Time = 276.313 ms |
| Retorno a ruta principal: | Service Disruption Time = 84.75 ms |

Fuente. Telxius Perú. (2018). Informe de entrega del anillo 64SAM06. [Tabla]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Otro anillo SNCP que fue probado también, dio como resultado un **SDT=145.428ms**, este anillo es el 64SAM04, cuyo diagrama que detalla la ruta y las troncales OTN que lo conforman se puede observar en el Anexo N° 3-A y en el Anexo N° 3-B se encuentra el reporte completo de la prueba de conmutación.

La protección SNCP se utiliza igualmente en enlaces OTN, para ello en cada extremo del tramo a proteger se crea un Protection Group Unit (PU) que define cuál interfaz de línea pertenecerá a la ruta Working y cuál a la Protection. (Figura 28).

| AID ^ | Configured State | Protection Status | PS Req. | Lockout | Type |
|--------------------|------------------|-------------------|---------|---------|---------------|
| 1-A-4-L1-9-ODU2e#8 | Working | Act | None | | Line ODUk CTP |
| 1-B-4-L1-7-ODU2e#7 | Protecting | HotStby | None | | Line ODUk CTP |

Figura 28. Protection Group con SCNP para OTN.

Fuente. Telxius Perú. (2019). Sistema de gestión DNA Infinera [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

De esta manera un enlace 10G LAN se transporta por un enlace OTU2 protegido por SNCP. Para la medición del SDT de SNCP sobre OTN se tomaron dos enlaces 10G LAN de Microsoft que estaban en la fase de pruebas previas a la entrega final a cliente, de ello se obtuvieron los valores de **SDT=129.58ms** y **SDT=132.41ms** en los instrumentos de medición (Figura 29 y Figura 30).

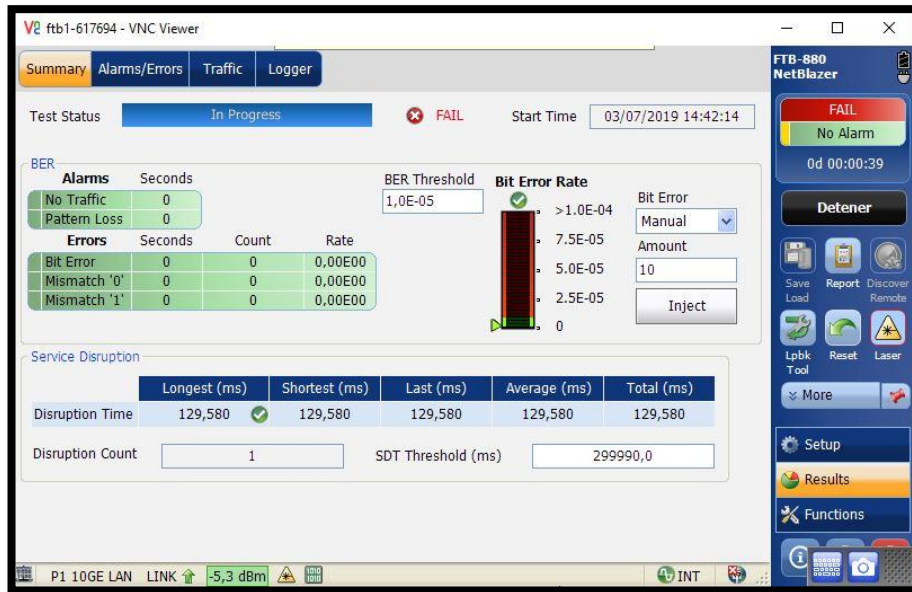


Figura 29. Medición de SDT para servicio #1 de Microsoft protegido con SNCP.

Fuente. Telxius Perú. (2019). Sistema de gestión DNA Infinera [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

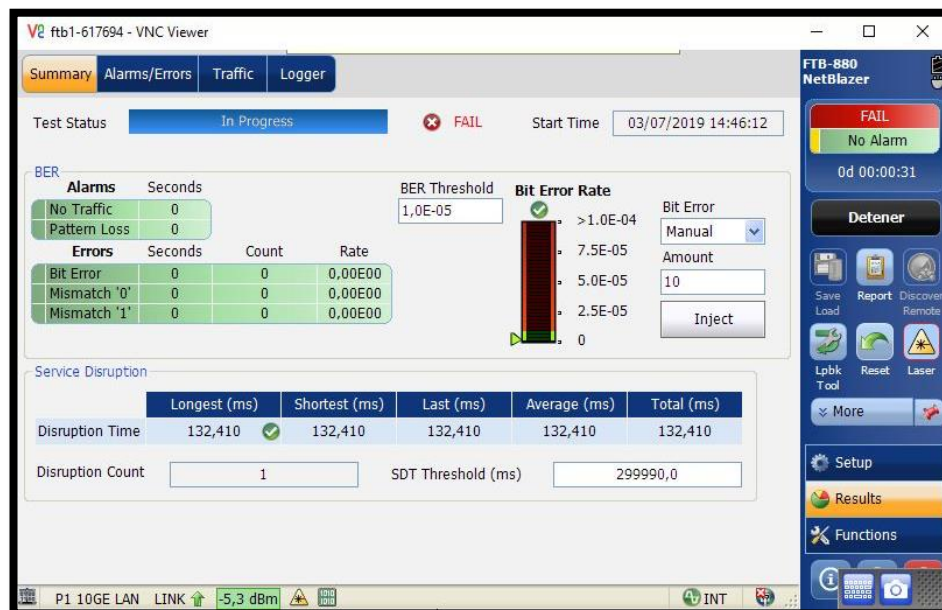


Figura 30. Medición de SDT para servicio #2 de Microsoft protegido con SNCP

Fuente. Telxius Perú. (2019). Sistema de gestión DNA Infinera [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Por otro lado también se tiene el esquema de protección ERPS (G.8032), el cual brinda una protección en capa 2 para los servicios CE y ofrece un valor teórico de SDT = 50ms para anillos de menos de 1200km de circunferencia, sin embargo en un contexto diferente el valor exacto se desconoce, motivo por el cual se planteó una serie de pruebas para determinar el SDT, esto puede observar en la Tabla N°5 que muestra los valores de SDT para los diferentes tamaños de trama enviados desde un instrumento de medición, ya que medir el SDT como se mide los SDH y demás servicios no aplica para esta red de capa 2 y se realiza mediante una fórmula matemática.

Esta prueba se realizó en el anillo del Caribe CAR35 que conecta Panamá, Barranquilla y EE. UU. con un circuito de prueba de 1Gbps desde Boca Ratón (EE. UU.) hasta Panamá City (Figura 31). El SDT se calculó en base al rate (velocidad de transmisión) y tamaño de trama que se envió desde el instrumento de medición (valores predefinidos) y también la cantidad de tramas perdidas que mostró el instrumento cuando se simuló un corte de fibra en un tramo del anillo lógico.

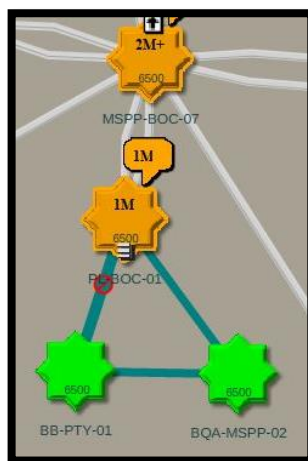


Figura 31. Anillo virtual CAM035 de la GCE.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión OneControl [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Para definir la fórmula a utilizar y calcular un valor aproximado del SDT se utilizó la siguiente premisa para el enlace de prueba de 1Gbps:

1 segundo → 1 000 000 000 bits

X segundos → #bits perdidos

Y para calcular el número de bits perdidos se necesita el valor de tramas perdidas que muestra el instrumento durante la conmutación del anillo con G.8032, también se necesita conocer el tamaño de trama con el que se realiza la prueba, este valor está en bytes por lo cual para convertirlo a bits debe multiplicarse por ocho.

$$\#bits\ perdidos = \#tramas\ perdidas * tamaño\ de\ trama\ (bytes) * 8$$

Entonces teniendo los datos anteriormente mencionados se puede calcular el SDT:

$$SDT\ (ms) = \frac{X\ segundos}{1000} = \frac{(\#bits\ perdidos * 1) / 1\ 000\ 000\ 000}{1000}$$

Es así como se construyó la Tabla N°4 con los valores de SDT obtenidos para los distintos tamaños de trama:

Tabla N°4. Pruebas de conmutación del anillo CAR035.

| | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) |
|---|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Tramas perdidas | 149845 | 85450 | 11486 | 6980 | 1337 | 738 |
| Tamaño de trama (Bytes) | 64 | 64 | 1000 | 1000 | 9596 | 9596 |
| Rate (bps) | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 |
| Bits perdidos = #tramas perdidas x tamaño trama x 8 | 76720640 | 43750400 | 91888000 | 55840000 | 102638816 | 56654784 |
| Tiempo de interrupción (s) | 0.0767206 | 0.0437504 | 0.0918880 | 0.0558400 | 0.1026388 | 0.0566548 |
| Tiempo de interrupción (ms) | 76.721 | 43.750 | 91.888 | 55.840 | 102.639 | 56.655 |

Fuente. Telxius Perú. (2018). Informe de entrega del anillo CAR035. [Tabla]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

La misma fórmula descrita anteriormente se utilizó para las pruebas de conmutación del anillo BRA025 (RPO025). El anillo regional RPO025 comunica dos NE dentro de Rio de Janeiro, uno es RIO LS, la estación de amarre del cable submarino (cerca a la playa) y el otro NE es Rio POP, que está en el otro extremo de la ciudad (Figura 32).

