

UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES



Propuesta de Red Metropolitana Ethernet para la provincia de Las Tunas

Tesis presentada en opción al Título Académico de Máster en Telemática

Maestría en Telemática

Autor: Ing. Ivette Moreno Montero

Tutor: Dr. C. Félix Florentino Álvarez Paliza

Santa Clara, Cuba
2020

Dedicatoria

A mi esposo, por su constante aporte de ideas y dedicación.

A mis hijas, ellas constituyen el pilar fundamental y la razón elemental de mi vida.

A todo el colectivo de profesores que nos atendieron durante estos años.

A todos muchas gracias

Agradecimientos

A mi familia, en especial a mis hijas y esposo, por su dedicación y tolerancia.

A mi tutor Dr. Félix Álvarez Paliza por haberme ofrecido todo su conocimiento y experiencia.

A todo el grupo de la maestría por hacerme vivir nuevamente momentos de estudiante.

A todos los que me han ayudado en el difícil trayecto de la maestría.

Muchas gracias



Hago constar que la presente Tesis en opción al título de Máster en Telemática fue realizada en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, autorizando a que sea utilizada por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentada en eventos, ni publicados sus resultados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

Firma del Responsable de
Información Científico-Técnica

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza el estudio de la red de transporte de ETECSA, específicamente en la provincia Las Tunas. A través del mismo se logra detectar la necesidad de incremento del ancho de banda en la red de transporte en dicha provincia, teniendo en cuenta la ampliación de usuarios y de nuevos servicios que se prevén en el Programa de Informatización de la Sociedad. Actualmente Las Tunas posee una red SDH que no dispone con la capacidad necesaria para soportar el incremento de los nuevos servicios. Con este trabajo investigativo se logra ofrecer una respuesta a la constante demanda de servicio de banda ancha, alcanzando altos niveles de confiabilidad, vitalidad y seguridad en la red. Se desarrolla una propuesta de diseño de Red Metropolitana de Ethernet que permite aumentar la escalabilidad de la red e incrementar los servicios de banda ancha. Como resultado de toda la labor realizada, el mismo puede ser utilizado como guía para futuros trabajos que haya que realizar en la modernización y expansión de la red de telecomunicaciones de Cuba con la tecnología de transporte Ethernet (Carrier Ethernet).

Palabras Clave: LAN, Ethernet, Red Metropolitana Ethernet, Carrier Ethernet, Servicios, Ancho de banda

ABSTRACT

In the present work, the study of the transport network of ETECSA is carried out, specifically in the Las Tunas province. Through it, it is possible to detect the need to increase the bandwidth in the transport network in that province, taking into account the expansion of users and new services that are foreseen in the Company's Computerization Program. Las Tunas currently has an SDH network that does not have the necessary capacity to support the increase of new services. With this research work it is possible to offer a response to the constant demand of broadband service, reaching high levels of reliability, vitality, and security in the network. A design proposal for the Metropolitan Ethernet Network is developed to increase the scalability of the network and increase broadband services. As a result of all the work done, it can be used as a guide for future work that needs to be done in the modernization and expansion of Cuba's telecommunications network with Ethernet transport technology (Carrier Ethernet).

Keywords: LAN, Ethernet, Metropolitan Ethernet Network, Carrier Ethernet, Services, Bandwidth

ÍNDICE

INTRODUCCION	1
CAPÍTULO 1 : REDES METROPOLITANAS ETHERNET	6
1.1 Ethernet en las Redes de Área Metropolitana	6
1.2 Fórum Metropolitano de Ethernet (MEF)	9
1.3 Especificaciones técnicas del Fórum Metropolitano de Ethernet.....	11
1.3.1 <i>Servicios Ethernet</i>	12
1.4 Tecnologías de transporte Ethernet.....	22
1.4.1 <i>Ethernet sobre SONET/SDH</i>	22
1.4.2 <i>Ethernet sobre MPLS</i>	23
1.4.3 <i>Ethernet sobre Ethernet (EoE)</i>	27
1.5 Soluciones de fabricantes y equipos para las Redes Metropolitanas Ethernet... 29	
1.6 Ventajas de la solución Metro Ethernet propuesta con respecto a Ethernet sobre SDH	31
1.6.1 <i>Solución actual con Ethernet sobre SDH (EoS)</i>	31
1.6.2 <i>Solución propuesta Metro Ethernet</i>	32
1.7 Conclusiones Parciales.....	33
CAPÍTULO 2 : DISEÑO DE RED METROPOLITANA ETHERNET PARA LA PROVINCIA LAS TUNAS	34
2.1 Análisis de la situación actual de las redes de transporte en Las Tunas	34
2.1.1 Estudio y Cálculo del Tráfico	35
2.2 Opciones de diseño para la Red Metropolitana provincial.....	37
2.2.1 Red de Agregación Provincial Nivel Óptico y Nivel IP.....	38
2.2.2 Diseño de las VLAN	42
2.3 Diseño de los servicios para la red Metropolitana.....	42
2.4 Gestión de los niveles tecnológicos, METRO, SDH, CWDM/DWDM.....	48
2.5 Conclusiones Parciales.....	49
CAPÍTULO 3 : EVALUACIÓN DE LA RED PROPUESTA	51
3.1 Evaluación del funcionamiento de la red Metropolitana Ethernet.....	51
3.1.1 Pruebas y resultados obtenidos con la Herramienta eNSP.....	52
3.2 Evaluación del rendimiento	55
3.3 Evaluación Económica.....	64
3.4 Conclusiones Parciales.....	65
CONCLUSIONES GENERALES	66
RECOMENDACIONES	68

GLOSARIO DE ABREVIATURAS.....	69
BIBLIOGRAFIA.....	73
ANEXOS	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Ethernet y el Modelo OSI [6].....	7
Figura 1.2: Atributos de Carrier Ethernet [11].....	10
Figura 1.3: Interconexión redes ENNI y EVC [12, 19].....	12
Figura 1.4: Representación de los servicios punto a punto E-Line [11, 19, 28].....	13
Figura 1.5: Servicios Multipuntos E-LAN [19, 28].....	14
Figura 1.6: Resumen de los estándares MEF en CE 1.0 y CE 2.0 [31].....	16
Figura 1.7: Nuevos servicios de CE 2.0.....	17
Figura 1.8: Representación del servicio E-Tree [28].....	18
Figura 1.9: Servicios E-Access [28].....	18
Figura 1.10: Vista general de la Tercera Red [35].....	20
Figura 1.11: Servicios MEF 3.0 CE [38].....	21
Figura 1.12: Comparación de especificaciones entre MEF 3.0 CE y CE 2.0 [38].....	22
Figura 1.13: Anillos SONET/SDH [39].....	22
Figura 1.14: Encapsulación de Ethernet en GFP-F [39].....	23
Figura 2.1: Ocupación de Ancho de Banda ME60 (ADSL Hogar) de Las Tunas [66].....	36
Figura 2.2: Ocupación de Ancho de Banda PE-NE40E-X8 (WIFI ETECSA, NGN y Móvil) de Las Tunas [66].....	36
Figura 2.3: Ocupación de Ancho de Banda ME60 (Conectividad Empresa e Internet) de Las Tunas [66].....	37
Figura 2.4: Topología general de diseño [Elaboración propia].....	38
Figura 2.5: Capa Óptica red Metropolitana Ethernet Las Tunas [Elaboración propia].....	40
Figura 2.6: Capa IP red Metropolitana Ethernet Las Tunas [Elaboración propia].....	41
Figura 2.7: Modelo de servicio L2VPN-VLL [70].....	43
Figura 2.8: Modelo de un servicio VPLS [70].....	44
Figura 2.9: Ejemplo de un servicio L3VPN [70].....	44
Figura 2.10: Diagrama de servicios [Elaboración propia].....	48
Figura 2.11: Administración de red extremo a extremo [66].....	49
Figura 3.1: Topología de Simulación [76].....	53
Figura 3.2: Prueba de conectividad ping y trace usando Wireshark [76].....	55
Figura 3.3: EXFO FTB-1 [83].....	56
Figura 3.4: Datos Razón de Transferencia Exitosa para cada trama [83].....	58
Figura 3.5: Datos de la Latencia [83].....	60
Figura 3.6: Datos del Razón de tramas perdidas [83].....	62
Figura 3.7: Cantidad de tramas en ráfagas [83].....	63
Figura 3.8: a) Datos Back to Back pasando por el nodo Jobabo b) Datos Back to Back pasando por el nodo Colombia [83].....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Resumen de los Servicios Ethernet [34]	19
Tabla 1.2: Soporte SONET / SDH para servicios Carrier Ethernet [39].....	23
Tabla 1.3: Soporte VPWS para el servicio Carrier Ethernet [47]	25
Tabla 1.4: Soporte VPLS para el servicio Carrier Ethernet [49]	26
Tabla 1.5: Soporte MPLS-TP para el servicio Carrier Ethernet [41]	27
Tabla 1.6: Soporte de transporte para servicios de Ethernet [53]	29
Tabla 3.1: Valores Umbrales de la Razón de Transferencia Exitosa [85, 86]	57
Tabla 3.2: Valores Umbrales de la Latencia [85, 86]	59
Tabla 3.3: Valores Umbrales de Razón de tramas perdidas [85, 86]	61
Tabla 3.4: Cotización del equipamiento propuesto [Elaboración propia].....	64

INTRODUCCION

Las telecomunicaciones son un campo de rápidos cambios: no ha terminado de surgir una tecnología cuando una alternativa más poderosa aparece en el horizonte. Estos cambios no son espontáneos sino el resultado de las presiones por la prestación de nuevos y mejores servicios. Las Redes de Área Local (LAN) se han convertido en un elemento estándar en las empresas, presionando inclusive la interconexión de redes locales y remotas. De otro lado han surgido nuevas aplicaciones y grandes bases de datos, que junto con aplicaciones de tiempo real como vídeo y multimedia, constituyen grandes consumidores de recursos de comunicaciones.

Como consecuencia de estos nuevos servicios, la demanda por tecnologías de mayor ancho de banda y velocidades de transmisión más altas ha crecido.

Ethernet ha sido durante mucho tiempo el estándar de-facto en Redes LAN. Su simplicidad y uso generalizado la han convertido en una tecnología muy popular en las redes de comunicaciones de datos actuales. Al evolucionar desde un entorno LAN puro, Ethernet ahora se está utilizando en entornos de Redes de Área Metropolitanas (MAN) y de Redes de Área Extendida (WAN) también. Esta evolución presenta varios desafíos, para abordar qué nuevas tecnologías se están desarrollando bajo el nombre de Carrier Ethernet (CE) [1].

Tiene sus orígenes en el suministro de conectividad de red de área local y no se utilizó originalmente para proporcionar servicios de área amplia. Los proveedores de servicios han comenzado a utilizar esta tecnología de "conectividad" de Ethernet para proporcionar servicios de Ethernet entre dos o más ubicaciones de suscriptores. Si bien el protocolo Ethernet IEEE Std 802.3™ todavía se usa, es necesario agregar atributos y parámetros relacionados con el servicio para crear un servicio Ethernet.

Ethernet se ha convertido en una tecnología única para LAN, MAN y WAN pues la misma posee una arquitectura eficiente para redes de paquetes, punto a punto, punto a multipunto y multipunto a multipunto. Todo ello con interfaces de costos ventajosos que ofrecen flexibilidad de ancho de banda: 10 Mbps hasta 400 Gbps [2].

Las Redes MAN generalmente definida como la que puentea o conecta redes LAN empresariales separadas geográficamente, aunque también se conectan a través de WAN o redes troncales que son generalmente propiedad de los proveedores de servicio. Las Redes Metropolitanas Ethernet (MEN) ofrecen servicio de conectividad a través de la geografía metropolitana utilizando a Ethernet como el protocolo central que posibilita las aplicaciones de banda ancha.

Una MEN permite a los proveedores de servicios proporcionar conectividad Ethernet y entregar servicios Ethernet a los clientes finales. Dichos servicios podrían incluir acceso a Internet, redes privadas virtuales y servicios de emulación de circuitos. Ethernet es una tecnología simple y rentable que proporciona una rápida provisión a pedido, operación basada en paquetes, ubicuidad y transparencia de extremo a extremo [3]. El Comité Técnico del Fórum Metropolitano Ethernet (MEF) está abordando las limitaciones de Ethernet nativo, como las garantías de calidad de servicio de extremo a extremo, la resistencia de la red y monitorización del rendimiento en servicio.

Las redes Metropolitanas Ethernet, más conocidas por Metro Ethernet, están destinadas a suministrar servicios de conectividad MAN / WAN de nivel 2, a través de las Interfaces de Red de Usuario (UNI) Ethernet. Estas redes soportan una amplia gama de servicios, aplicaciones, contando con mecanismos donde se incluye soporte a tráfico "RTP" (Tiempo Real), como puede ser Telefonía IP y Video IP, este tipo de tráfico resulta especialmente sensible a retardo y al jitter.

Cuando se habla de la implementación de Ethernet en las redes metropolitanas se hace referencia a una red Metro Ethernet con la cual se puede incrementar una red y ofrecer una gran variedad de servicios de manera dimensionable, simple y flexible.

Las redes metropolitanas Ethernet ofrecen beneficios tanto a clientes como a los proveedores de diferentes formas [4].

- El tráfico de paquetes ahora ha superado a todos los demás tipos de tráfico.
- Necesidad de aprovisionamiento rápido.
- Reducción de CAPEX / OPEX.
- Mayores y flexibles opciones de ancho de banda.
- Interfaces y tecnología conocidas.

Las principales dificultades de las redes Metropolitanas Ethernet tradicionales son [4]:

- La alta disponibilidad es difícil de lograr en redes que ejecutan el Protocolo de Árbol de Expansión (Protocolo Spanning Tree, STP).
- Escalabilidad: las redes IEEE 802.1q / 802.1ad tienen limitaciones de escalabilidad en cuanto a la cantidad de servicios compatibles.
- Las tramas Ethernet del cliente están encapsuladas en una trama Ethernet del proveedor.
- QoS: solo se puede lograr una ingeniería de tráfico muy rudimentaria en redes Ethernet puenteadas.

- Una gran cantidad de plataformas de conmutación de Ethernet desplegadas carecen de las capacidades de clase portadora requeridas para la entrega de servicios de Carrier Ethernet.
- Las nuevas extensiones en IEEE 802.1ah abordan algunas limitaciones, como la cantidad de instancias de servicio y los problemas de explosión de MAC (Control de Acceso al Medio).
- Las nuevas extensiones en IEEE 802.1aq abordan la sustitución del Protocolo de Árbol de Expansión.

Los avances de la conectividad en Cuba se han orientado a la creación de capacidades en la infraestructura de telecomunicaciones, en función de potenciar la conectividad social y desarrollar la gestión automatizada de sectores estratégicos.