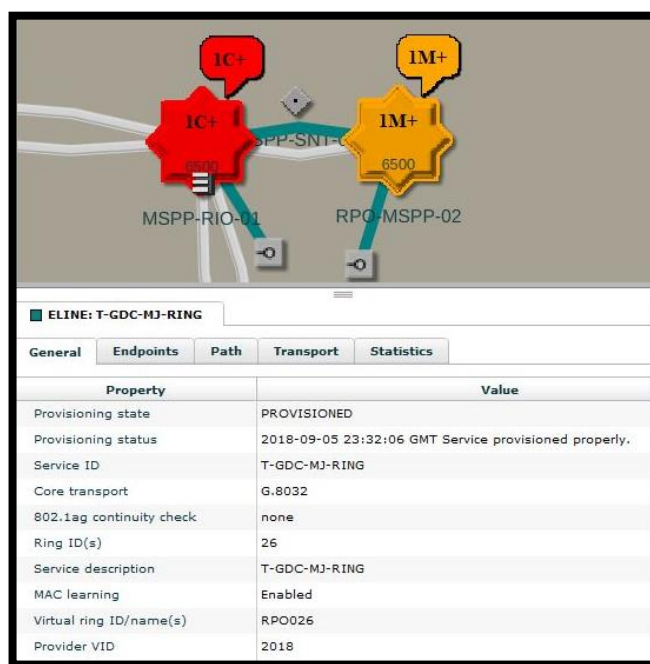


Figura 32. Enlace de prueba sobre el anillo virtual RPO026.

Fuente: Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión OneControl [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

La prueba de conmutación con Jumbo frames para este anillo presentó en la primera conmutación (Switch que ocurre ante una incidencia en algún tramo del anillo) un valor de **SDT = 31.276ms** y en la segunda conmutación (Switch que ocurre cuando regresa al RPL original luego de solucionar la incidencia) un valor de **SDT = 8.530ms**; las tramas perdidas que sirvieron para los cálculos del SDT se pueden observar en las capturas siguientes del instrumento de medición (Figura 33 y Figura 34) así como también el cuadro con los valores de SDT que resultaron de estas pruebas. (Tabla N° 5).

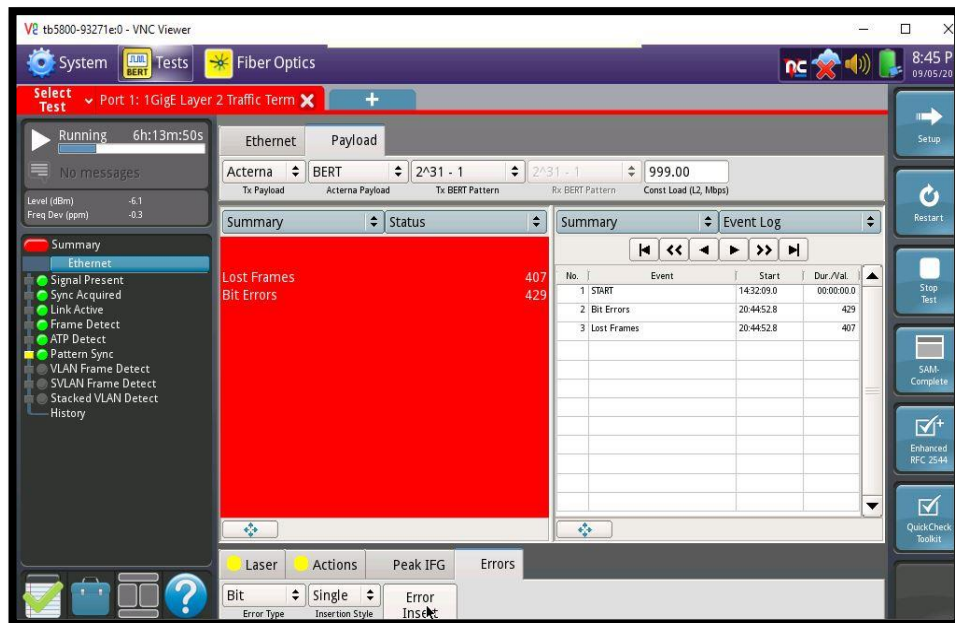


Figura 33. Tramas perdidas del primer switch para jumbo frames.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Equipo de medición VIAVI-JDSU. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

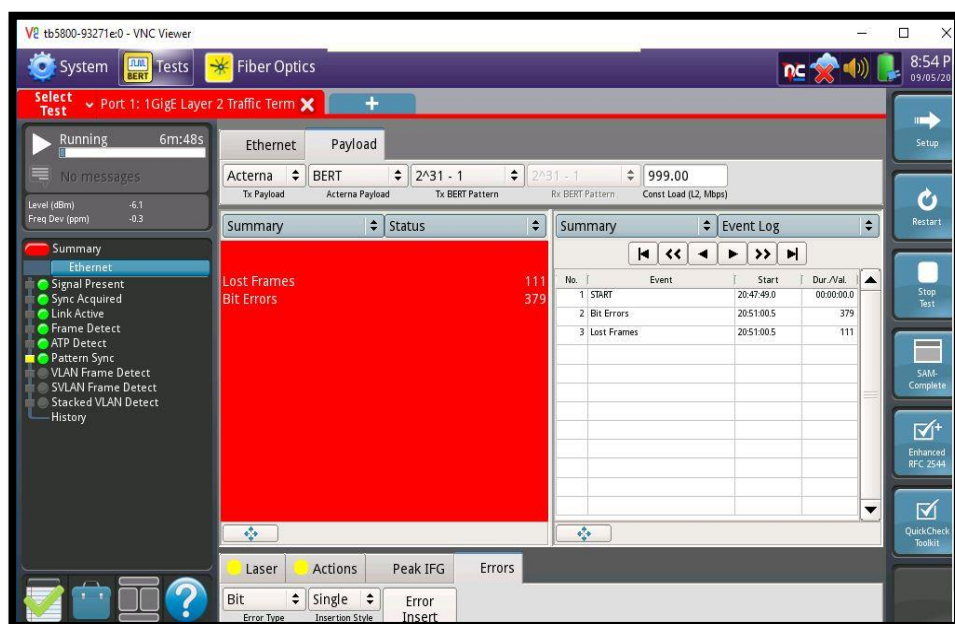


Figura 34. Tramas perdidas del segundo switch para jumbo frames.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Equipo de medición VIAVI-JDSU. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Tabla N° 5. Pruebas de conmutación para el anillo BRA026.

| | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Tramas perdidas | 28461 | 7572 | 1829 | 546 | 185 | 51 |
| Tamaño de trama (Bytes) | 64 | 64 | 1000 | 1000 | 9596 | 9596 |
| Rate (bps) | 500,000,000 | 500,000,000 | 500,000,000 | 500,000,000 | 500,000,000 | 500,000,000 |
| Bits perdidos = #tramas perdidas x tamaño trama x 8 | 14572032 | 3876864 | 14632000 | 4368000 | 14202080 | 3915168 |
| Tiempo de interrupción (s) | 0.0291441 | 0.0077537 | 0.0292640 | 0.0087360 | 0.0284042 | 0.0078303 |
| Tiempo de interrupción (ms) | 29.144 | 7.754 | 29.264 | 8.736 | 28.404 | 7.830 |

Fuente. Telxius Perú. (2018). Informe de entrega del anillo BRA026. [Tabla]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Continuando con la misma metodología de pruebas para otros anillos GCE: MAR040 (Virginia Beach – Washington – Bilbao), BRU045 (Virginia Beach – Rio de Janeiro) y LOG050 (Washington - Virginia – Rio de Janeiro – Fortaleza – San Juan - Boca Ratón) se obtuvieron los siguientes valores de SDT:

Tabla N° 6. Pruebas de conmutación para el anillo MAR040.

| | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Tramas perdidas | 239850 | 16569 | 21855 | 2926 | 1807 | 108 |
| Tamaño de trama (Bytes) | 64 | 64 | 1000 | 1000 | 9596 | 9596 |
| Rate (bps) | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 |
| Bits perdidos = #tramas perdidas x tamaño trama x 8 | 122803200 | 8483328 | 174840000 | 23408000 | 138681392 | 8252560 |
| Tiempo de interrupción (s) | 0.1228032 | 0.0084833 | 0.1748400 | 0.0234080 | 0.1386814 | 0.0082526 |
| Tiempo de interrupción (ms) | 122.803 | 8.483 | 174.840 | 23.408 | 138.681 | 8.253 |

Fuente. Telxius Perú. (2019). Informe de entrega del anillo MAR040. [Tabla]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Tabla N° 7. Pruebas de conmutación para el anillo BRU045.

| | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) | 1° Conmutación (corte simulado) | 2° Conmutación (reversibilidad) |
|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Tramas perdidas | 42936 | 11060 | 3650 | 500 | 327 | 70 |
| Tamaño de trama (Bytes) | 64 | 64 | 1000 | 1000 | 9596 | 9596 |
| Rate (bps) | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 | 1,000,000,000 |
| Bits perdidos = #tramas perdidas x tamaño trama x 8 | 21983232 | 5662720 | 29200000 | 4000000 | 25103136 | 5373760 |
| Tiempo de interrupción (s) | 0.0219832 | 0.0056627 | 0.0292000 | 0.0040000 | 0.0251031 | 0.0053738 |
| Tiempo de interrupción (ms) | 21.983 | 5.663 | 29.200 | 4.000 | 25.103 | 5.374 |

Fuente. Telxius Perú. (2019). Informe de entrega del anillo BRU045. [Tabla]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Tabla N° 8. Pruebas de conmutación para el anillo LOG050.

| | 1° Conmutación (manual switch) | 1° Conmutación (manual switch) | 1° Conmutación (manual switch) |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Tramas perdidas | 146401 | 7921 | 1268 |
| Tamaño de trama (Bytes) | 64 | 1518 | 9596 |
| Rate (bps) | 999,000,000 | 999,000,000 | 999,000,000 |
| Bits perdidos = #tramas perdidas x tamaño trama x 8 | 74957312 | 96192624 | 97341824 |
| Tiempo de interrupción (s) | 0.0750323 | 0.0962889 | 0.0974393 |
| Tiempo de interrupción (ms) | 75.032 | 96.289 | 97.439 |

Fuente. Telxius Perú. (2019). Informe de entrega del anillo LOG050. [Tabla]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos se elabora la siguiente tabla (Tabla N° 9) con los valores de SDT obtenidos en las pruebas anteriores:

Tabla N° 9. Resumen de pruebas de conmutación.

| | SDT (ms) | | |
|--------------------|----------|---------|---------|
| SDH (SNCP) | 321.75 | 276.313 | 145.428 |
| OTN (SNCP) | 129.58 | 132.41 | - |
| CE (G.8032) | 102.639 | 138.681 | 97.439 |

Fuente. Elaboración propia.

En síntesis, se puede señalar que en las pruebas de conmutación para servicios Ethernet encapsulados los valores de SDT son mayores que los valores de SDT de los servicios CE protegidos con G.8032 (Figura 35) dependiendo de la distancia del tramo a proteger, ya que las pruebas realizadas no se realizaron todas bajo el mismo contexto, no todos los enlaces compartían los mismos extremos.

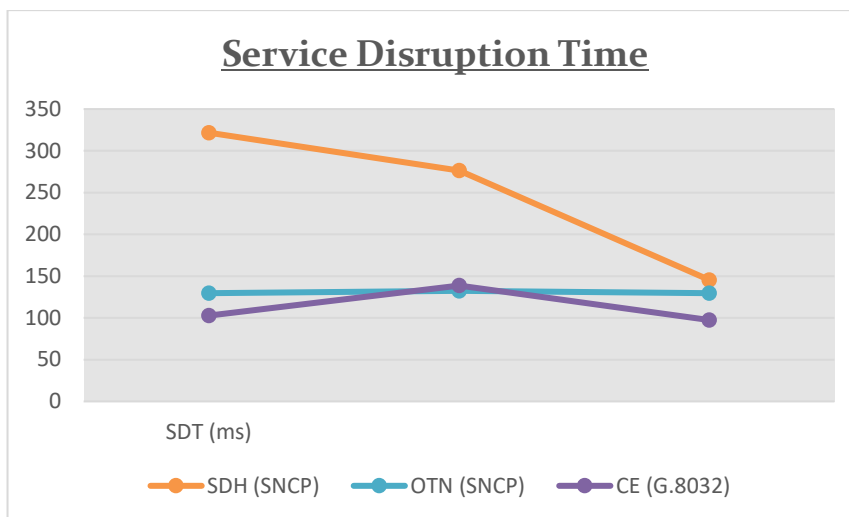


Figura 35. Gráfico de resultados de pruebas SDT.

Fuente. Elaboración propia

3.6.3. S&M de los servicios CE y Ethernet encapsulados.

En el NOC de Telxius se monitorea los diversos sistemas de cable submarinos, y las actividades de Supervisión y Mantenimiento (S&M) se llevan a cabo con el apoyo de las plataformas de gestión diseñadas por cada fabricante, en el caso de la red GCE que utiliza equipamiento del fabricante Ciena, la plataforma para la gestión es el OneControl que tiene incorporado a su vez otro software de gestión Ciena llamado SiteManager, el conjunto de ambos permite el monitoreo de las alarmas de la red y los enlaces en general. Las incidencias sobre los servicios Ethernet de Ciena e Infinera se identifican y resuelven con celeridad por las alarmas que generan en la gestión (Figura 36 y Figura 37), evidentemente el troubleshooting correspondiente implica un análisis por cada servicio y/o red afectados, en muchos casos se requiere entrar vía SiteManager a cada NE que atraviesa la red y/o servicio averiado y ejecutar un Performance Monitoring (PM) sobre los puertos involucrados de modo que se pueda segmentar la falla.

OneControl Desktop - ONECONLUR.tiws.com - ACTIVE

File Workspace Fault Configuration Administration Performance Security Tools Help

Dashboard Top Level Map Packet Wavelength Service Management Alarms Alarms

Search Filter Criteria: Alarm type does not equal SECURITY, Fault type = NE alarm

All 626 records of current active alarms Last updated: 2018-08-31 22:31:10 GMT

| Severity | System type | Impact | System name | Component | Probable cause | Additional text |
|----------|-------------|-----------------------|---------------|-----------------|------------------------------|---|
| M | 5430 | Service-affecting | RSS-RIO-01 | A-12-4 | Ethernet Remote Traffic Fail | Remote Fault |
| w | 5430 | Non service-affecting | RSS-RIO-01 | A-12-4/ODU2TP1 | OPU Client Signal Fail | PT-CTP, Client Signal Fail Supported Connection:15449 RIO |
| m | 6500 | Non service-affecting | BB-FLA-IXA-01 | OTM2-11-9-3 | Backward Defect Indication | ODU BDI |
| m | 6500 | Non service-affecting | BB-FLA-IXA-01 | OTM2-11-9-4 | Backward Defect Indication | ODU BDI |
| m | 6500 | Non service-affecting | BB-FLA-IXA-01 | OTM2-11-9-5 | Backward Defect Indication | ODU BDI |
| c | 6500 | Service-affecting | BB-FLA-IXA-01 | ETH10G-11-9-5 | Signal Fail | Loss Of Signal |
| w | 5430 | Non service-affecting | RSS-RIO-01 | A-12-3/ODU2TP1 | OPU Client Signal Fail | PT-CTP, Client Signal Fail Supported Connection:15447 RIO |
| w | 5430 | Non service-affecting | RSS-RIO-01 | A-12-5/ODU2TP1 | OPU Client Signal Fail | PT-CTP, Client Signal Fail Supported Connection:15451 RIO |
| c | 6500 | Service-affecting | BB-FLA-IXA-01 | ETH10G-11-9-4 | Signal Fail | Loss Of Signal |
| c | 6500 | Service-affecting | BB-FLA-IXA-01 | ETH10G-11-9-3 | Signal Fail | Loss Of Signal |
| m | 6500 | Service-affecting | BAS-MSPP-02 | VC4-4C-7-1-1-57 | Alarm Indication Signal | AIS |
| m | 6500 | Service-affecting | BAS-MSPP-02 | VC4-7-1-1-9 | Alarm Indication Signal | AIS |
| m | 6500 | Non service-affecting | BAS-MSPP-02 | VC4-4C-7-6-1-29 | Alarm Indication Signal | AIS |
| m | 6500 | Service-affecting | BAS-MSPP-02 | VC4-7-1-1-11 | Alarm Indication Signal | AIS |
| m | 6500 | Non service-affecting | BAS-MSPP-02 | VC4-7-6-1-28 | Alarm Indication Signal | AIS |
| m | 6500 | Service-affecting | MSPP-RIO-01 | VC4-10-3-1-25 | Alarm Indication Signal | AIS |
| m | 6500 | Service-affecting | RPO-MSPP-01 | VC4-2-6-1-25 | Alarm Indication Signal | AIS |
| m | 6500 | Service-affecting | NAP-MSPP-05 | VC4-5-10-1-5 | Alarm Indication Signal | AIS |
| m | 6500 | Non service-affecting | NAP-MSPP-05 | VC4-5-9-1-5 | Alarm Indication Signal | AIS |
| m | 6500 | Service-affecting | SJN-MSPP-02 | VC4-23-6-1-63 | Alarm Indication Signal | AIS |
| M | 6500 | Service-affecting | BB-BAS-05 | PTP-6-6-6 | Signal Fail | Loss Of Signal |

Severity: C M m w I Acknowledged: Yes No Annotation: Yes No

Figura 36. Alarmas del equipamiento Ciena en 1C.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión OneControl. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Network Level : Alarm Manager: 172.17.133.42

167 Total CR 35 MJ 73 MN 54 WN 3 UR 2

Total: 167 Displaying 1 to 167 Page Length 1500

| Sev | SA/NSA | Ack | Node | Node Label | Source Object | Object Type | Category | Source Date/Time | Probable Cause |
|-----|--------|--------------------------|----------------|----------------------|---------------|--------------|---------------|---------------------|--------------------------------------|
| CR | SA | <input type="checkbox"/> | DTN-CUY-01 | (3,0)Cuyo | 7-B-2-T3-1-5 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 22:29:41 | Loss of Frame Or Loss of Multi-frame |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTN-BAS-01 | (2,0)Barracas | 4-A-1-T3-1-3 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 22:29:37 | Client Signal Failure |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTN-BAS-01 | (2,0)Barracas | 4-A-1-T3-1-4 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 22:29:31 | Client Signal Failure |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTN-BAS-01 | (2,0)Barracas | 4-A-1-T3-1-6 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 22:28:48 | Client Signal Failure |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTN-BAS-01 | (2,0)Barracas | 4-A-1-T3-1-5 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 22:27:47 | Client Signal Failure |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTN-BAS-01 | (2,0)Barracas | 4-A-1-T3-1-1 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 22:27:22 | Client Signal Failure |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTN-BAS-01 | (2,0)Barracas | 4-A-1-T3-1-9 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 22:26:26 | Client Signal Failure |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTN-BAS-01 | (2,0)Barracas | 4-A-1-T3-1-10 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 22:26:26 | Client Signal Failure |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTN-BAS-01 | (2,0)Barracas | 4-A-1-T3-1-7 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 22:24:52 | Client Signal Failure |
| MJ | NSA | <input type="checkbox"/> | DTN-SNT-FP4-01 | Santos | 8 | CHASSIS | Environmental | 2018-08-31 20:27:58 | Grupo Electrogeno 2 Operando |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTN-RPO-01 | Rio POP | 4-A-1-T1-2 | ODUCLIENTCTP | Facility | 2018-08-31 20:14:19 | Client Signal Failure |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTN-RPO-01 | Rio POP | 4-A-1-T1-1 | ODUCLIENTCTP | Facility | 2018-08-31 20:14:19 | Client Signal Failure |
| CR | SA | <input type="checkbox"/> | ATN-RIO-01 | | 1-A-1-L1A-1 | TRIBPTP | Facility | 2018-08-31 20:03:41 | Optical Loss Of Signal |
| MN | NSA | <input type="checkbox"/> | DTN-SIR-01 | Santa Ifigenia DTN-X | 1 | CHASSIS | Environmental | 2018-08-31 20:00:44 | Transmission Room Door B |
| CR | SA | <input type="checkbox"/> | ATN-RPO-01 | | 1-A-1-L1A-1 | TRIBPTP | Facility | 2018-08-31 19:57:03 | Optical Loss Of Signal |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTX-FLA-FP3-01 | Fortaleza DTN-X | 9-B-2-T3-1-1 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 19:32:07 | Client Signal Failure |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTX-FLA-FP3-01 | Fortaleza DTN-X | 9-B-2-T3-1-7 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 19:32:07 | Client Signal Failure |
| MJ | SA | <input type="checkbox"/> | DTX-FLA-FP3-01 | Fortaleza DTN-X | 9-B-2-T3-1-2 | ODUKICTP | Facility | 2018-08-31 19:32:07 | Client Signal Failure |

Export Current Page Export All Pages Close Help

Figura 37. Alarmas del equipamiento Infinera en DNA.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión DNA Infinera. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

Para la S&M de la GCE y los servicios CE que transporta, la revisión de alarmas y PM en los puertos se refuerza con la herramienta PWSM del OneControl, el PWSM contiene una funcionalidad llamada Statistics que permite visualizar el tráfico, cantidad de octetos, tramas descartadas y otros parámetros de los puertos involucrados en el servicio CE (Figura 38). El PM del tráfico cursante y su histórico se pueden revisar también por línea de comandos (SAOS) así como también la tabla de direcciones MAC entrantes por cada puerto (Figura 39) y el delay actual y frame-loss del servicio.

Además de todo ello, el PWSM permite la visualización y pronta identificación de una avería en el mapa de red, el cual muestra las conexiones a nivel de capa 2 mediante el uso de LLDP (Protocolo de descubrimiento de capa de enlace definido en el estándar IEEE 802.1AB); por ejemplo, cuando un servicio ha conmutado por una avería, el mapa muestra la ruta pintada con líneas punteadas (Figura 40). Asimismo, el CFM (función para la gestión de fallas de conectividad definido en el estándar IEEE 802.1ag) incluido en la configuración de los servicios y redes CE contribuye con la segmentación de la avería y en conjunto con todas las demás funcionalidades descritas facilitan y agilizan la resolución de las incidencias.

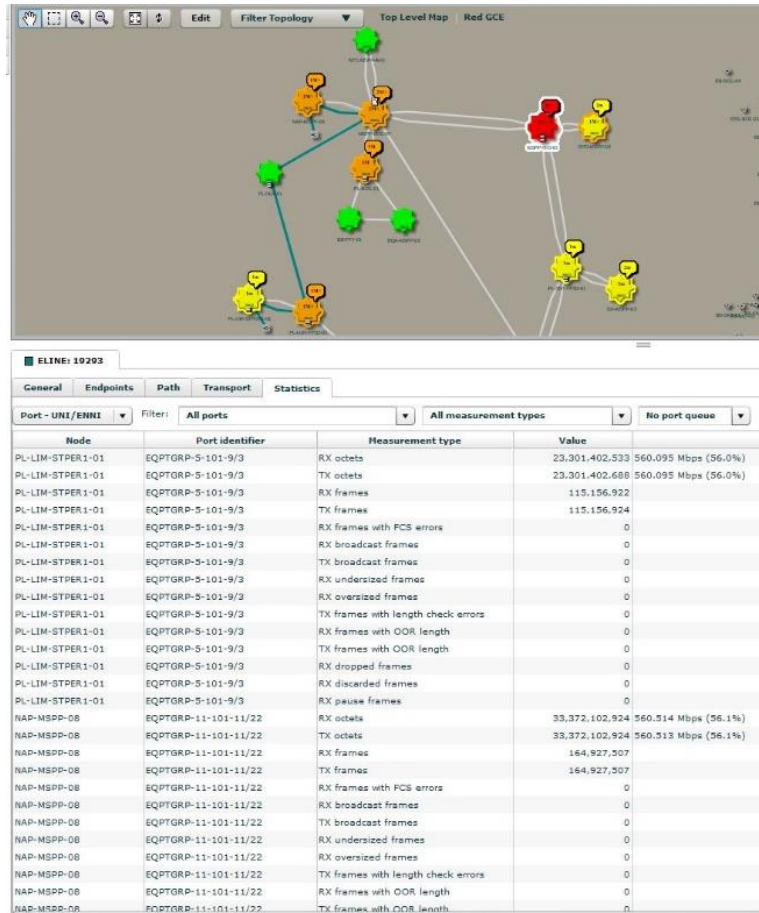


Figura 38. Statistics dentro del PWSM del OneControl.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión OneControl. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

```
SIF-MSPP-03> mac-addr show vs 19210
generating MAC table, please wait...

----- MAC TABLE -----
-----+-----
|                               | ID | Logical Interface |                               | Ope
r
| Virtual Switch              | MAC | S | Type | Name |                               | LPe
rt
|                               |-----+-----|-----+-----|-----+-----|
|19210                        | 00-0B-90-0C-13-D1 | D | sub-port | 5_10_8_19210_1 |                               | 110/8
|
|19210                        | 24-4F-4A-C1-7D-3D | D | sub-port | 5_9_2_19210_1 |                               | 19/2
|
|19210                        | 18C-90-D3-76-3E-D0 | D | sub-port | 5_9_2_19210_1 |                               | 19/2
|
```

Figura 39. Tabla de direcciones MAC de un servicio CE.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión Site Manager - SAOS. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

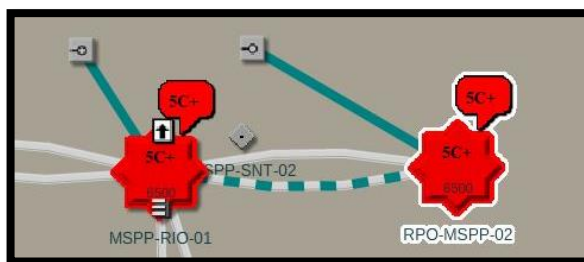


Figura 40. Servicio CE conmutado a su ruta protección.