En este trabajo se escoge como escenario la provincia Las Tunas, ya que posee una Red SDH, que no dispone con la capacidad necesaria para soportar el incremento de los nuevos servicios, que evidentemente se prevén en un futuro no lejano.

De ahí que la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba (ETECSA) se dio a la tarea de valorar diversas soluciones para Redes de Transmisión de Paquetes (PTN), con diversas opciones de proveedores como Huawei y NOKIA.

Se hace evidente que en este siglo XXI hay que evaluar diferentes opciones de Redes MAN y de tipo WAN que permitan ofrecer diversidad de aplicaciones de banda ancha a los usuarios de las diferentes provincias y soportar los nuevos servicios que trae consigo el Programa de Informatización de la Sociedad en Cuba. Todo ello con énfasis en las nuevas tecnologías de Carrier Ethernet.

Es por ello, que la situación problémica de este trabajo investigativo consiste en: ¿Cómo incrementar el ancho de banda en la red de transporte en la provincia de Las Tunas que demandan la ampliación de usuarios y los nuevos servicios dentro del Programa de Informatización de la Sociedad?

Problema a resolver:

Insuficiencia tecnológica de infraestructura de red en la provincia de Las Tunas.

Por lo que es necesario desarrollar una Red Metropolitana Ethernet que sea capaz de agregar el tráfico IP e interconectar los equipos de acceso de banda ancha (DSLAM, MSAN, enrutador de acceso, etc.), ubicados generalmente en la periferia de la red y el nodo de frontera de la red de transporte.

En correspondencia con la situación problemática, el objeto de estudio es la red de transporte de telecomunicaciones y como campo de acción las redes Metropolitanas Ethernet.

Como objetivo general de esta investigación se declara:

Proponer una Red Metropolitana de Ethernet que permita aumentar la escalabilidad de la red e incrementar los servicios de banda ancha en la provincia Las Tunas.

Para alcanzar este objetivo general, se definen los específicos siguientes:

- Determinar el estado de avance de las diferentes tecnologías de transporte y estándares de las redes Metropolitanas Ethernet.
- Evaluar los diferentes tipos de servicios Ethernet.
- Diseñar una red Metropolitana Ethernet para la provincia de las Tunas evaluando diferentes opciones.
- Evaluar la solución propuesta considerando el funcionamiento, rendimiento y la factibilidad económica.

Para el cumplimiento del objetivo general y los específicos fueron planteadas las siguientes tareas científicas:

- Revisión de la bibliografía, estándares, resoluciones y especificaciones técnicas.
- Análisis de la evolución de las redes Metropolitanas Ethernet.
- Caracterización de las nuevas tecnologías de transporte Ethernet y del equipamiento ofertado por diferentes proveedores.
- Desarrollo del diseño de red metropolitana provincial, tomando en consideración la escalabilidad y los servicios de banda ancha.
- Caracterización de los servicios de la red metropolitana propuesta.
- Determinación del tráfico en la red de Las Tunas.
- Simulación del funcionamiento de la Red Metropolitana Ethernet.
- Medición del rendimiento de la red.
- Análisis de factibilidad económica de la propuesta de solución.

Los métodos científicos sobre los cuales se desarrolla la investigación son; histórico – lógico, el cual permite contextualizar el problema de investigación, sus antecedentes y desarrollo. Analítico - sintético, ya que es necesario trabajar cada componente y luego diseñar la nueva Red Metropolitana Ethernet. Inductivo-deductivo, a través del cual se logra establecer generalidades en cuanto al diseño de la red a partir de las experiencias particulares de los técnicos y especialistas los cuales participan en la misma. Como método empírico, la simulación, mediante la cual se pudo obtener el

comportamiento de la red, analizar posibles alternativas de optimización y organización, acorde con el objeto de la investigación.

Con este trabajo se logra ofrecer una respuesta a la constante demanda de servicio de banda ancha, alcanzando altos niveles de confiabilidad, vitalidad, y seguridad en la red.

La utilidad e impacto de la presente investigación es fundamentalmente social, económico y tecnológico, por cuanto permite el desarrollo de la red. En el plano social aumenta la efectividad en la prestación de los servicios. El impacto económico es importante, la nueva tecnología es muy económica, los costos de implementación son inferiores en comparación con las redes tradicionales. Desde el punto de vista tecnológico el diseño de la red metro garantizará la oferta de variados servicios sobre una misma red de acceso Ethernet.

El trabajo se estructura en, introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

En el primer capítulo se hace un análisis del Estado del Arte en las redes Metropolitanas Ethernet y los servicios Ethernet modernos. En el segundo capítulo se fundamentan los pasos para el diseño de una red Metropolitana Ethernet para la provincia Las Tunas, evaluándose diferentes opciones en cuanto a las tecnologías de transportes Ethernet (Ethernet sobre MPLS y Carrier Ethernet). En el tercer capítulo se realiza la evaluación de la solución propuesta en cuanto a la escalabilidad de la misma, servicios de banda ancha, desempeño y costos.

Las conclusiones del trabajo abordan los resultados obtenidos de la investigación. La bibliografía se confeccionó con la librería EndNote, con el formato IEEE. En los anexos se podrá consultar información adicional sobre el equipamiento propuesto.

Además el trabajo consta de un glosario y de una relación de las especificaciones técnicas del Fórum Metropolitano Ethernet.

CAPÍTULO 1 : REDES METROPOLITANAS ETHERNET

En este capítulo se hace un análisis del uso de Ethernet para el transporte metropolitano caracterizando su evolución y enfatizando en las Redes Metro Ethernet como solución viable. La inminente demanda de un mayor ancho de banda para poder adoptar los servicios actuales impone un cambio tecnológico en las redes de transporte de área metropolitana.

1.1 Ethernet en las Redes de Área Metropolitana

Considerando que las necesidades del mercado sobre la variedad de servicio son cada vez más demandantes, exige a los proveedores de servicios en telecomunicaciones a mantener en permanente evolución la tecnología para ofrecer una amplia gama de servicios de voz, datos y video.

Ethernet es la tecnología LAN dominante en el mundo. No es una tecnología sino una familia de tecnologías LAN que se pueden entender mejor utilizando el modelo de referencia OSI. Desde su comienzo en la década de 1970, Ethernet ha evolucionado para satisfacer la creciente demanda de LAN de alta velocidad. En el momento en que aparece un nuevo medio, como la fibra óptica, Ethernet se adapta para sacar ventaja de un ancho de banda superior y de un menor índice de errores que la fibra ofrece. Ahora, el mismo protocolo que transportaba datos a 3 Mbps en 1973 transporta datos mayores a 10 Gbps.

Con la llegada de Gigabit Ethernet, lo que comenzó como una tecnología LAN ahora se extiende a distancias que hacen de Ethernet un estándar de Red de Área Metropolitana y Red de Área Amplia.

En 1985, el comité de estándares para Redes Metropolitanas y Locales del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) publicó los estándares para las LAN. Estos estándares comienzan con el número 802 [5].

El estándar para Ethernet es el 802.3. El IEEE quería asegurar que sus estándares fueran compatibles con el modelo OSI de la Organización Internacional de Estándares (ISO). Por eso, el estándar IEEE 802.3 debía cubrir las necesidades de la Capa 1 y de las porciones inferiores de la Capa 2 del modelo OSI según se muestra en la figura 1.1. Como resultado, ciertas pequeñas modificaciones al estándar original de Ethernet se efectuaron en el 802.3.

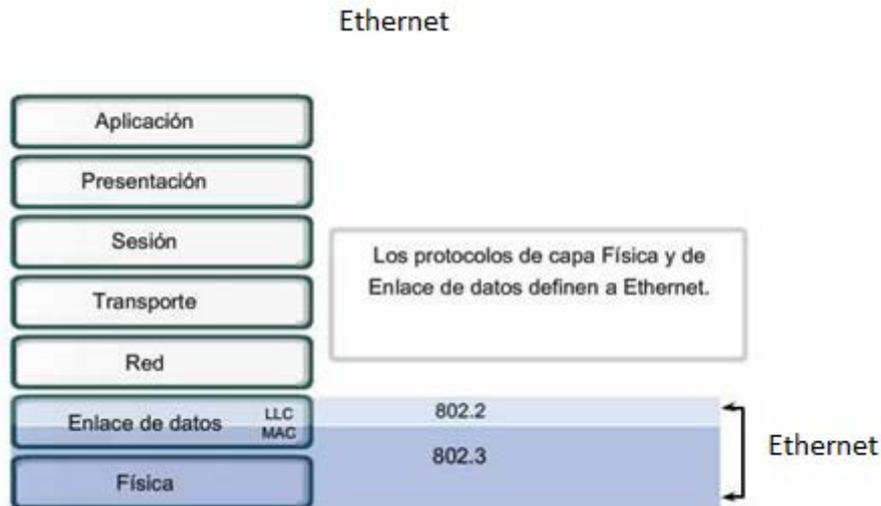


Figura 1.1: Ethernet y el Modelo OSI [6]

Las diferencias entre los dos estándares fueron tan insignificantes que cualquier tarjeta de interfaz de la red de Ethernet (NIC) puede transmitir y recibir tanto tramas de Ethernet como de 802.3. Básicamente, Ethernet y IEEE 802.3 son un mismo estándar.

El estándar original de Ethernet ha sufrido una cantidad de enmiendas con el fin de administrar nuevos medios y mayores velocidades de transmisión. Estas enmiendas sirven de estándar para las tecnologías emergentes y para mantener la compatibilidad entre las variaciones de Ethernet.

Ethernet continúa evolucionando desde aplicaciones LAN, utilizando tecnología de Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones (CSMA/CD) a aplicaciones MAN.

Los operadores metropolitanos están desplegando Redes Ethernet Metropolitanas de próxima generación. Este despliegue reemplazará eventualmente los servicios tradicionales de línea privada proporcionados por tecnologías de Multiplexación de División de Tiempo (TDM) heredadas, con servicios Metro Ethernet.

El “conductor” principal para la nueva generación de Ethernet, es el constante y rápido incremento en las necesidades de capacidad de transporte datos, debido a la Voz sobre protocolo de internet (VoIP), la Televisión por Protocolo de Internet (IPTV) con Televisión de alta definición (HDTV), la Vídeo bajo demanda (VoD), la Videoconferencia, la Computación en la nube (cloud computing), la Computación en malla (grid computing), la virtualización, la distribución de contenidos, la telepresencia, los juegos en red, el mobile backhaul de HSPA (Acceso a Paquetes de Alta Velocidad)/LTE, entre otros. En efecto, el significativo crecimiento en el tráfico basado en IP en las redes de acceso de banda ancha, redes empresariales y de proceso de

datos, proveedores de servicios, y redes de transporte ópticos, está duplicando el ancho de banda necesario en la red troncal de Internet cada 1-1,5 años [7].

Actualmente la mayoría del tráfico de datos que pertenece a la LAN de una empresa comienza y termina en un puerto Ethernet, se puede demostrar que es el protocolo que desde hace años prevalece en los entornos LAN.

Los organismos de estandarización (IEEE, IETF, ITU) y los acuerdos entre fabricantes, están jugando un papel determinante en la evolución de la tecnología Ethernet. Incluso se ha creado el MEF (Metro Ethernet Fórum), organismo dedicado únicamente a definir Ethernet como servicio metropolitano [7], Anexo A.

Ethernet en sus primeros 27 años introdujo seis velocidades: 10Mbps, 100Mbps, 1Gbps, 10Gbps, 40Gbps y 100Gbps. La comunidad de Ethernet actualmente se encuentra trabajando para introducir seis nuevas velocidades: 2.5Gbps, 5Gbps, 25Gbps, 50Gbps, 200Gbps y 400Gbps en los próximos 3 años [8], ver Anexo B.

Las tecnologías de redes de comunicaciones y computadoras han experimentado según muchos autores su tercera revolución con el paso del hardware al software, expresado en las Redes Definidas por Software (SDN) y la Virtualización de las Funciones de Red (NFV).

Los avances en las tecnologías de desarrollo de hardware, software y de computación en la nube han dado lugar al desarrollo de software versátil en las industrias de las tecnologías de la información y aplicaciones web. Estas metodologías se pueden utilizar para permitir la transformación de la red de telecomunicaciones para simplificar las operaciones, la administración, el mantenimiento y el aprovisionamiento y también para sentar las bases de la red en las nuevas tecnologías de acceso desde los diferentes elementos controladores.

La movilidad es otro argumento a favor de adoptar una nueva forma de arquitectura de red, dado por las predicciones de que en el año 2020 el 95 % de los dispositivos conectados a redes serán por soluciones inalámbricas. Por lo que hay que enfrentar como gestionar el problema de la movilidad de millones de usuarios y objetos que necesitan cada uno varias direcciones IPv6.

Otro elemento que ha influido en el empuje al cambio y evolución de nuevas tecnologías de redes ha sido la de Internet de las Cosas (IoT) o Internet de todos los objetos (IoE). El año 2009 se considera como el punto en el tiempo en el que se conectaron a Internet más “cosas u objetos” que personas. El crecimiento explosivo de los móviles celulares (smartphones) y de las tabletas (tablet PC) elevó a 12,500 millones en 2010 la cantidad de dispositivos conectados a Internet, en tanto que la

población mundial aumentó a 6,8 mil millones, por lo que el número de dispositivos conectados por persona es superior a uno (1,84 para ser exactos) por primera vez en la historia.

La predicción es que en el año 2020 se tengan cerca de 50 000 millones de cosas físicas y virtuales conectadas a Internet. Estas cosas pertenecen a disímiles campos de aplicación: Medios de comunicación, Monitoreo ambiental, Gestión de Infraestructura, Fabricación, Gestión de Energía, Sistemas médicos y de salud, Automatización de Edificios y de viviendas, Transporte y Despliegues a gran escala.

1.2 Fórum Metropolitano de Ethernet (MEF)

El MEF es un consorcio industrial enfocado a la adopción de las redes Carrier Ethernet y sus servicios. El fórum está constituido por proveedores de servicio, vendedores de equipos y otras compañías de redes que comparten un marcado interés en Ethernet Metropolitano [9].

En oposición a las otras organizaciones de estándares relacionados con las redes, tales como el IETF y la IEEE 802.1 que definen los protocolos, el fórum MEF ha estado dedicado a definir como todas las piezas del rompecabezas se acomodan juntas en una red Carrier Ethernet.

El MEF define la arquitectura de la red, los escenarios de despliegue y las pruebas en su conjunto, además define las relaciones y la interacción entre las principales entidades.

El suscriptor, la organización que recibe los servicios Carrier Ethernet. El proveedor de Servicio (SP), la organización que ofrece el servicio Carrier Ethernet. El fórum MEF tiene un programa de certificación que ofrece pruebas de conformidad a determinadas especificaciones.