Fuente. Telxius Perú. (2018). Sistema de gestión OneControl. [Screenshot]. Recuperado de Información técnica de Telxius Perú S.A.C.

3.6.4. Comparación de CAPEX de CE y otros servicios.

Con la finalidad de comparar el costo de desplegar servicios CE y servicios Ethernet encapsulados, se describirá el importe del hardware necesario para ofrecer servicios de 1G y 10G en una red regional punto a punto. Los servicios CE y Ethernet encapsulados pueden implementarse sobre el mismo chasis 6500 de 14 slots del fabricante Ciena y además la parte de transporte fotónico (lambdas) y la tarjeta controladora (Shelf Procesor) del slot-15 se mantiene por lo cual la comparación se realizará a nivel de tarjetas y módulos propios del acceso al servicio.

Para la parte CE, se considerará la implementación de 4 anillos de 10G protegidos que podrán soportar 40G con protección G.8032 u 80G no protegidos (lineares) para ello se requiere el uso de 2 tarjetas eMOTR, módulos SFP para tributarios (UNI o E-NNI) de 4x1G y 8x10G y también 8 módulos XFP de 11.09G para formar los anillos (I-NNI) además de tarjetas Filler para completar los espacios-slot vacíos y no dejar escapar el flujo de aire para enfriamiento del chasis. En la Tabla N° 10 se considera también el costo de la troncal OTN (ODU2e) de cada tramo de los anillos que conectará las I-NNI.

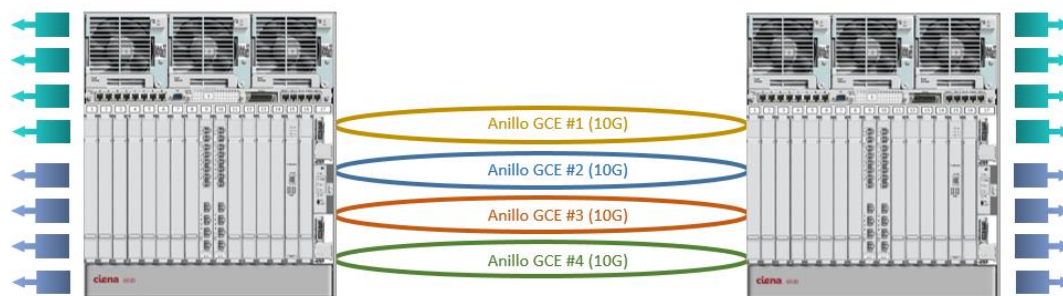


Figura 41. Equipamiento para servicios CE.

Fuente. Elaboración propia.

Tabla N° 10. Costo de equipamiento CE.

| 2 Rack Unit (eMOTR) para servicios CE 4x1GB + 8x10G tributarios + 8x10G para redes | | | | | | | |
|--|-----------|--|---|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Tipo de HW | Capacidad | Modelo de HW | Descripción | Precio Unitario | Cantidad Extremo 1 | Cantidad Extremo 2 | Sub Total (\$) |
| Tarjeta | eMOTR | NTK536AA | eMOTR 4xXFP/8SFP+ | 5940.68 | 2 | 2 | 23762.72 |
| Módulo | 1GB SFP | NTTP06CFE7 | GE LX/FC100/FC200 SM 1310nm LC SFP | 74.38 | 4 | 4 | 595.04 |
| Módulo | 10G SFP | NTTP30CF | 10GBASE-L/FC 1200-SM-L, 13010NM SFP+ | 104.58 | 8 | 8 | 1673.28 |
| Módulo | 10G XFP | NTTP84BA | OC192 SR1/164 10GBASE-LR/LW OTU2 10GFC 1310NM XFP | 202.30 | 8 | 8 | 3236.80 |
| Tarjeta | FILLER | NTK505YAE5 | INTERFACE FILLER PACK | 7.37 | 24 | 24 | 353.76 |
| | ODU2e | Implementación de una troncal ODU2e para transporte de cada tramo de red GCE | | 2835.88 | 8 | 8 | 45374.08 |
| TOTAL | | | | | | | 74641.92 |

Fuente. Elaboración propia.

Para los servicios Ethernet encapsulados en OTN, se describe el hardware necesario para brindar servicios de 4x1G y 10x10G que viajarán por una lambda de 100G (ODU4), los módulos SFP de 1G pueden ser los mismos que se utilizan también para CE y para los servicios de 10G, se considera 10 módulos SFP, una tarjeta que realiza la multiplexación 10x10 para insertar las 10 señales en una sola lambda de 100G, y además la tarjeta OCLD que es propiamente el transporte ODU4. Si se deseara proteger los 10 servicios, se deberá proteger la lambda 100G y para ello se debe proteger la ruta (fibra) y agregar conmutadores, lo cual elevaría mucho el costo.

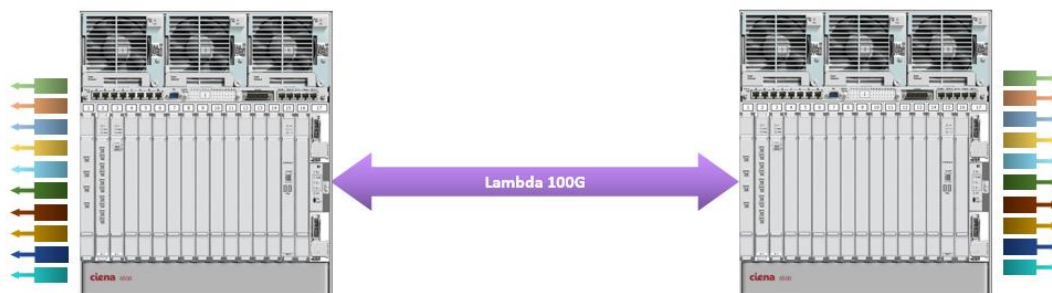


Figura 42. Equipamiento Ethernet sobre OTN.

Fuente. Elaboración propia.

Tabla N° 11. Costo equipamiento para servicios Ethernet sobre OTN.

| 3 Rack Unit: servicios 4x1GB + 10x10G tributarios | | | | | | | |
|---|-----------|--------------|---|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Tipo de HW | Capacidad | Modelo de HW | Descripción | Precio Unitario | Cantidad Extremo 1 | Cantidad Extremo 2 | Sub Total (\$) |
| Tarjeta | 4x1GB | NTK535LAE5 | 4XGBE/GFP/P-P OPTICAL CP 5/6 | 1343.00 | 1 | 1 | 2686.00 |
| Módulo | 1GB SFP | NTTP01CFE6 | SFP GE LX [10k] / FC100 SM | 53.42 | 4 | 4 | 427.36 |
| Tarjeta | 100G | CNS539UD | 100G OTR WL3E PREM C-BAND LR4 MULTIRATE CIRCUIT PACK | 20884.31 | 1 | 1 | 41768.61 |
| Tarjeta | 100G | CNSA529BBE5 | 10X10G MUX MULTI-PROTOCOL 10XXFP CIRCUIT PACK | 7233.75 | 1 | 1 | 14467.50 |
| Módulo | 10G | NTTP84BA | OC-192 SR-1, STM-64 I-64.1, ITU G.959.1 OTU2, 10GBASE-LW/LR | 240.84 | 4 | 4 | 1926.69 |
| Tarjeta | FILLER | NTK505YAE5 | INTERFACE FILLER PACK | 7.37 | 12 | 12 | 176.88 |
| TOTAL | | | | | | | 61276.16 |

Fuente. Elaboración propia.

Por lo tanto, el costo del equipamiento de capa 2 de Ciena es más elevado sin embargo debe considerarse la capacidad, la infraestructura disponible y el planeamiento de la red, en los casos expuestos se tiene 80G lineares (Capa2) frente 10x10G (Ethernet sobre OTN) no protegidos.