Ampliando la definición del Fórum Metropolitano de Carrier Ethernet que considera al mismo un servicio ofrecido, pero que es omnipresente, estándar y clase portadora, diferenciándose de la tecnología clásica Ethernet en cinco atributos claves, como se muestra en la figura 1.2 : escalable, confiable, gobernable, calidad de servicio y normalizable [10-12].

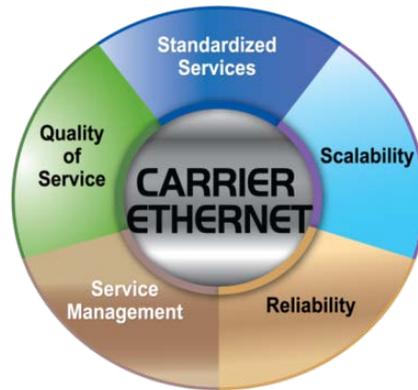


Figura 1.2: Atributos de Carrier Ethernet [11]

Servicios Normalizados o Estandarizados: Este atributo permite esencialmente a un proveedor de servicios ofrecer una serie de paquetes y servicios tradicionales TDM (Multiplexación por División de Tiempo) multipuntos de una manera eficiente y determinista sobre plataformas de equipos estandarizados.

Escalabilidad: Una diferencia fundamental entre una LAN y una red de proveedor de servicios es la escala. En una red de proveedor de servicios, por lo general hay cientos de usuarios finales y, como consecuencia, exponencialmente más conexiones para aplicaciones basadas en Ethernet, simplemente porque cubre un área geográfica más grande.

Confiabilidad y Flexibilidad: Se espera que los servicios Carrier Ethernet soporten aplicaciones de misión crítica a gran escala, la capacidad de detectar rápidamente y de forma remota los fallos que pudieran producirse en la infraestructura física o en la capa de servicios Ethernet que subyace a estas aplicaciones es esencial ya que lograr la confiabilidad es un factor importante para el rendimiento de las redes de comunicación. Carrier Ethernet no es una excepción, por lo que debe tener la capacidad de detectar y recuperarse de una variedad de fallas de la red dentro de un plazo razonable para evitar causar molestias a los usuarios.

Calidad de Servicio: Proporcionar Calidad de Servicio (QoS) es necesario para que Carrier Ethernet sea acogido como sustituto de ATM y Frame Relay y en última instancia como mecanismo de convergencia para ofrecer todos los servicios. QoS se ajusta esencialmente a un nivel predefinido de rendimiento esperado por una aplicación.

Carrier Ethernet no sólo garantiza el ancho de banda de extremo a extremo, sino que también permite a los proveedores de servicios establecer SLA orientado a la conexión para cada flujo de tráfico clasificado, superando así las limitaciones de calidad de

servicio. Carrier Ethernet es un servicio ubicuo que ofrece servicios globales y locales [13].

Gestión o Gobernabilidad de Servicios: Cuando se expanda la red de LAN a las redes metro se hace necesario la capacidad de monitorear, diagnosticar y administrar centralmente la red. Así la Operación, Administración y Mantenimiento (OAM) de clase portadora ha sido un tema candente dentro de IEEE, ITU y MEF [14, 15].

Es importante resaltar que la definición de servicios Carrier Ethernet es tecnológicamente agnóstica, basado en abstracciones. Tampoco define como tiene que ser implementada y por ello diferentes vendedores de equipos incorporan los servicios de Carrier Ethernet sobre sus plataformas de equipos utilizando diferentes tecnologías, tales como: MPLS (EoMPLS, VPWS, VPLS), sistemas de transporte óptico multi-servicios inteligentes, TDM, Ethernet, etc.[16, 17].

1.3 Especificaciones técnicas del Fórum Metropolitano de Ethernet

MEF ha publicado más de 60 normas técnicas; especificaciones y acuerdos de implementación que efectúan la interoperabilidad de los servicios de comunicación y la tecnología, aumentan la eficiencia operativa y aceleran la innovación de la industria.

En las especificaciones MEF 6.2, MEF 8, MEF 23.2 , MEF 43, MEF 47, MEF 51.1 y MEF 62 se determinan los Servicios de Ethernet, sus variedades y cómo personalizarlos para ciertos Acuerdos de Nivel de Servicio (*Service-Level Agreements*, SLA) [18-25].

El Modelo de Servicio de Ethernet, conocido por sus siglas en inglés ESM, tiene dos componentes fundamentales: el equipo del suscriptor o del cliente y la red Ethernet del proveedor de servicios.

Una Conexión Virtual Ethernet (EVC) es la asociación lógica entre dos o más Interfaces Usuario-Red (UNI) y son útiles para describir la conectividad virtual de un servicio [19, 26]. Cada Equipo Cliente (CE) está conectado a la red mediante una UNI. Cualquier tecnología de transporte de los niveles 1 y 2 del modelo OSI puede ser empleada mientras sean las tramas Ethernet las que son traspasadas. El equipo cliente, es típicamente un enrutador o un conmutador que hace de puente, como se define en la IEEE 802.1Q [27].

Cabe acotar un aspecto relacionado con la demarcación de redes de proveedores de servicio. Para ello MEF define una categoría de interfaz física denominada Interfaz externa de red a red (ENNI), punto de referencia que representa el límite entre dos Redes Carrier Ethernet (CEN) de operador que se operan como dominios

administrativos separados [12]. En la terminología de MEF, el proveedor vende los servicios Ethernet a los clientes cuyos sitios están conectados a la red mediante interfaces Usuario-Red (UNI); mientras que el operador vende los servicios Ethernet a los proveedores que se conectan mediante interfaces de tipo ENNI, tal como se muestra en la figura 1.3 [11, 19].

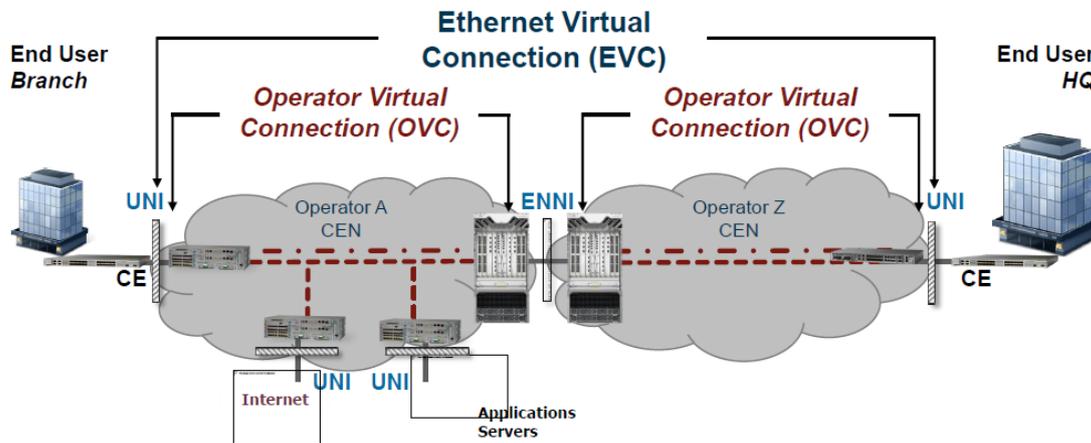


Figura 1.3: Interconexión redes ENNI y EVC [12, 19]

Lo fundamental de ambas formas de Ethernet es que los datos son transportados en una trama. Esto implica que la trama Ethernet originada en un dispositivo de la red LAN, continuará viajando por las redes MAN o WAN de proveedores de servicio sin gran alteración en su formato y terminará en un dispositivo en una LAN remota. La trama puede ser transportada directamente sobre el medio físico o encapsulada sobre otros tipos de redes.

1.3.1 Servicios Ethernet

El Fórum Metropolitano de Ethernet en su especificación 6.2 (Ethernet Services Definitions — Phase III) definió los servicios utilizando el concepto de Conexiones Virtuales Ethernet (EVC) establecidas a través de una red Ethernet. Los equipos de los clientes se conectan a la red en la interfaz Usuario-Red utilizando interfaces estándares a 10 Mbps, 100 Mbps, 1 Gbps, 10 Gbps, 40 Gbps, 100 Gbps y más.

La primera generación de servicios Carrier Ethernet definidos por el MEF fueron dos tipos de EVC:

- a) Servicio Punto a Punto – conocidos como E-Line
- b) Servicios Multipunto - conocidos como E-LAN

Los Servicios Punto a Punto conocidos como E-Line se dividen en dos grupos [11, 19]:

1. EPL – Línea Privada Ethernet. La misma es basada en puertos, es transparente y entre sus principales aplicaciones están las TDM.

2. EVPL – Línea Privada Virtual Ethernet. En los mismos están enterados de las VLAN [27], permitiendo el multiplexado y hacer grupos, estando entre sus principales aplicaciones las de reemplazar a ATM/ FR.

La Línea Privada Ethernet (EPL) usa Conexión Virtual Ethernet punto a punto entre dos interfaces de usuario y provee un alto grado de transparencia en el intercambio de las tramas, tal como se aprecia en la figura 1.4.

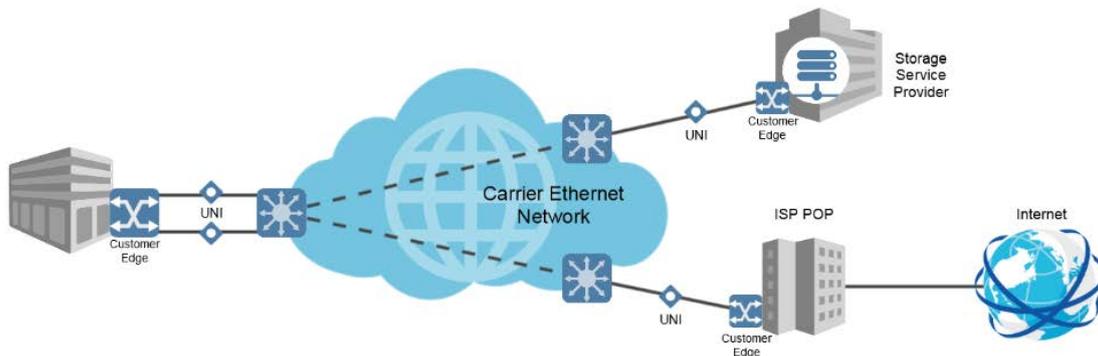


Figura 1.4: Representación de los servicios punto a punto E-Line [11, 19, 28]

La recomendación ITU-T G.8011.1/Y.1307.1 define el servicio de Línea Privada Ethernet (EPL) basada en la arquitectura de transporte Ethernet descrita en la ITU-T G.8010. Diferente a las versiones previas de esta recomendación en ella la base de los atributos son importados de la recomendación MEF 10.4 y las definiciones básicas son importadas de la recomendación MEF 6.2 por lo que asegura un alineamiento en este sentido.

En el servicio de línea privada (EPL) los encabezados y la carga útil son los mismos en ambas interfaces de fuente y destino. Típicamente tiene poca demora de entrega de tramas, poca variación en dicha demora y baja razón de pérdida de tramas. No permite la conmutación de servicio porque usa interfaces físicas dedicadas. Debido a esta transparencia no es necesaria la coordinación de detalles como el mapeo CE-VLAN con el identificador de EVC, puesto a que todas las tramas circulan en un solo EVC.

En la resolución del MEF de 2012 se incorporó distinción entre las variantes de Línea Privada Ethernet de transporte (EPL-T) y Línea Privada Ethernet de paquetes (EPL-P). EPL-T es esencialmente la que fue definida con anterioridad, solo que incluye las características de múltiples parámetros de Clase de Servicio o CoS y otros de perfil de ancho de banda.

El servicio de Línea Privada Virtual Ethernet (EVPL) también es creado sobre un tipo de servicio E-Line al igual que EPL, pero tiene notables excepciones con respecto al anterior. Primero, permite conmutación de servicios en la UNI. Esta característica permite que más de una conexión virtual EVC sea soportada en la UNI, algo no posible en una Línea Privada Ethernet. Segundo, no provee de tanta transparencia como EPL y no lo necesita. Las tramas pueden ser enviadas por distintos EVC. Es preciso recordar que estas figuras son representaciones lógicas.

También en la recomendación ITU-T G.8011.2/Y.1307.2 (de 2009) se definen los servicios de Línea Privada Virtual Ethernet (EVPL), basada en los servicios Ethernet definidos en la recomendación ITU-T G.8011 y alineada con la especificación del MEF 6.2.

Los Servicios Multipuntos conocidos como E-LAN se dividen en dos grupos, tal como se observa en la figura 1.5 [19].

1. EP-LAN – Ethernet Private LAN. El cual está basado en puertos, es transparente y entre sus principales aplicaciones están la emulación de LAN y extensiones.
2. EVP-LAN – Ethernet Virtual Private LAN. En los mismos están basados en VLAN, permitiendo el multiplexado y hacer grupos, estando entre sus principales aplicaciones las de reemplazar a ATM/ FR.

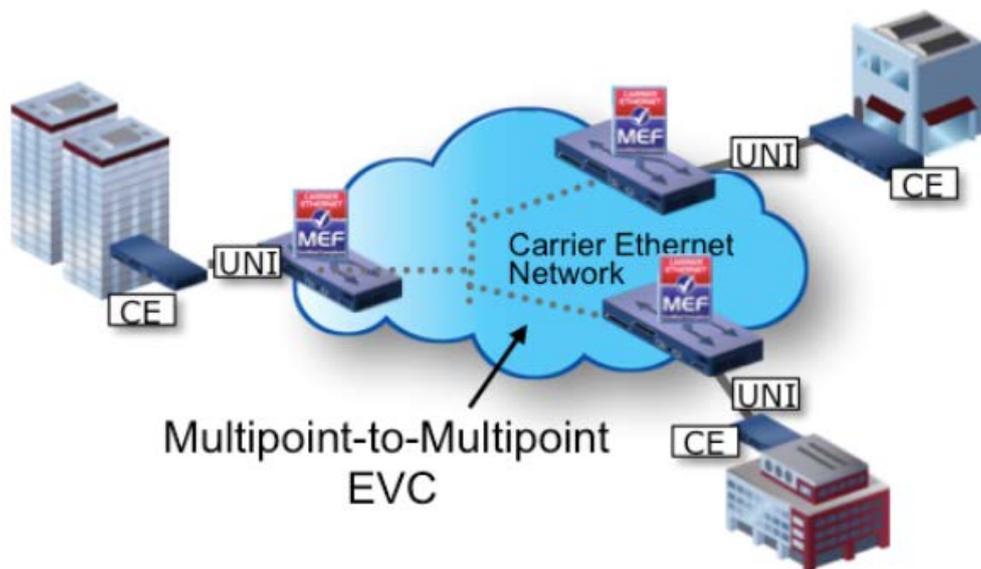


Figura 1.5: Servicios Multipuntos E-LAN [19, 28]

Los suscriptores con múltiples sitios alejados entre sí, usualmente quieren interconectarlos a altas velocidades, de forma que todos estos sitios parecen estar en

la misma LAN. Esto es útil si se trata de proveedores de servicios de aplicaciones de alta demanda como por ejemplo Facebook, caso en el que se necesita que todos los sitios tengan equivalentes el rendimiento y el acceso a recursos como almacenamiento y servidores. Si además los suscriptores desean alta transparencia y la conexión de múltiples UNI, pues una Red de Área Local Privada Ethernet es el tipo adecuado.

Algunos suscriptores desean conectar sus interfaces (UNI) a la red metropolitana mediante servicios de tipo E-LAN, pero al mismo tiempo tener acceso a otros servicios P2P EVC desde una o varias UNI. Un ejemplo de esto puede ser un suscriptor que desea acceder a un servicio de aplicación público o privado, que se entrega desde una UNI que está incluida en alguna locación de la propia red del suscriptor.

Un servicio EP-LAN es un servicio multipunto – multipunto entre dos o más puntos de demarcación, la cual es tomada de la recomendación ITU-T G.8011.5/ Y.1307.5 y está alineada con MEF 6.2 y MEF 10.4.

La LAN Privada Virtual Ethernet (EVP-LAN) es una conexión virtual Ethernet multipunto a multipunto definida por el MEF, un equivalente de Carrier Ethernet del Servicio de LAN Privada Virtual (VPLS) o Servicios de LAN Transparente. Permite la comunicación de cualquiera a cualquier ubicación entre los clientes asociados con las EVC del cliente.

Carrier Ethernet 2.0 (CE 2.0) es la segunda generación de servicios y redes definidas por el MEF, la cual fue desarrollada para resolver los cambios de las redes de transporte en la década actual, principalmente enfocadas a las redes de transporte para la 4G de móviles (Mobile Backhaul Networks) [29]. Las principales funciones de CE 2.0 son definidas mediante tres características principales y 8 servicios.

Las tres características principales son [30]:

1. El tráfico Multi-CoS es conducido sobre Múltiples Clases de Servicio. Adicionalmente las clases de servicio son asociadas con objetivos de desempeño y grados de desempeño definidos por el MEF, permitiendo calidad de servicio (QoS) de forma consistente por los proveedores de servicio.
2. Operación, Administración y Mantenimiento (OAM) es un conjunto de mecanismos que permiten a los proveedores y suscriptores detectar fallos, detectar pérdida de configuración y monitorear el desempeño de la red, Anexo C.
3. Gestión del tráfico, los proveedores de servicio utilizan el ancho de banda para garantizar el tráfico hasta el que está contratado. Mientras que el tráfico que

exceda el Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) es descartado. De ahí que CE 2.0 incluye el ancho de banda en ejecución tanto al ingreso como al egreso.

El modelo de referencia MEF se enfocaba en dos entidades, el suscriptor y el proveedor, sin embargo en el modelo CE 2.0 se extiende a una tercera entidad denominada el operador. Esto es debido a que en casos donde el proveedor de servicios no es capaz de alcanzar todos los sitios de los suscriptores entonces el proveedor puede utilizar un tercero para ofrecer el servicio y este es el denominado operador.

En la figura 1.6 se muestran los servicios acordados con la generación de CE 1.0 y CE 2.0, las especificaciones e implementaciones acordadas (IA), así como los estándares originales de apoyo.

Carrier Ethernet Generation	CE 1.0		CE 2.0			
Characteristics	Standardized		Multi-CoS, Managed, Interconnected			
Services	E-Line	E-LAN	E-Line	E-LAN	E-Tree	E-Access
Services Specs & IAs	MEF 6		MEF 6.1 & 6.1.1, 33 MEF 22.1			
Supporting Work						
Attributes & IAs	MEF 10		MEF 10.2 & 10.2.1, 26.1 MEF 13, 20, 23.1			
Management	MEF 7, 15		MEF 7.1, 16, 17, 30, 31			
Enabled Applications						
MBH	2G/3G Migration		4G MBH Migration, MBH Optimization			
Business Services	Metro, Regional		Local, Regional, National, Global Application, distance oriented, Private Cloud			
Wholesale	-		Buy/Sell Access Services			

IA= Implementation Agreement

Figura 1.6: Resumen de los estándares MEF en CE 1.0 y CE 2.0 [31]

Los nuevos servicios que incorpora CE 2.0 son agrupados en dos tipos [23]:

1. Tipo Árbol (E-Tree)
2. Tipo Acceso (E-Access)

Cada uno de ellos con sus variantes de árbol privado virtual y de acceso privado virtual tal como se muestra en la figura 1.7.

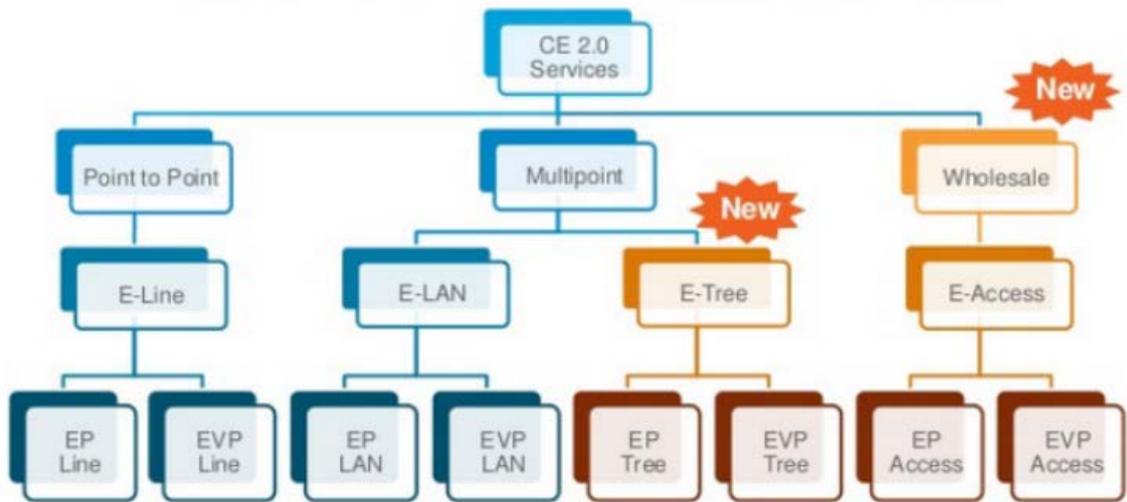


Figura 1.7: Nuevos servicios de CE 2.0

Un E-Tree es un servicio multipunto arraigado que conecta a varias UNI que proporcionan a los sitios conectividad multipunto de centro y radio. Cada UNI se designa como raíz u hoja. Una UNI raíz puede comunicarse con cualquier UNI hoja, mientras que una UNI hoja solo puede comunicarse con una UNI raíz, tal como se aprecia en la figura 1.8. Pueden ser de dos tipos, Árbol Privado Ethernet (EP-Tree) y Árbol Privado Virtual Ethernet (EVP- Tree).

El servicio de Árbol Privado Ethernet (EP-Tree) es basado en los puertos de la interfaz UNI y tiene un alto grado de transparencia. El servicio Árbol Privado Virtual Ethernet (EVP-Tree) es un servicio basado en redes VLAN donde hay multiplexado y atados en la interfaz UNI.

Es importante explicar que el multiplexado significa que permite múltiples EVC sobre una interfaz UNI, la selección del EVC es basada en el valor de la CE-VLAN. Mientras que las agrupaciones (bundling) de VLAN significan más de una VLAN, pero no todas son mapeadas a un EVC. De ahí que en una misma interfaz se puedan combinar el multiplexado y las agrupaciones de VLAN.

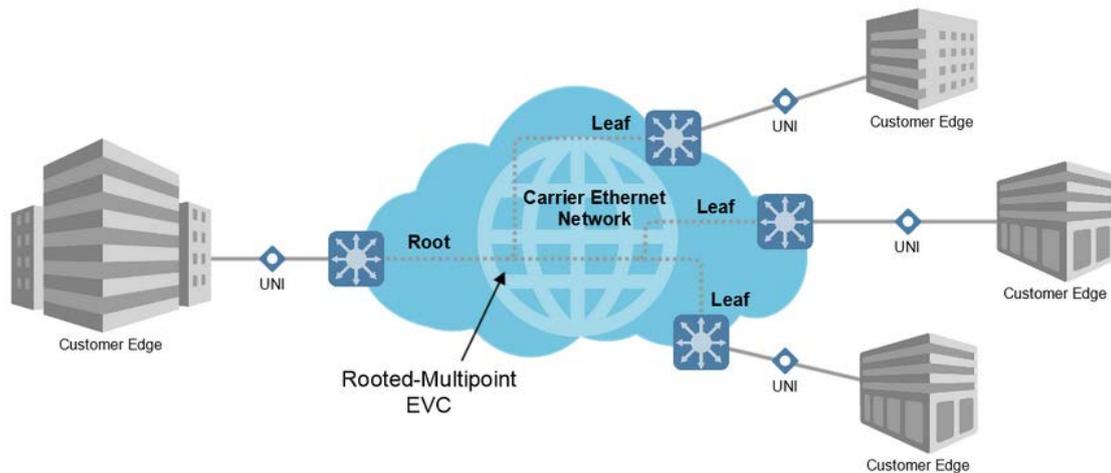


Figura 1.8: Representación del servicio E-Tree [28]

Los servicios de Acceso (E-Access) pueden ser observados en la figura 1.9, donde se aprecian Circuitos Virtuales de Operador (OVC) entre las interfaces red- red (ENNI) y las interfaces UNI en la red del operador de la red Carrier Ethernet (CEN) [32, 33].

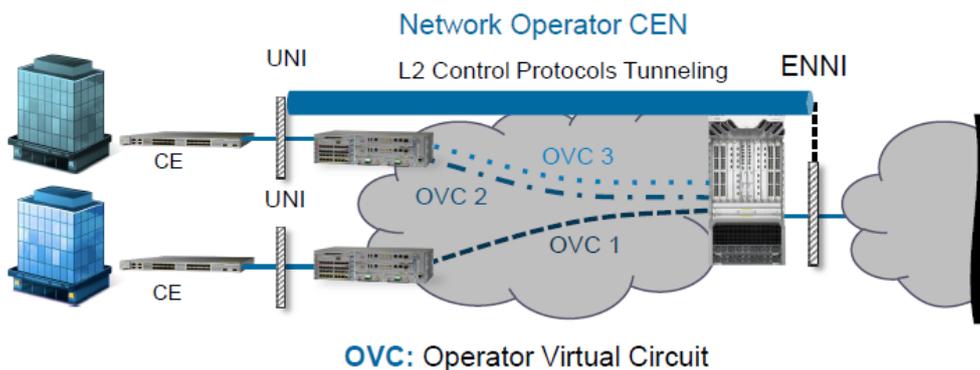


Figura 1.9: Servicios E-Access [28]

Los servicios E-Access son de tres tipos, E-Access (EPL), E-Access (EVPL) y E-Access (LAN). El acceso EPL es basado en puertos en la interfaz UNI y tiene alto grado de transparencia, mientras que el servicio de acceso EVPL es basado en VLAN donde hay multiplexado y atados en la interfaz UNI. El servicio Access E-LAN proporciona un OVC multipunto a multipunto que conecta una o más UNI con una o más ENNI.

Un servicio de E-Transit es cualquier servicio de OVC que asocia solo a las ENNI. Se definen dos servicios de E-Transit: Transit E-Line y Transit E-LAN [23].

El servicio Transit E-Line proporciona un único OVC punto a punto que asocia dos puntos finales OVC, cada uno de los cuales se encuentra en una ENNI (podrían ser dos ENNI diferentes o la misma ENNI).

El servicio de Transit E-LAN proporciona un OVC multipunto a multipunto que conecta puntos finales OVC en una o más ENNI.

A continuación se muestra un resumen completo de los servicios Ethernet organizados por Tipos de Servicio, Servicios basados en Puertos y Servicios VLAN [34].

Tabla 1.1: Resumen de los Servicios Ethernet [34]

	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 EVPL
		Access E-LAN MP2MP OVC with UNI(s) and 1 ENNI 	Access EVPL MP2MP OVC with UNI(s) and 1 ENNI
	E-Transit	Transit E-Line P2P OVC with 2 ENNIs 	Transit E-Line P2P OVC with 2 ENNIs
		Transit E-LAN MP2MP OVC with 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

La Tercera Red: Ágil, segura y orquestada [35-37]

La Tercera Red de MEF, que se basa en los principios de red como servicio (Network as a Service), combina la agilidad por demanda y la ubicuidad del Internet con las garantías de seguridad y desempeño de Carrier Ethernet 2.0 (CE 2.0). La Tercera Red ofrecerá servicios no sólo entre las terminales físicas del servicio utilizados hoy en día, tales como puertos Ethernet (UNI), sino también entre las terminales de servicio virtual en un servidor en la nube para conectar máquinas virtuales (MV) o funciones de red virtual (NFV). MEF alcanzará esta visión al construir sobre sus exitosos fundamentos del CE 2.0 mediante la definición de capacidades del Ciclo de Vida de Servicios Orquestados (LSO) y el apoyo de las Interfaces del Programa de Aplicación (API). MEF definirá los requisitos funcionales y las API para la LSO que sustentan capacidades de cumplimiento, control, desempeño, aseguramiento, uso, seguridad, análisis y políticas a través de redes con operadores múltiples. Este enfoque supera la complejidad existente mediante la definición de las abstracciones del servicio que

ocultan la complejidad de las tecnologías subyacentes y las capas de red de las aplicaciones y los usuarios de los servicios, tal como se observa en la figura 1.10.