IV. CONCLUSIONES

Finalizado el presente TSP, se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Los efectos de Carrier Ethernet sobre la red Sam-1 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.
- Contar con un esquema de protección robusto como lo es G.8032 que ofrece valores SDT inferiores a otros protocolos usados para proteger la capa 1 demuestra la fiabilidad ofrecida.
- 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.
- Los tipos de servicios definidos por el MEF por ser estandarizados se encuentran y operan de la misma manera en la red SAM-1 como en cualquier otra red de transporte, lo cual se manifiesta con la existencia de servicios E-Transit operando actualmente sin inconvenientes.
- Las diversas herramientas del sistema de gestión (OAM) como el PM, (Statistics), LLDP y CFM agilizan y facilitan el monitoreo del desempeño de la red GCE y los servicios CE que transporta.

V. RECOMENDACIONES

Se sugieren, a continuación, algunas recomendaciones para tener en cuenta sobre el presente TSP:

- Se sugiere estudiar otros esquemas de protección también definidos para Carrier Ethernet como MPLS-TP que actualmente ofrece el fabricante Infinera y realizar la comparación correspondiente.
- Si bien existe compatibilidad entre redes Carrier Ethernet de distintos proveedores, es recomendable asegurarse de tener equipamiento de capa 2 que opere con los distintos valores de EtherType que se necesita para las interfaces de interconexión, ya que a veces una red de proveedor se tiene que adaptar a la red del otro proveedor que tiene esas limitaciones.

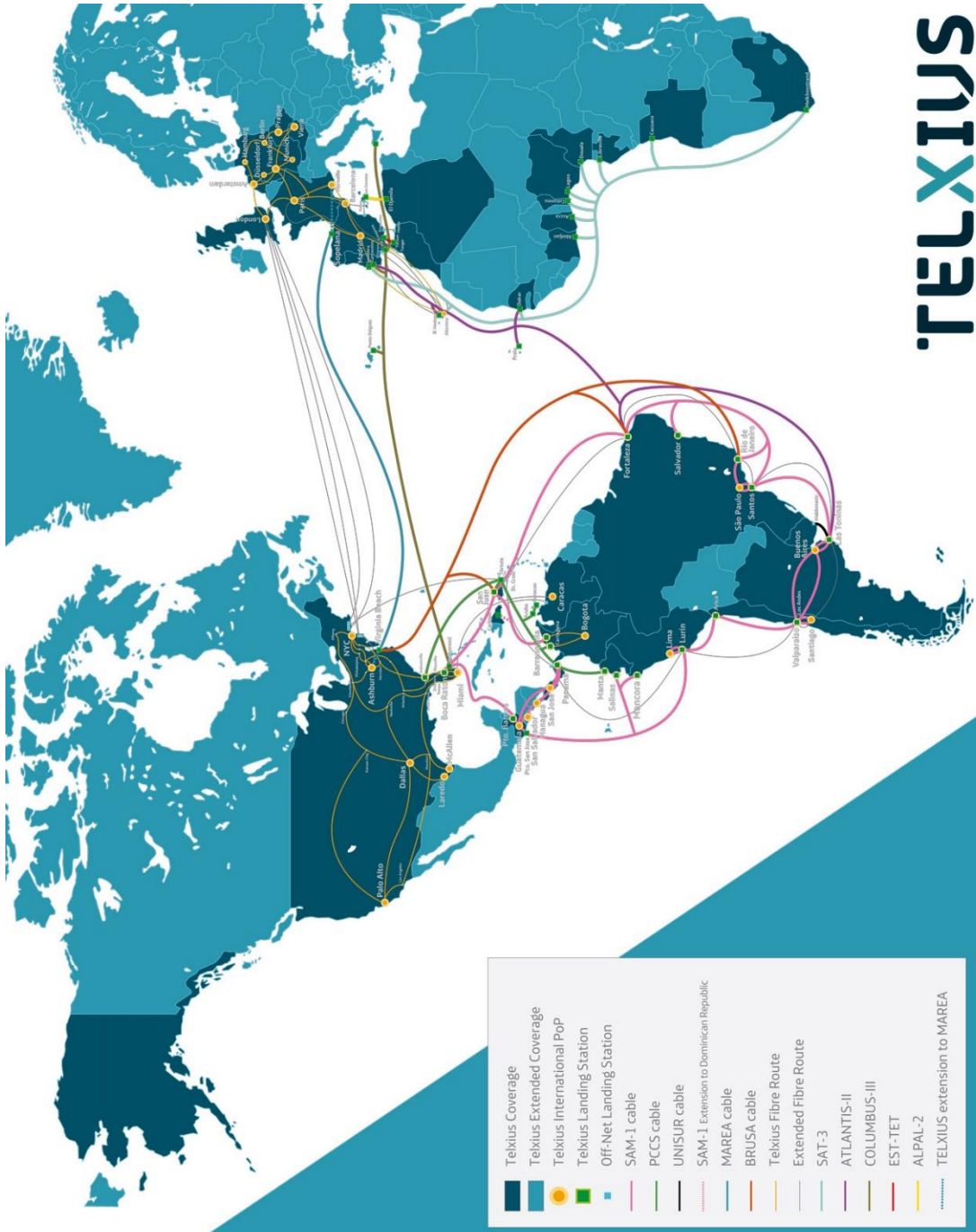
VI. BIBLIOGRAFIA

- Báez Suárez, Á. (2013). *Estudio sobre la tecnología Carrier Ethernet para la creación de redes Privadas Virtuales*. Trabajo de Fin de Máster, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. Recuperado el 2018
- Ciena Corporation. (2015). *Ciena*. (K. Lindros, Ed.) Recuperado el 2018, de Optical Transport Networking: http://media.ciena.com/documents/Experts_Guide_to_OTN_ebook-Utilities-Edition.pdf
- Ciena Corporations. (2016). *Ciena*. Recuperado el 2018, de Ciena's Essential Series: Carrier Ethernet: http://www.ciena.com.mx/insights/articles/Carrier-Ethernet-Speeds-Standards-and-Services_es_MX.html
- Concha R., R. (febrero de 2013). *Scribd*. Recuperado el 2018, de ¿Qué es el CE 2.0 (Carrier Ethernet 2.0)?: <https://es.scribd.com/document/126266791/Articulo-Carrier-Ethernet-2-0>
- Edocs Tips*. (18 de noviembre de 2016). Obtenido de Ventanas de operación: https://edoc.tips/download/ventanas-de-operacion_pdf
- Huawei Technologies Company. (2003). *SDH Fundamentals*. Shenzhen, China.
- International Telecommunication Union. (marzo de 2010). *ITU-T G-SERIES RECOMMENDATIONS*. Recuperado el 2018, de Ethernet ring protection switching: <file:///C:/Users/user/Downloads/T-REC-G.8032-201003-S!!PDF-E.pdf>
- International Telecommunication Union. (febrero de 2012). *International Telecommunication Union*. Obtenido de G.671 Transmission characteristics of optical: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.671/es>

- NTT Communications. (Junio de 2010). *The Evolution of Ethernet*. Obtenido de NTT Communications Web Site: <https://www.us.ntt.net/downloads/papers/VLink.pdf>
- Paras, A. (9 de septiembre de 2014). *Paras Storage*. Obtenido de Fibre Channel Components: <https://parasstorage.wordpress.com/2014/09/09/fibre-channel-components/>
- Rodriguez, A. (10 de junio de 2012). *Fibra Óptica Hoy*. Obtenido de Fibra Óptica, qué es y cómo funciona: <https://www.fibraoptica hoy.com/fibra-optica-que-es-y-como-funciona/>
- Title, E., & Janson, C. (2011). *Carrier Ethernet para dummies* (1 ed., Vol. 1). (Z. Wykes, Ed.) Indianapolis, Indiana, USA: Wiley Publishing. Recuperado el 2018
- Vásquez, C. A., & Albán, T. M. (11 de julio de 2013). *Repositorio Digital Universidad Tecnica del Norte*. Obtenido de Diseño de una Red OTN soportada en la Red de transporte DWDM CELEC EP-TRANSELECTRIC.: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/1947>
- Velásquez Centeno, L. R. (2015). *Diseño de una red de transporte de datos multidepartamental Carrier Ethernet con protección G.8032*. Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Lima.
- Walton, A. (18 de noviembre de 2017). *CCNA desde cero*. Recuperado el 2018, de Protocolo Ethernet: Características y Funcionamiento: <https://ccnadesdecero.es/protocolo-ethernet-caracteristicas/>