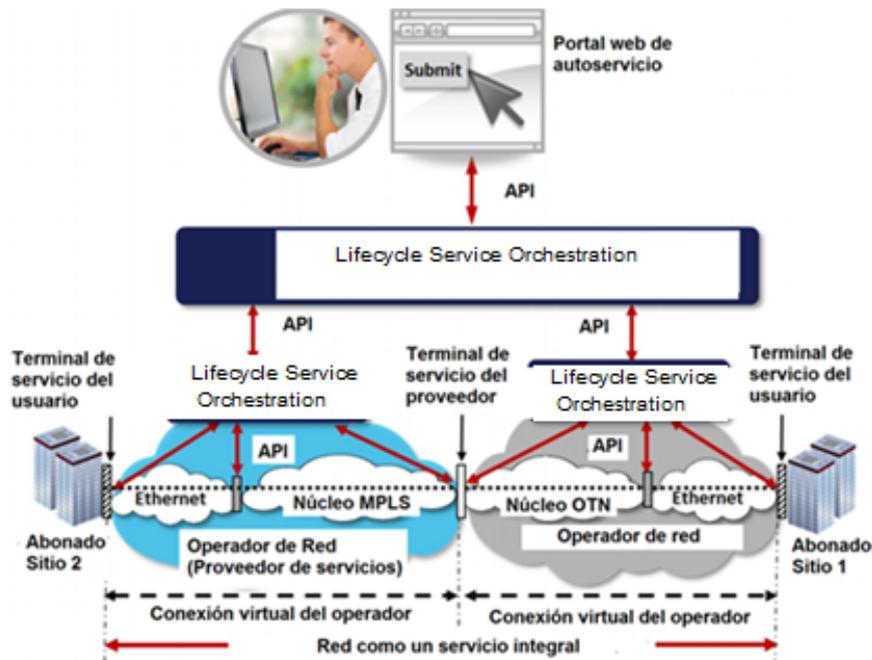


Figura 1.10: Vista general de la Tercera Red [35]

El objetivo de la Tercera Red, basado en los principios de la red como servicio, consiste en habilitar redes *ágiles* que entregan *servicios* de conectividad *orquestrada* entre dominios de red en puntos de servicios físicos o virtuales.

Atributos de la Tercera Red [35]

Ágil: Se refiere a la capacidad de los proveedores de introducir con rapidez nuevos servicios por demanda aprovechando las nuevas tecnologías con un entorno operacional. SDN y NFV dan lugar a una gran agilidad de la Tercera Red, pero requieren que el entorno operacional del proveedor del servicio sea más ágil.

Segura: Se refiere a las expectativas de los abonados basada en que una red como servicio ofrecerá un rendimiento consistente y garantías de seguridad para satisfacer las necesidades de las aplicaciones.

Orquestrada: Se refiere a la gestión de servicios dinámica y automatizada de todo el ciclo de vida de los servicios de conectividad que puede abarcar dominios de red dentro de la red de un operador individual o a través de redes de operadores múltiples. Esto incluye satisfacción, control, rendimiento, aseguramiento, uso, análisis y seguridad del servicio.

MEF 3.0 Carrier Ethernet es la tercera generación de servicios de Carrier Ethernet definidos por el MEF que proporciona el nivel más alto de rendimiento, garantía y agilidad disponible en la industria [38], Anexo D.

Los servicios MEF 3.0 CE están diseñados para satisfacer las necesidades más exigentes de la economía digital. Liberados de las restricciones impuestas por la conectividad estática y los procesos manuales que llevan mucho tiempo, los servicios de MEF 3.0 CE proporcionan una experiencia en la nube bajo demanda, con un control sin precedentes dirigido por el usuario y la aplicación sobre los recursos de la red y las capacidades del servicio.

MEF 3.0 CE se extiende mucho más allá de los servicios CE 2.0 ampliamente adoptados en la actualidad para proporcionar las ofertas basadas en estándares más avanzadas disponibles en el mercado de servicios de CE a nivel mundial de más de 50 mil millones de dólares. La completa cartera de servicios de MEF 3.0 CE incluye un conjunto de servicios para suscriptores (E-Line, E-LAN, E-Tree) y un conjunto de servicios de operador (Access E-Line, Access E-LAN, Transit E-Line, Transit E-LAN) que se puede organizar a través de redes programables utilizando las API de LSO, como se muestra en la figura 1.11.

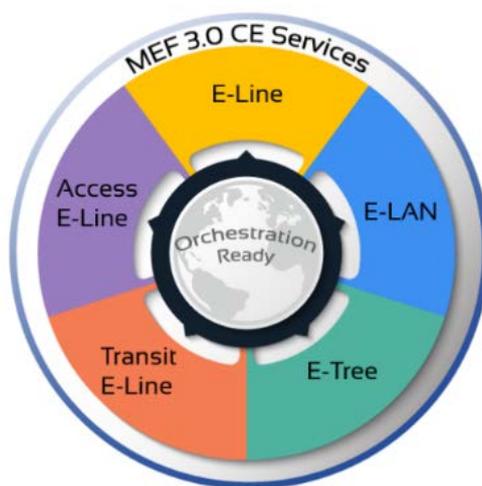


Figura 1.11: Servicios MEF 3.0 CE [38]

Los servicios de MEF 3.0 CE incorporan docenas de estándares publicados de MEF, la autoridad definitoria mundial en servicios de red estandarizados. MEF 3.0 CE mejora los servicios E-line, E-LAN y E-Tree con atributos de servicio nuevos y redefinidos incluidos en las especificaciones de MEF publicadas durante 2013-2018. MEF 3.0 CE Acceso a E-Line, acceso a E-LAN, Transit E -Los servicios de línea y Transit E-LAN se basan en las especificaciones publicadas durante 2016-2018.

La figura 1.12 muestra una lista completa de las especificaciones relacionadas con MEF 2.0 y MEF 3.0 CE, clasificadas en tres categorías principales: definiciones y atributos de servicios mejorados, garantía y orquestación.



Figura 1.12: Comparación de especificaciones entre MEF 3.0 CE y CE 2.0 [38]

1.4 Tecnologías de transporte Ethernet

1.4.1 Ethernet sobre SONET/SDH

Los servicios E-Line de Carrier Ethernet se pueden entregar a través de redes SONET y SDH. SONET y SDH se basan típicamente en topologías en anillo. Cada anillo puede funcionar a varias velocidades, hasta un máximo de 10 Gbps. Un ejemplo de la arquitectura de red se ilustra en la figura 1.13 [39].

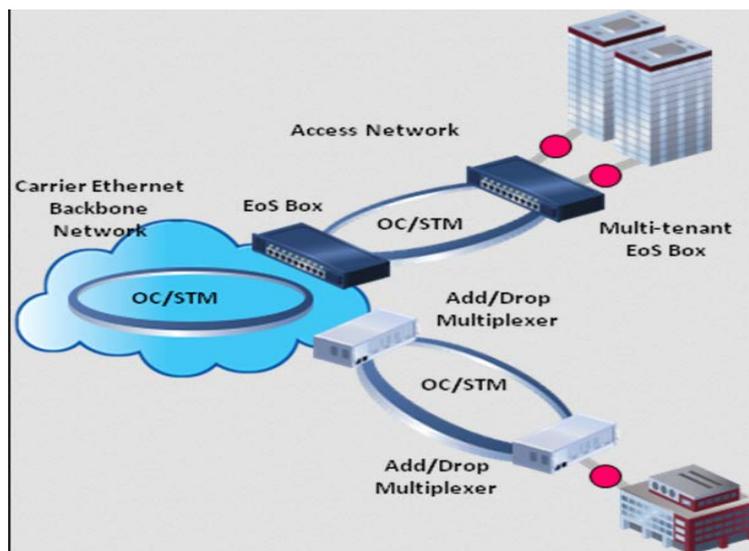


Figura 1.13: Anillos SONET/SDH [39]

Ethernet sobre SONET / SDH se refiere a la encapsulación de tramas de Ethernet en un contenedor específico que tiene una velocidad predeterminada. Existen varios

medios para encapsular el tráfico de Ethernet asíncrono en un transporte síncrono como SONET o SDH. Con esta tecnología, la conexión de extremo a extremo (UNI a UNI) se conoce como la ruta, y los datos del Suscriptor que fluyen de un extremo a otro se conocen como los datos de la ruta. La encapsulación de una trama Ethernet dentro de la trama GFP-F se muestra en la figura 1.14.

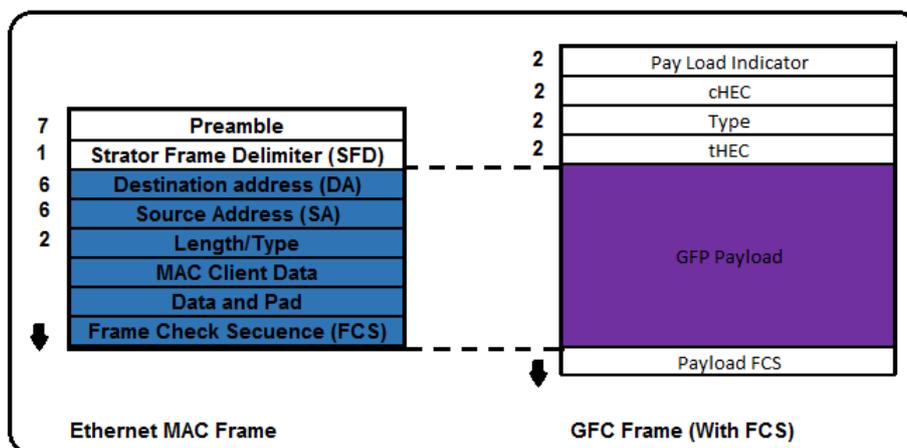


Figura 1.14: Encapsulación de Ethernet en GFP-F [39]

Todas las técnicas de encapsulación (por ejemplo, GFP, POS) no son conscientes de la estructura de la trama de Ethernet. Esto significa que cualquier trama L2CP se puede canalizar a través de un servicio E-Line basado en SONET / SDH. Además, estos elementos de red no realizan ningún aprendizaje o filtrado de MAC.

Tabla 1.2: Soporte SONET / SDH para servicios Carrier Ethernet [39]

SONET/SDH Support for Carrier Ethernet Services			
Ethernet Service		Support	Notes
EPL		✓	Transparent L2CP handling
EVPL		★	Can support multiple services over a single port assuming external device perform traffic separation.
EP-LAN		✗	Point to point transport technology
EVP-LAN		✗	Point to point transport technology
EP-TREE		✗	Point to point transport technology
EVP-TREE		✗	Point to point transport technology
ACCESS EPL			
ACCESS EVPL			

1.4.2 Ethernet sobre MPLS

Los servicios de Ethernet de operador se pueden entregar a través de redes basadas en tecnologías MPLS [40-42]:

- Servicio Virtual de Cable Privado (VPWS)
- Servicio Virtual de LAN Privada (VPLS)
- Perfil de transporte MPLS (MPLS-TP)

Estas tecnologías se basan en los estándares MPLS especificados por IETF y UIT-T. Todos ellos requieren algún tipo de tecnología de transporte de capa 1/2 entre los enrutadores [43-45].

Para los propósitos de Carrier Ethernet, los fundamentos de VPWS, VPLS y MPLS-TP son similares con los LER (PE) en los bordes de la red y los LSR (PE) en el núcleo.

➤ **Servicio Virtual de Cable Privado (VPWS)**

VPWS es la forma más sencilla de habilitar los servicios de Ethernet a través de MPLS. También se conoce como ETHoMPLS (Ethernet sobre MPLS) o VLL (Línea Arrendada Virtual) [46, 47].

Se pueden transferir múltiples PW (Pseudo/Wire) a través de un único LSP (Etiqueta de Ruta Conmutada), y cada PW se puede configurar para que lleve un CoS (Clase de Servicio) o varios CoS. Se pueden transportar hasta un máximo de 8 CoS en un PW determinado.

La etiqueta de túnel (etiqueta LSP) es un campo de 20 bits que produce 1 millón de etiquetas únicas a través de un enlace. Cada LSP puede llevar uno o más EVC (Conexión Virtual de Ethernet) u OVC (Conexión Virtual del Operador). Dado que un EVC o un OVC se pueden asignar a un solo PW o a múltiples PW, teóricamente 1 millón de EVC y / o OVC se pueden transportar a través de un solo LSP. Esto implica que se puede implementar un número casi ilimitado de servicios Ethernet de portadora en un solo VPWS.

La red MPLS tiene un identificador de Calidad de Servicio (CoSID) de 3 bits llamado los bits EXP (también conocido como el campo Clase de tráfico en las RFC posteriores). Los bits EXP se utilizan para la ID de CoS y el reenvío de color cuando corresponde.

Se pueden entregar hasta ocho CoS a través de MPLS LSP. Sin embargo, suponiendo que algunas CoS también necesiten denotar color, el número efectivo es de cinco CoS. Las redes MPLS pueden soportar el modelo 3-CoS de MEF 23. El LER (Encaminadores de borde de etiqueta) de ingreso puede canalizar casi cualquier fotograma sobre un PW, con la excepción de los fotogramas PAUSA. Puede admitir la ID CE-VLAN y la conservación CE-VLAN CoS. También se especifica el interfuncionamiento con el árbol de expansión del cliente. Esto significa que los

servicios EPL y EVPL se pueden proporcionar a través de VPWS con un manejo transparente de los L2CP.

La replicación de multidifusión no es parte de esta tecnología de transporte, ya que es punto a punto. En el caso de que se requiera soporte de replicación multipunto / multidifusión, se puede utilizar VPLS.

La flexibilidad es proporcionada por la redundancia MPLS LSP (MPLS-Rutas de cambio de etiqueta) y MPLS PW (MPLS-Pseudowires). Esto puede basarse en la protección lineal G.8031 o MPLS FRR. Ambas técnicas pueden proporcionar una protección inferior a 50 mseg. Estas capacidades de resistencia pueden configurarse para proporcionar una resistencia transparente a la capa de servicio de Ethernet. Esto se debe al hecho de que el mecanismo de protección cambia la ruta entre los dos PE (Proveedor de Borde) de forma transparente a la capa de Ethernet.

El soporte para los diversos servicios de Ethernet se resume en la tabla 1.3.

Tabla 1.3: Soporte VPWS para el servicio Carrier Ethernet [47]

VPWS Support for Carrier Ethernet Services		
Ethernet Service	Support	Notes
EPL 	✓	High degree of L2CP transparency
EVPL 	✓	
EP-LAN 	✗	Only Point to Point supported by VPWS No multicast support
EVP-LAN 	✗	Only Point to Point supported by VPWS No multicast support
EP-TREE 	✗	Only Point to Point supported by VPWS No multicast support
EVP-TREE 	✗	Only Point to Point supported by VPWS No multicast support
ACCESS EPL 		
ACCESS EVPL 		

➤ Servicio Virtual de LAN Privada (VPLS)

VPLS es muy similar a VPWS desde un punto de vista de red, pero está diseñado para admitir una topología multipunto en lugar de una topología punto a punto. Dado que los PW de MPLS son punto a punto, el VPLS depende de una malla de PW entre todos los dispositivos de borde del proveedor. Los dispositivos del proveedor actúan como enrutadores de etiqueta (LER) al igual que con VPWS, pero los LER son lógicamente interface con una función que se parece a un conmutador Ethernet [48, 49].

VPLS brinda soporte para los seis tipos de servicios de Carrier Ethernet definidos por el MEF. Las capacidades de manejo de L2CP son prácticamente las mismas que para

el puente del proveedor, ya que ambos incorporan un componente puente que maneja los marcos de etiqueta C del cliente.

El CEN (Red Ethernet de Portadora) no usa xSTP (Variantes del Protocolo de Árbol de Expansión) para el reenvío o la capacidad de recuperación. El cliente xSTP no se canaliza a través del CEN basado en VPLS.

E-Tree es naturalmente soportado por VPLS. El concepto de hub (raíz) y radios (hoja) también forma parte del estándar VPLS.

El soporte para los diversos servicios de Ethernet se resume en la tabla 1.4.

Tabla 1.4: Soporte VPLS para el servicio Carrier Ethernet [49]

VPLS Support Carrier Ethernet Services		
Ethernet Service	Support	Notes
EPL 	✓ ⚠	Transparent EPL cannot be supported
EVPL 	✓	
EP-LAN 	✓	
EVP-LAN 	✓	
EP-TREE 	✓	
EVP-TREE 	✓	
ACCESS EPL 		
ACCESS EVPL 		

➤ Perfil de transporte MPLS (MPLS-TP)

MPLS-TP (Perfil de transporte MPLS) está especificado conjuntamente por el IETF y el UIT-T. Está diseñado para ser un subconjunto del marco MPLS que proporciona servicios orientados a la conexión más adecuados para redes de transporte [41, 44]. MPLS-TP usa el mismo formato de paquete que MPLS, y usa LSP y PWs.

La ruta MPLS-TP está configurada por el sistema de gestión, pero opcionalmente puede determinarse y aprovisionarse por el plano de control GMPLS. MPLS-TP admite rutas activas y de respaldo, brindando protección lineal con recuperación de menos de 50 msec. El concepto de rutas activas y de respaldo predefinidas facilita la ingeniería de tráfico y permite un ancho de banda garantizado a través del CEN (Redes Carrier Ethernet).

MPLS-TP también proporciona un amplio soporte OAM, incluido Y.1731 FM (gestión de fallos) y PM (gestión de rendimiento). A diferencia de MPLS, MPLS-TP no utiliza

enrutamiento IP, por lo que los CEN de MPLS-TP pueden ser puramente redes de capa 2.

MPLS admite LSP de punto a punto y también LSP de punto a multipunto. A diferencia de MPLS, las direcciones de tráfico hacia adelante y hacia atrás se transportan a través de la misma ruta de red en todo momento.

MPLS-TP es una tecnología de transporte punto a punto (orientada a conexión) y se puede utilizar para implementar los servicios de E-Line y E-Access de MEF. Los servicios de EPL se pueden proporcionar a través de MPLS-TP con un manejo transparente de los L2CP de una manera similar a la soportada por VPWS. Las E-LAN y los árboles electrónicos pueden implementarse ejecutando VPLS sobre los LSP y PW basados en MPLS-TP.

Debido al hecho de que MPLS-TP utiliza el mismo formato de trama que MPLS, la escalabilidad de los servicios y la identificación de CoS es la misma. Consulte MPLS sobre VPWS para más detalles. El soporte para los diversos servicios de Ethernet se resume en la tabla 1.5.

Tabla 1.5: Soporte MPLS-TP para el servicio Carrier Ethernet [41]

MPLS-TP Support for Carrier Ethernet Services		
Ethernet Service	Support	Notes
EPL 		High degree of L2CP transparency
EVPL 		
EP-LAN 		
EVP-LAN 		
EP-TREE 		
EVP-TREE 		
ACCESS EPL 		
ACCESS EVPL 		

1.4.3 Ethernet sobre Ethernet (EoE)

Los defensores de Clase de Operador Ethernet (Carrier Class Ethernet) argumentan que Ethernet es la mejor para las redes de área metropolitana porque todo el tráfico de datos se origina como Ethernet. La presencia ubicua de Ethernet en las LAN de todo el mundo reduce el costo de Ethernet como tecnología. Por lo tanto, el uso de Ethernet en una red de metro permite a los proveedores de servicios aprovechar los volúmenes que manda un segmento empresarial mucho más grande.

El Transporte Portador Ethernet (Carrier Ethernet Transport) generalmente implica una evolución de Ethernet convencional y comprende múltiples componentes tecnológicos.

Los Puentes de red Troncal del Proveedor (Provider Backbone Bridging/PBB) en IEEE 802.1Q, inicialmente documentado en la enmienda 802.1ah, fue desarrollado para resolver el problema de escalar a más de 4,094 servicios en una red de Proveedor Puenteado (Provider Bridged / PB), y proporcionar a los proveedores de servicios una tecnología de puente que permitirá encapsular las direcciones MAC, las VLAN y los datos del suscriptor, lo que hace que el transporte de dichas tramas sea "transparente" en toda su red. El concepto de MAC en MAC (MAC in MAC) se introdujo en PBB [27, 50].

Ingeniería de Tráfico de Puentes de la red Troncal del Proveedor (Provider Backbone Bridge - Traffic Engineering / PBB-TE, comúnmente llamada PBT (Transport Backbone Transport)) proporciona ingeniería de tráfico y un transporte efectivo para servicios Ethernet protegidos [51]. PBB-TE permite la definición de rutas activas y de respaldo de extremo a extremo mediante la configuración del plano de gestión.

La Gestión de Fallas de Conectividad (CFM) proporciona la Operación, Administración y Mantenimiento (OAM) que tanto requiere el Grado de Operador Ethernet (Carrier Grade Ethernet).

Un beneficio clave de un servicio Carrier Ethernet es su capacidad para proporcionar servicios consistentes, rentables y de alto rendimiento entregados a los usuarios en cualquier ubicación que estén conectados a través de una o más de una amplia gama de infraestructuras de transporte [52, 53].

Todas las infraestructuras de acceso que se enumeran a continuación tienen sus respectivas ventajas según el rango, los requisitos de ancho de banda, la disponibilidad de infraestructura y otras capacidades necesarias para la entrega del servicio E-Line, E-LAN, E-Tree o E-Access. De hecho, en muchos casos, los proveedores de servicios utilizarán una combinación de varias tecnologías de acceso a los distintos sitios de sus suscriptores para completar la solución para el cliente.

Los servicios de Carrier Ethernet están diseñados para ser entregados en todas las infraestructuras de acceso a paquetes comúnmente disponibles implementadas hoy, incluyendo:

- Cobre (incluidos los canales en condiciones de servidumbre)
- Fibra (oscura y activa)
- HFC (DOCSIS)
- Paquete de radio

- Red óptica pasiva (PON)
- PDH (T1 / E1 / T3 / E3)

La tabla 1.6 resume el soporte de transporte para los diversos servicios de Ethernet.

Tabla 1.6: Soporte de transporte para servicios de Ethernet [53]

		EPL	EVPL	EP-LAN	EVP-LAN	EP-Tree	EVP-Tree	Access EPL	Access EVPL
IEEE-based Transport Technologies	Customer Bridging	✔️⚠️	✔️⚠️	✔️	✔️⚠️	✔️⚠️	✔️⚠️	❌	❌
	Provider Bridging	✔️⚠️	✔️	✔️	✔️⚠️	✔️⚠️	✔️⚠️	✔️	✔️
	Provider Backbone Bridging	✔️⚠️	✔️	✔️	✔️	✔️	✔️	✔️	✔️
MPLS-based Transport Technologies	PBB-TE	✔️⚠️	✔️	✔️	✔️	✔️	✔️	✔️	✔️
	VPWS	✔️	✔️	❌	❌	❌	❌	✔️	✔️
	VPLS	✔️⚠️	✔️	✔️	✔️	✔️	✔️	✔️	✔️
Optical Transport Technologies	MPLS-TP	✔️	✔️	❌	❌	❌	❌	✔️	✔️
	SONET/SDH	✔️	★	❌	❌	❌	❌	❌	❌
	OTN	✔️	★	❌	❌	❌	❌	❌	❌
	WDM	✔️	★	❌	❌	❌	❌	❌	❌

1.5 Soluciones de fabricantes y equipos para las Redes Metropolitanas Ethernet

En la actualidad varios fabricantes de equipos de interconexión tienen soluciones para Redes de Transporte Ethernet, entre los más importantes se tienen:

- **Huawei Technologies Co., Ltd:** Empresa privada multinacional china de alta tecnología especializada en investigación y desarrollo (I+D), producción electrónica y marketing de equipamiento de comunicaciones. Provee soluciones de redes personalizadas para operadores de la industria de telecomunicaciones. Fue fundada en 1987. Huawei Technologies Co., Ltd. provee a 35 de los mayores operadores de telecomunicaciones del mundo e invierte anualmente un 10% de sus ganancias en investigación y desarrollo [54].

Plataforma OTN OptiX OSN 1800: Es una serie de equipos de transmisión que admiten servicios de TDM, paquetes y OTN sobre una red óptica de campus o metropolitana [55].

Plataforma OTN OptiX OSN 6800: Plataforma de transporte inteligente para OTN / WDM / SDH integrado. Se utiliza en red troncal de larga distancia, redes locales, capas de convergencia metropolitana y capas centrales metropolitanas [56].

Plataforma OTN OptiX OSN 8800: Se trata de un producto de 100G/200G muy usado en redes WDM/OTN de backbone y metropolitanas [57].

Plataforma OTN OptiX OSN 9800: Plataforma de próxima generación de Huawei para velocidades de 100G y superiores, ideal para la construcción de redes backbone y metropolitanas de alto rendimiento [58].

S9300E: Los conmutadores de enrutamiento Terabit de la serie Huawei S9300E son conmutadores inteligentes de última generación diseñados para redes multiservicio. El S9300E utiliza el concepto de conmutación multicapa inteligente de Huawei para proporcionar servicios de conmutación L2 / L3 de alto rendimiento, así como aplicaciones de red enriquecidas como video de alta definición (HD), computación en la nube, hardware IPv6, seguridad unificada y H-QoS. Los conmutadores S9300E, seguros, confiables y escalables, brindan funciones de enrutamiento y conmutación convergentes de extremo a extremo, son ampliamente utilizados en redes de área amplia (WAN), redes de área metropolitana (MAN) y centros de datos para ayudar a los operadores a crear aplicaciones. El S9300E está disponible en tres modelos: S9303E, S9306E y S9312E [59].

- **Nokia + Alcatel-Lucent:** es una empresa multinacional de comunicaciones y tecnología. Está formada por dos grupos de negocios: Nokia Networks y Nokia Technologies.

7450 ESS: Diseñado para ofrecer servicios Carrier Ethernet. Ideal para la agregación MetroEthernet de redes fijas y móviles [60].

7210 SAS: La familia de productos 7210 SAS proporciona flexibilidad de implementación, riqueza de servicios y la inteligencia operativa que se necesita para extender IP / MPLS y Carrier Ethernet a través de redes de acceso metro [61].

7750 SR: es un enrutador de alto rendimiento, de multiservicio EDGE, diseñado para la entrega simultánea de servicios residenciales, empresariales y móviles avanzados en una plataforma común IP EDGE [62].

- **Cisco Systems:** es una empresa global con sede en San José, California, Estados Unidos, principalmente dedicada a la fabricación, venta, mantenimiento y consultoría de equipos de telecomunicaciones [63].

Cisco 1000 Serie de enrutadores de servicios integrados: Los enrutadores de servicios integrados (ISR) de la serie 1000 de Cisco son enrutadores fijos de alto rendimiento que son fáciles de implementar y administrar. Pequeños pero potentes, brindan conectividad de banda ancha, Metro Ethernet y LAN inalámbrica altamente seguras.

Series conmutadores Acceso Ethernet: ME 3400E, Modelos ME 3400E-24TS-M, ME 3400EG-2CS-A, ME 3400EG-12CS-M.

- **Ericsson:** compañía multinacional dedicada a ofrecer equipos y soluciones de telecomunicaciones, principalmente en los campos de la telefonía, la telefonía móvil, las comunicaciones multimedia e internet.

Enrutador 6000: La serie es un portafolio de transporte de IP habilitado para SDN del proveedor de servicios, integrado por radio, administrado por un único sistema de administración de extremo a extremo. Ofrece conectividad de alto rendimiento para aplicaciones LTE, LTE avanzadas y 5G [64].

De los suministradores presentados se escoge a Huawei Technologies Co., Ltd teniendo en cuenta que la provincia propuesta posee sus redes con tecnologías basadas en SDH de este fabricante, al igual que el sistema de Gestión (U2000). Para ello se expondrá la solución con Redes Metro y se definirá claramente las fronteras entre las diferentes capas de la red, siendo estas Backbone IP/MPLS, Red Metro y Acceso.

1.6 Ventajas de la solución Metro Ethernet propuesta con respecto a Ethernet sobre SDH

Ethernet domina los entornos de redes locales hasta el punto de que cerca del 90% de todo el tráfico de datos termina en un puerto Ethernet. Sus inherentes beneficios de simplicidad, flexibilidad y bajo coste están haciendo de esta tecnología una sólida alternativa también en las redes metropolitanas (MAN) y de área amplia (WAN), ofreciendo a las empresas una solución de extremo a extremo. Las redes metropolitanas Ethernet sobre fibra prometen proporcionar mayor velocidad, con un ancho de banda más flexible que las tecnologías basadas en ATM/SDH.

1.6.1 Solución actual con Ethernet sobre SDH (EoS)

La red SDH existente no constituye una solución óptima para transmitir tráfico Ethernet y transportarlo hasta el punto de presencia físico de los servicios (Service PoP):

- El transporte de Ethernet sobre SDH provoca saturación de los slot de los ADM (Multiplexor add/drop) por el alto número de puertos que se utilizan por falta de la funcionalidad de agregación y por el ancho de banda requerido.

- Estructura modular: A partir de la velocidad básica se obtienen velocidades superiores multiplexando byte por byte varias señales STM-1.
- Ocupa banda en el anillo de forma estática, banda reservada aun cuando no hay tráfico.
- SDH no permite asignación dinámica de la banda.
- El número de bytes destinados a la cabecera de sección es muy grande, lo que conlleva a una pérdida de la eficiencia.
- La red SDH existente no es suficiente para satisfacer las previsiones de tráfico en término de ancho de banda y por la cantidad de nuevos sitios a conectar.
- No implementa QoS, en caso de congestión descarta paquetes de cualquier tipo de tráfico.
- Escalabilidad reducida.

1.6.2 Solución propuesta Metro Ethernet

Se basa en la tecnología *Metro Ethernet* estándar que proporciona una manera consistente de entregar servicios a los usuarios conectados sobre una amplia variedad de redes de acceso (DSLAM, GPON, Radio Base Móvil, MSAN, Wifi, etc.).

La OTN (Red de Transporte Óptico) cubre las expectativas de requerimientos de ancho de bandas mayores que no sería posible con los costos prohibitivos de sistemas tradicionales como la red territorial SDH que hoy posee la provincia.