VII. ANEXOS

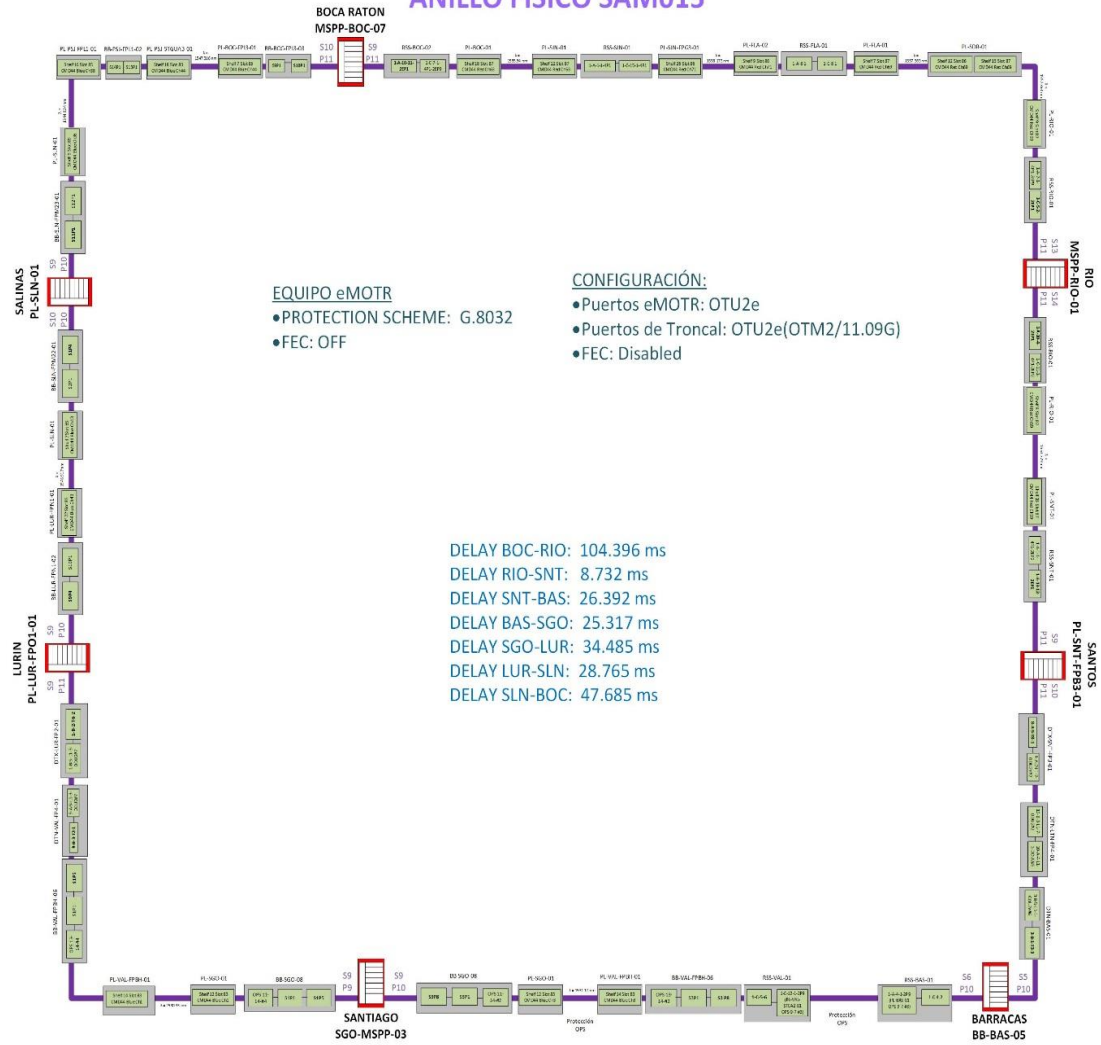
ANEXO N°1.



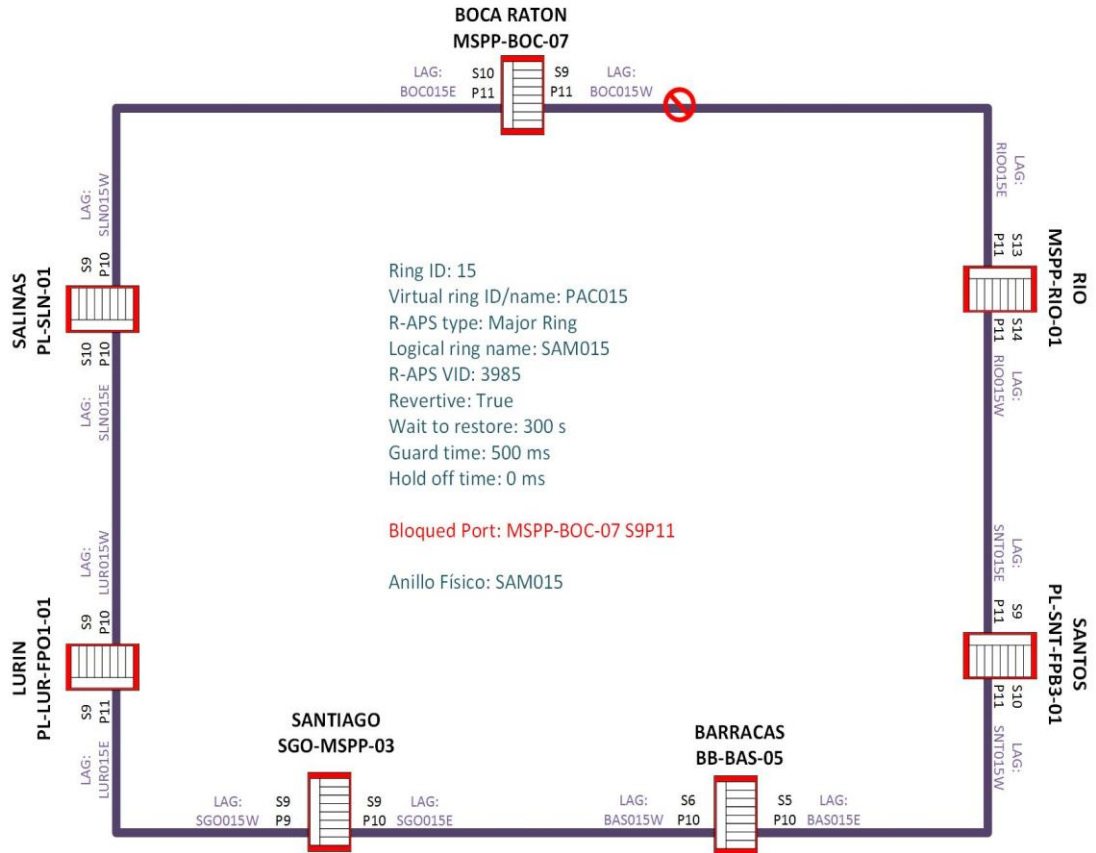
TELXIUS

ANEXO N°2.

ANILLO FÍSICO SAM015

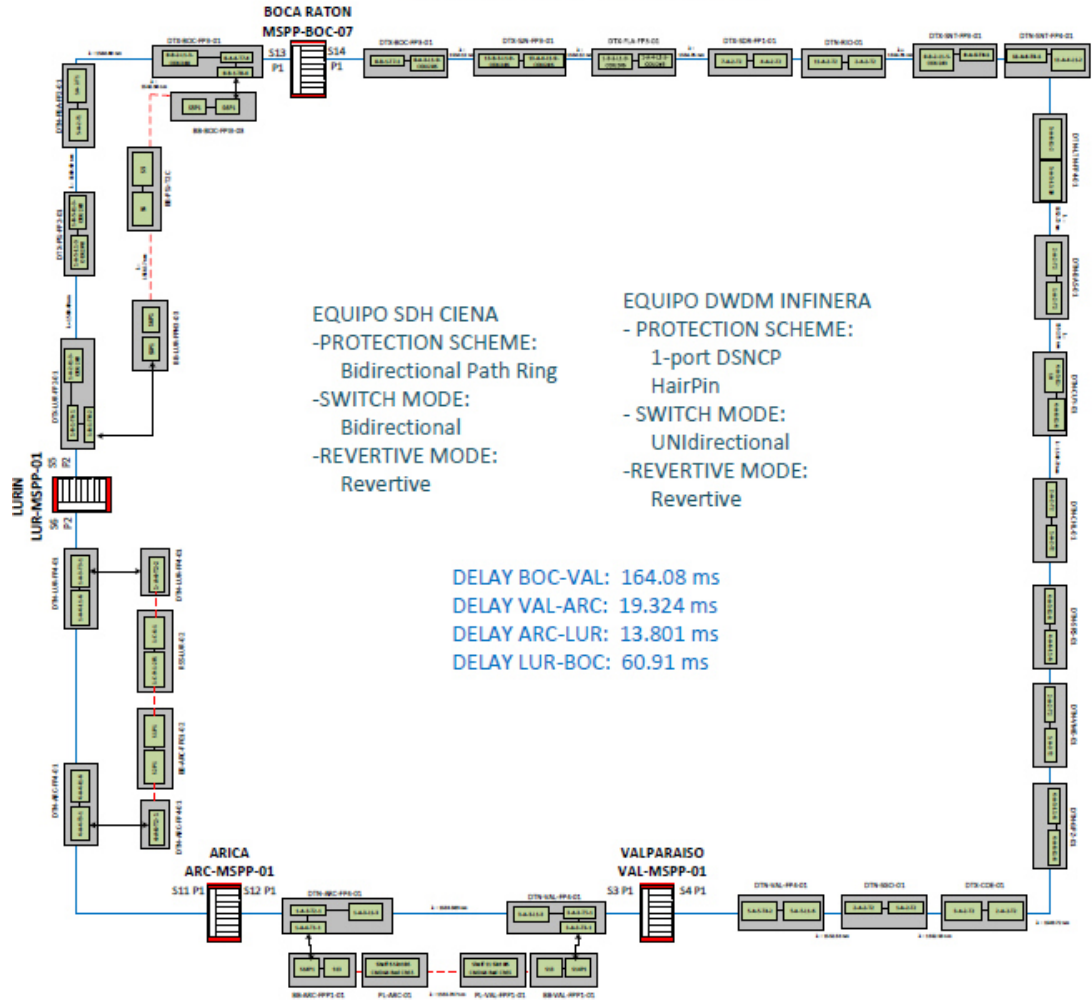


ANILLO G.8032 PAC015



ANEXO N°3-A.