La solución es escalable de acuerdo a las demandas de los servicios del usuario final, posee herramientas para administración del servicio y cubre los requerimientos de confiabilidad y alta disponibilidad:

- Utilizando PW no sufre de la limitación del número de VLAN (4096).
- Permite protección basada en anillos de rápida convergencia.
- Permite operación, administración y mantenimiento (OAM) de las conexiones (LSP y PW).
- Transporta sincronización (Sync Eth y 1588v2).
- Permite aplicar políticas de calidad de servicio (QoS) al tráfico Ethernet.
- Permite resolver la falta de la funcionalidad QinQ.
- Proporciona alta confiabilidad con protección para cada servicio, enlaces y nodos del núcleo Metro, utilizando OSPF (Primer Camino Más Corto) como protocolo de enrutamiento dinámico, lográndose una conmutación rápida de los servicios en caso de fallas.

1.7 Conclusiones Parciales

En este Capítulo se sentaron las bases teóricas que sustentan el desarrollo de la Tesis. Se investigó sobre el estado de avance de las diferentes tecnologías de transporte y estándares de las redes Metropolitanas Ethernet, así como su evolución. Se evaluó los diferentes tipos de servicios Ethernet, soluciones de fabricantes, ventajas frente a la red actual, todo esto a través de revisión bibliografía, estándares, resoluciones y especificaciones técnicas. A partir del estudio se pudo determinar que es posible diseñar una red metropolitana Ethernet con mejores prestaciones. La respuesta al problema científico desde la teoría demuestra que se puede aplicar el conocimiento adquirido en el desarrollo de una nueva red en la provincia de Las Tunas.

CAPÍTULO 2 : DISEÑO DE RED METROPOLITANA ETHERNET PARA LA PROVINCIA LAS TUNAS

En este capítulo se hace la propuesta de diseño de una red de agregación que da solución a la insuficiente infraestructura tecnológica en la provincia de Las Tunas, exponiendo los requerimientos de los servicios de telecomunicaciones posibles a implementar. Se realiza un análisis de la red de transporte actual así como del territorio en cuestión, se muestra la arquitectura de la red de transmisión, topología y tecnología que debería emplearse para enfrentar los nuevos servicios.

2.1 Análisis de la situación actual de las redes de transporte en Las Tunas

La provincia de Las Tunas cuenta con 8 municipios y una población de 536 094 habitantes. Predominan las llanuras, la densidad telefónica por cada 100 habitantes es de 9.28%, posee 34 Zonas Wifi, más de mil 500 servicios Nauta Hogar (cierre 2018), un considerable incremento en la conectividad social, por lo que se hace evidente la necesidad de nuevas inversiones. En el caso de la tecnología propuesta a implementar, por ser nueva en la región, incurre en nuevas inversiones con gastos considerables, los cuales con posterioridad traerán en el tiempo numerosos beneficios.

Las redes de telecomunicaciones en la provincia han ido modernizándose progresivamente, sin embargo, algunos de los municipios presentan aún tecnologías obsoletas que impiden el crecimiento de la cantidad de servicio ofrecido a la población. En estas localidades y asentamientos es imprescindible, bajo un enfoque social, proveer capacidad de enlace para las instituciones sociales y otros lugares de interés.

La provincia Las Tunas no cuenta con infraestructura necesaria para satisfacer las necesidades de los clientes y la población, así como respaldar los requerimientos del desarrollo socio-económico del país, para lograr un uso eficiente y eficaz de los soportes de transmisión hacia todos los municipios de la provincia.

La Empresa de Telecomunicaciones de Cuba, ETECSA, ha venido trabajando en el incremento de capacidades en la Red Metropolitana con equipamiento Huawei, acorde a la línea estratégica de la dirección del país para la evolución tecnológica. Actualmente la red de transmisión de la provincia Las Tunas cuenta con equipamiento de la serie OptiX OSN 7500/3500/2500/500 NG-SDH del suministrador Huawei, ver Anexo E [65].

En dicha provincia se ha realizado un despliegue de equipos de conmutación que soportan tráfico de voz sobre el protocolo de internet (VoIP). La red de transporte provincial está implementada sobre equipos de la serie Metro y OSN de Huawei.

Además se incluye como equipo de agregación para el tráfico Ethernet, el conmutador S9306 que se ubica en el nodo de la cabecera provincial donde estará instalado también el nodo principal de conmutación y el enrutador de borde (PE) del Núcleo de red (Core) de la red IP/MPLS nacional.

En la actualidad esta solución podría parecer obsoleta por las limitaciones analizadas en el transporte Ethernet sobre SDH pero en el momento en que se diseñó la red, resultaba la solución más conveniente para servir de soporte a una digitalización total de una provincia con todos sus municipios.

La red de acceso provincial actual está soportada en la solución Ethernet sobre SDH, en esta red intervienen entre otros los MSANs, los conmutadores, DSLAMs, Nodos B, el equipamiento de transmisión Huawei (familia METROs, OSN 3500 y Optix 2500).

En resumen, las soluciones SDH de Huawei tienen una amplia dispersión en la provincia donde se utilizan estos equipos pero realmente resultan en muchos casos insuficientes para el soporte de mayores demandas de ancho de banda.

2.1.1 Estudio y Cálculo del Tráfico

El monitoreo del tráfico se realizó durante un período efectivo de 7 días durante las 24 horas del día. El desempeño de la red se caracterizó mediante el parámetro Tasa de Transferencia. En las Figuras se puede observar la cantidad de bits/s o de tráfico que se generó durante los 7 días de mediciones. El tráfico es, en esencia, tiempo de ocupación de los enlaces en la red.

Para el estudio del tráfico se utilizaron los enlaces existentes en el conmutador de agregación S9306 de la red IP/MPLS, el cual recibe el tráfico proveniente de la red SDH y enlaces asociados al mismo. Para ello se evaluó el tráfico hacia los equipos de la red IP/MPLS ME60-X8 y PE-NE40E-X8 de Huawei, los cuales soportan todos los servicios que hoy posee el territorio.

El cálculo del ancho de banda aproximado que actualmente demanda el territorio hacia la red IP/MPLS dio como resultado que el tráfico de ADSL Hogar + Wifi ETECSA + VoIP + Móvil + Servicios Otros (Conectividad e Internet a empresas) suman aproximadamente 3 Gbps en tráfico de salida y 0.5 Gbps de tráfico de entrada. El software de gestión U2000 NMS (Sistema de Gestión de Red) de Huawei muestra con mayor detalle los datos de Ocupación de Ancho de Banda entre la agregación actual y la red IP/MPLS.

En la figura 2.1 se puede apreciar la ocupación del ancho de banda en el equipo ME60-X8 de Huawei (PE/BRAS) de Las Tunas, el cual muestra un tráfico de

aproximadamente 2.25 Gbps en salida y 250 Mbps de entrada en el servicio ADSL Hogar para el período analizado.

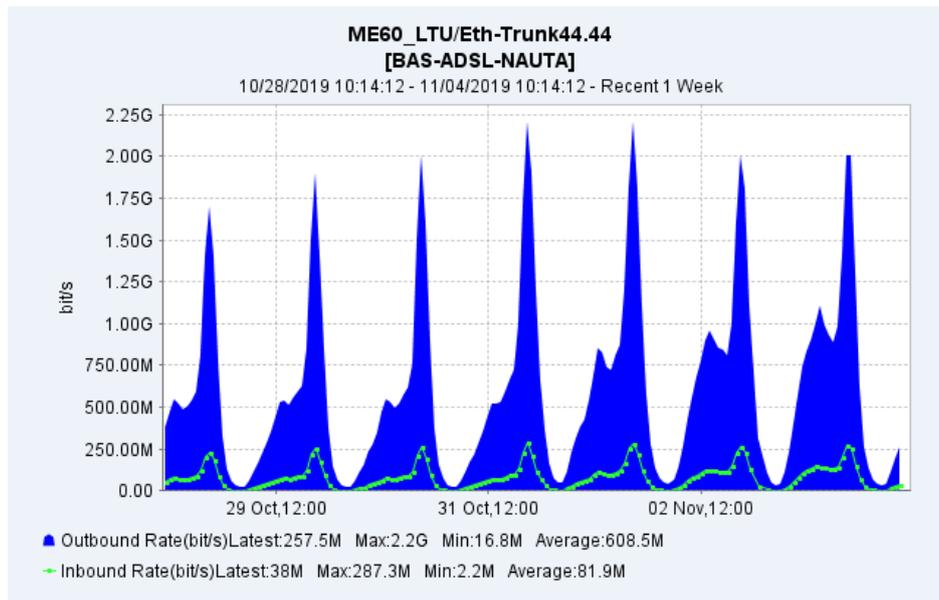


Figura 2.1: Ocupación de Ancho de Banda ME60 (ADSL Hogar) de Las Tunas [66]

La figura 2.2 muestra la ocupación del ancho de banda en el enrutador de borde de la red IP/MPLS PE-NE40E-X8 de Huawei en Las Tunas, el cual muestra el tráfico de los servicios WIFI ETECSA, NGN y Móvil de aproximadamente 350 Mbps en salida y 150 Mbps en entrada.

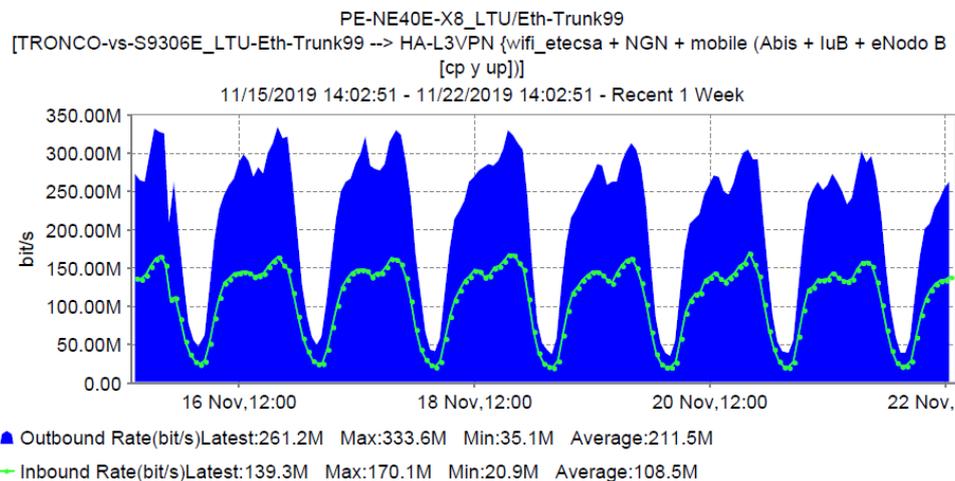


Figura 2.2: Ocupación de Ancho de Banda PE-NE40E-X8 (WIFI ETECSA, NGN y Móvil) Las Tunas [66]

En la figura 2.3 se observa la ocupación del ancho de banda en el equipo ME60-X8 del proveedor Huawei para los Servicios Conectividad Empresas e Internet de Las Tunas, donde se puede apreciar una ocupación de 250 Mbps de tráfico en salida y 100 Mbps en tráfico de entrada.

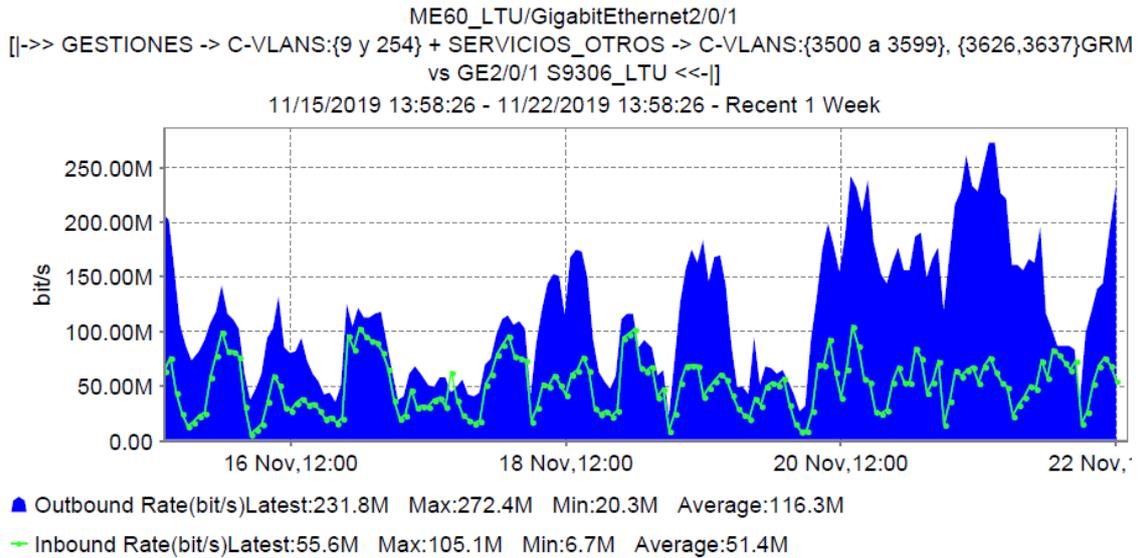


Figura 2.3: Ocupación de Ancho de Banda ME60 (Conectividad Empresa e Internet) de Las Tunas [66]

Se concluye que el monitoreo continuo del tráfico de datos permite realizar una evaluación apropiada del comportamiento de la red en tiempo real.

2.2 Opciones de diseño para la Red Metropolitana provincial

En estos momentos se hace necesario establecer determinadas premisas con el objetivo de organizar y armonizar la interacción entre tecnologías y capas de la Red de Telecomunicaciones de ETECSA, de modo que permita la implementación de las nuevas Redes Metropolitanas Ethernet provinciales de forma eficiente para la empresa y la utilización y explotación de los equipos existentes de forma lógica, organizada, facilitando el despliegue de la tecnología escalonadamente y de acuerdo a lo planificado.

Como parte del plan de desarrollo de ETECSA para cumplir con los estándares de red que permitan la ampliación y diversificación de los servicios de banda ancha, es necesario crear una estructura de red a nivel provincial que logre asumir los incrementos de ancho de banda de los diferentes servicios.

El despliegue actual de la red móvil con servicios 3G y 4G, el incremento de los servicios de datos asociados a Nauta Hogar, el crecimiento de las zonas WIFI tanto en áreas públicas como en zonas turísticas, así como los aumentos de ancho de banda de los servicios empresariales, hacen que la estructura de red actual basada en SDH sea incapaz de asumir estas demandas. Es por ello que se trabaja en el diseño y despliegue de redes de agregación provinciales basadas en dos niveles; un *Nivel Óptico* utilizando tecnología OTN/DWDM para transportar la señal y un *Nivel IP* con equipos que permiten la agregación de altas capacidades de transmisión de datos. Se

fabricante Huawei, como se muestra en el Anexo F. El sistema permite la inserción de hasta 8 lambdas de 10G FOADM (Multiplexor óptico de inserción y extracción), utilizando para ello la Tarjeta Multiplexora EMR8, las Tarjetas Transponedora LDX de 2 puertos tributarios 10GE y la tarjeta ELOM de 8 puertos tributarios.