Anillo SNCP 64SAM04



ANEXO N°3-B.

Exfo Inc.

Page 1 of 10

**Job Information**

| | |
|------------------------|----------------------|
| Job ID | 13720 |
| Circuit ID | 13720 |
| Contractor Name | 13720 |
| Customer Name | VIVO |
| Operator Name | OPERATOR NOT IN LIST |
| Comment | CRM_13720 |
| Report Header: | Exfo Inc. |
| Report Title: | |
| Report Date: | 08/08/2017 10:41:02 |
| Test Application Type: | SONET/SDH BERT |

Test Setup**Signal Structure**

P1 - SFP TX/RX <-> STM-4 <-> AU-4-4c <-> Pattern Coupled

AU

AU Number 0,0

Test Configuration

Bit Error

Pass/Fail Verdict Disabled

BERT Threshold

Service Disruption

Defect Pattern Loss

No Defect Time (ms) 300.0

Pass/Fail Verdict Enabled

SDT Threshold (ms) 150.0

Other

REI-L Computation Method

Overwrite STS-1 Fixed Stuff Column

Synchronization Status Message (S1) Quality Unknown

Pattern

Pattern PRBS23

Invert Non-Inverted

RX Live Disabled

Clock Sync

Clock Mode Recovered

Traces/Labels

Generated Traces

RS (J0)

AU Path (J1)

Generated Labels

AU Path (C2) Test signal, ITU-T O.181

Test Results

Start Time: 08/08/2017 10:37:56
 Duration: 00d:00:01:18
 TestStatus: Aborted
 Pass/Fail Verdict: Pass
 Power Recovery: 0

BER

BER Pass/Fail Verdict: Pass
 Seconds
 Pattern Loss: 0
 Seconds Count Rate
 Bit Error: 0 0 0.00E00

Service Disruption

SDT Pass/Fail Verdict: Pass
 Longest SDT (ms): 145.428
 Shortest SDT (ms): 145.428
 Last SDT (ms): 145.428
 Average SDT (ms): 145.428
 Total SDT (s): 145.428
 Service Disruption Count: 1

Frequency

RX (MHz) 622.080912
 Offset (ppm) 1.5
 Max (+) Offset (ppm) 1.5
 Max (-) Offset (ppm) 0.0

Alarms**Interface**

| | Seconds |
|------------|---------|
| LOS: | 0 |
| Frequency: | 0 |
| LOC: | 0 |

RS/MS

| | Seconds |
|---------|---------|
| RS-LOF: | 0 |
| OOF: | 0 |
| MS-AIS: | 0 |
| MS-RDI: | 0 |

AU

| | Seconds |
|-------------|---------|
| AU-AIS: | 1 |
| AU-LOP: | 0 |
| HP-RDI: | 0 |
| HP-ERDI-CD: | 0 |
| HP-ERDI-PD: | 0 |
| HP-ERDI-SD: | 0 |

BER

| | Seconds |
|---------------|---------|
| Pattern Loss: | 0 |

Errors**RS/MS**

| | Seconds | Count | Rate |
|---------|---------|-------|---------|
| RS-FAS: | 0 | 0 | 0.00E00 |
| B1: | 0 | 0 | 0.00E00 |
| B2: | 0 | 0 | 0.00E00 |
| MS-REI: | 0 | 0 | 0.00E00 |

AU

| | Seconds | Count | Rate |
|---------|---------|-------|---------|
| B3: | 0 | 0 | 0.00E00 |
| HP-REI: | 0 | 0 | 0.00E00 |

BER

| | Seconds | Count | Rate |
|------------|---------|-------|---------|
| Bit Error: | 0 | 0 | 0.00E00 |

Performance Monitoring

BERT

| | Near-End |
|-------------|----------|
| G.821 | |
| EFS | 77 |
| EC | 0 |
| ES | 1 |
| SES | 1 |
| UAS | 0 |
| ESR | 1.28E-02 |
| SESR | 1.28E-02 |
| DM | 0 |
| M.2100 OOSM | Near-End |
| ES | 1 |
| SES | 1 |
| UAS | 0 |

AU

| G.828 ISM | Near-End | Far-End |
|------------|----------|---------|
| EFS | 77 | 78 |
| EB | 0 | 0 |
| ES | 1 | 0 |
| SES | 1 | 0 |
| BBE | 0 | 0 |
| UAS | 0 | 0 |
| ESR | 1.28E-02 | 0.00E00 |
| SESR | 1.28E-02 | 0.00E00 |
| BBER | 0.00E00 | 0.00E00 |
| SEP | 0 | |
| SEPI | 0.00E00 | |
| M.2101 ISM | Near-End | Far-End |
| ES | 1 | 0 |
| SES | 1 | 0 |
| BBE | 0 | 0 |
| UAS | 0 | 0 |

MS

| G.829 ISM | Near-End | Far-End |
|-----------|----------|---------|
| EFS | 78 | 78 |
| EB | 0 | 0 |
| ES | 0 | 0 |
| SES | 0 | 0 |
| BBE | 0 | 0 |
| UAS | 0 | 0 |
| ESR | 0.00E00 | 0.00E00 |
| SESR | 0.00E00 | 0.00E00 |
| BBER | 0.00E00 | 0.00E00 |

| M.2101 ISM | Near-End | Far-End |
|------------|----------|---------|
| ES | 0 | 0 |
| SES | 0 | 0 |
| BBE | 0 | 0 |
| UAS | 0 | 0 |

RS

| G.829 ISM | Near-End |
|-----------|----------|
| EFS | 78 |
| EB | 0 |
| ES | 0 |
| SES | 0 |
| BBE | 0 |
| UAS | 0 |
| ESR | 0.00E00 |
| SESR | 0.00E00 |
| BBER | 0.00E00 |

Traces/Labels**Traces/Labels**

Received Traces

| | |
|--------|--|
| RS-TIM | N _U L N _U L N _U L N _U L N _U L N _U L N _U L N _U L N _U L N _U L N _U L N _U L N _U L N _U L N _U L |
|--------|--|

| | |
|--------|----|
| HP-TIM | -- |
|--------|----|

Expected Traces

| | |
|--------|--|
| RS-TIM | |
|--------|--|

| | |
|--------|--|
| HP-TIM | |
|--------|--|

Received Labels

| | |
|--------------|--------------------------|
| AU Path (C2) | Test signal, ITU-T O.181 |
|--------------|--------------------------|

Expected Labels

| | |
|----------------|--|
| HP-PLM/HP-UNEQ | |
|----------------|--|

Test Functions**Round Trip Delay**

| | Count |
|------------|------------|
| Successful | -- |
| Failed | -- |
| | Delay (ms) |
| Last | -- |
| Minimum | -- |
| Maximum | -- |
| Average | -- |


Statistics**Statistics**

| | |
|--------|----------|
| Signal | |
| Power: | -9.6 dBm |

System Information

Product Name: FTB-810-880 NetBlazer Series
Version: FTB-810-880 NetBlazer Series 2.0 SP6
Module Id: FTB-880
Software Product Version: 2.0.6.58
Assembly Hardware Revision: 65
Serial Number: 618592
Calibration Date: 31/10/2011 13:16:00

Logger

| ID | Time | Event | Duration | Details |
|----|----------------|--------------|----------|---|
| 1 | 08/08 10:37:55 | Test Started | | 2017-08-08 |
| 2 | 08/08 10:38:38 | SDT | | 145.428 ms |
| 3 | 08/08 10:38:38 | AU-AIS | 00:00:01 | |
| 4 | 08/08 10:39:14 | Test Stopped | |  pass |