➤ Tarjeta EMR8

La Tarjeta Multiplexora EMR8 se utiliza fundamentalmente para hacer Add/Drop (adicción/extracción) de 8 longitudes de onda que vienen de una señal multiplexada en una dirección. Esta tarjeta soporta transmisión bidireccional por un par de fibras. El Anexo G muestra el diagrama de funcionamiento de esta tarjeta en un sistema DWDM y la función de las interfaces.

➤ Tarjeta LDX

Las tarjetas Transponedora LDX convierten las señales de servicio de 2 x 10 Gbit / s en señales ópticas de 2 x OTU2 u OTU2e, y luego las convierten en una longitud de onda DWDM estándar compatible con UIT-T G.694.1 [67] o ITU estándar -T G.694.2 [68] compatible con longitud de onda CWDM. Los tableros también realizan el proceso inverso. Ver Anexo H.

➤ Tarjeta ELOM

La tarjeta ELOM es una Transponedora que permite la conversión de longitudes de onda en señales de cliente. En el sentido de la recepción acepta hasta 8 señales de clientes de 125 Mbit/s a 2.5 Gbit/s y entrega por la línea 2 señales OTU2. Ver Anexo I.

Descripción de la solución

La red tiene una estructura en anillo con esquemas físicos de protección a través de rutas de cables de fibra óptica por vías independientes, como se muestra en la figura 2.5. Para cumplir con esta condición se harán los cierres de los nodos CT Las Tunas, CT Manatí y Colombia a través de la Camagüey, por otra parte los nodos CT Menéndez y CT Calixto cerrarán por la Holguín.

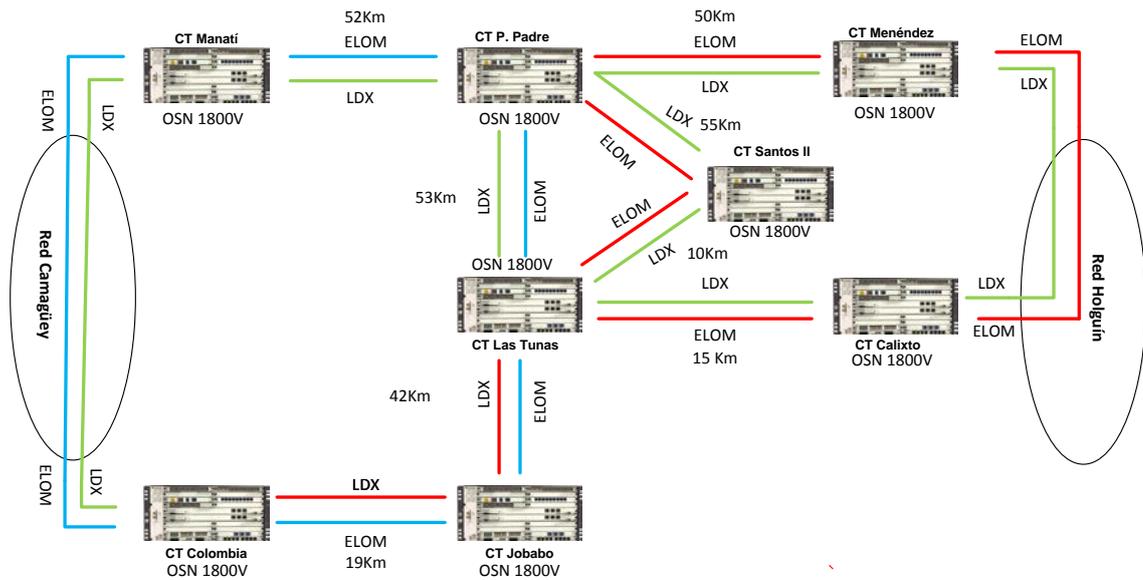


Figura 2.5: Capa Óptica red Metropolitana Ethernet Las Tunas [Elaboración propia]

Para agregar señales de bajo orden (STM-1, STM-4, STM-16, GE) provenientes de los sistemas SDH u otro equipo que necesite este tipo de señal, se va a utilizar la tarjeta ELOM. Se creará una estructura en anillo con una lambda con capacidad de 10Gbit/s que se extraerá e insertará en cada uno de los 8 nodos involucrados en la solución.

Para la agregación de los equipos de alta capacidad se utilizará la tarjeta LDX. Se conformarán dos anillos de 10Gbit/s soportados por el sistema WDM teniendo como centro al CT Las Tunas (nodo principal) y un sitio que será enlace a través de FO oscura contra el nodo agregador más cercanos.

El Nivel IP de la red metro de agregación estará compuesta por 8 nodos basados en la familia de conmutador S9300E [69].

En el Anexo J y K se describen las principales características del equipamiento seleccionado y las tarjetas involucradas en la propuesta de solución. El equipamiento está basado en S9306E y S9303E de Huawei.

Descripción de la solución

El sistema se basa en una estructura en anillos con centro en el CT Las Tunas (nodo principal) y fibra óptica oscura en los sitios donde no es posible el cierre de fibra. Consiste en un núcleo de red con capacidad de 10GbE utilizando S9306E en el nodo principal y S9303E en el resto de los sitios transportados sobre la red DWDM, a través de las tarjetas LDX de los OSN 1800V.

La conexión al backbone IP/MPLS será a través del Cluster de conmutación del POP (Punto de Presencia) local, mediante 2 enlaces Eth-Trunk 10GbE. Esta red metro

constituye la capa intermedia entre los equipos de acceso (DSLAM, MSAN, RBS, etc.) y la capa del BB IP/MPLS sobre la cual se configuran y dan terminación a todos los servicios que mediante VPNs (Redes Privadas Virtuales) se transportan hacia las distintas plataformas.

Los 8 nodos cuentan con un dimensionamiento de interfaces 10GE para los enlaces entre nodos e interfaces GE tanto ópticas como eléctricas para la conexión de las señales de cliente. Se previó en la inversión dos tarjetas de 24 puertos GE para los servicios (DSLAM, RBS, Usuarios, etc.).

Se propone configurar OSPF como Protocolo de Enrutamiento Dinámico entre los equipos para anunciar las rutas por toda la red y permitir la creación de los túneles MPLS entre los nodos.

La concepción de los servicios tiene una estructura en estrella, teniendo como nodo principal la cabecera provincial. La conexión del túnel principal de cada municipio seguirá el camino más corto hasta el nodo cabecera provincial, configurándose la protección por el otro brazo del enlace. La figura 2.6 muestra la conexión del Nivel IP de la Red Metropolitana propuesta.

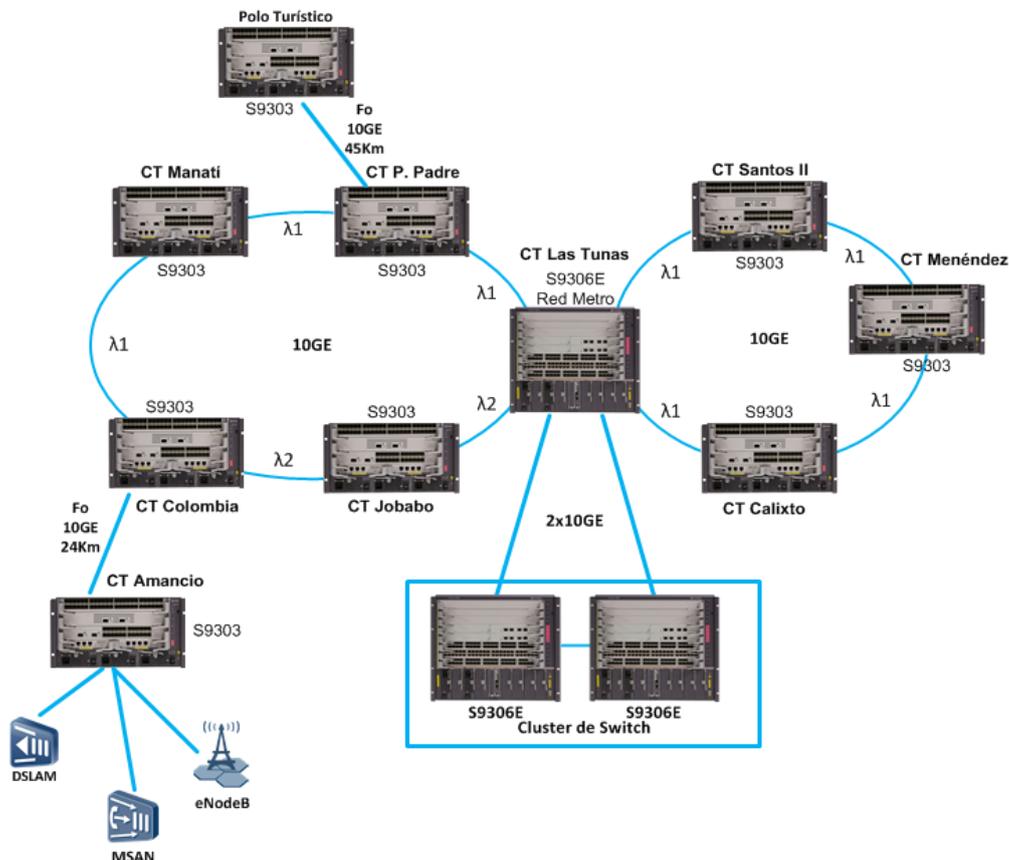


Figura 2.6: Capa IP red Metropolitana Ethernet Las Tunas [Elaboración propia]

2.2.2 Diseño de las VLAN

Para la Red Metro, independientemente de la arquitectura de red seleccionada, el planeamiento de las VLAN ID es muy importante. Estas permiten definir los caminos necesarios desde los nodos de acceso hasta cada uno de los POP físicos que integran al Service POP y que permiten ofertar un servicio dado.

Esas VLAN ID pueden repetirse en diferentes conexiones, las cuales terminan en diferentes interfaces, realizando de hecho una función de agregación. Por esta razón debe conocerse con claridad cuál es el camino que debe recorrer cada uno de los servicios.

En cada equipo de acceso que se utilice en la propuesta de la red (DSLAM, MSAN, etc.) se necesita configurar caminos (VLAN) hacia los equipos de servicio:

- VLAN para el servicio con autenticación (sesión IPoE), hacia un BRAS.
- VLAN QinQ para el servicio Internet (Full Internet con conexión dedicada).
- VLAN QinQ para el servicio Navegación Nacional con conexión dedicada (Navegación Nacional – Correo Nacional).
- VLAN QinQ para el servicio Navegación Nacional con conexión dedicada (Navegación Nacional – Correo Internacional).
- VLAN QinQ para el servicio VPN MPLS (conexión dedicada), hacia un PE.
- VLAN para otros servicios (VoIP en el caso de MSAN).
- VLAN para transporte de las Radio Bases, hacia un PE.
- VLAN para el servicio Wifi hacia un PE.
- VLAN para gestión.

2.3 Diseño de los servicios para la red Metropolitana

Una variedad de servicios VPN MPLS pueden ser implementados para soportar los requerimientos de tráfico de un cliente, por lo cual estos servicios pueden clasificarse dependiendo de la capa del modelo OSI (Interconexión del sistema abierto) sobre el que actúan [70]:

- a) Servicios de capa 2:
 - L2VPN-VLL (Capa 2 VPN punto a punto)
 - VPLS (Servicio de LAN privada virtual punto-multipunto)
- b) Servicios de capa 3:
 - L3VPN (Capa 3 VPN)

A continuación se describen cada uno de los tipos de servicio VPN MPLS.

L2VPN-VLL: en estos servicios se encapsula el tráfico a nivel de capa 2 para su posterior transporte sobre el diseño de red MPLS. Es utilizado cuando se desea realizar una conexión punto a punto utilizando un enlace WAN, para lo cual se asigna en el enrutador PE, el CID (Identificador de conexión) al cual el usuario está asociado y en el otro extremo se asigna el mismo CID. Este tipo de servicio también se conoce como VPWS o EoMPLS. Como se observa en la figura. 2.7, un servicio L2VPN-VLL sobre una red MPLS es un circuito o path punto a punto de capa 2, para el transporte transparente de tráfico, en este caso del enrutador CE-2 al nodo CE-3 (pseudowire marcado de rojo):

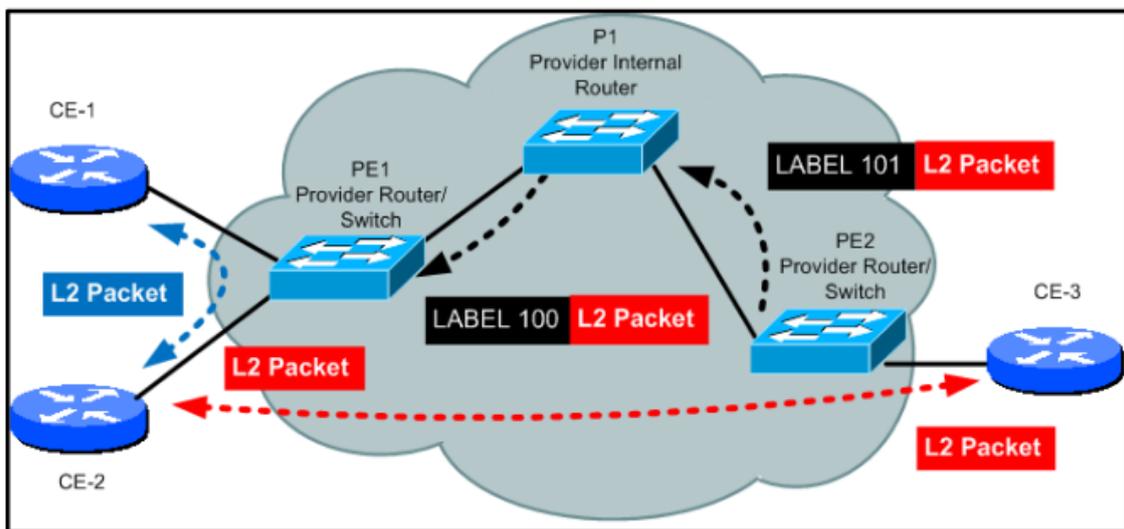


Figura 2.7: Modelo de servicio L2VPN-VLL [70]

VPLS: un servicio VPLS, al igual que L2VPN-VLL trabaja sobre la capa 2 del modelo OSI. Éste simula el funcionamiento de un conmutador al cual están directamente conectados los clientes. Utiliza tablas de reenvío (forward) denominadas VSI (Instancia de conmutador virtual), con ese mismo identificador los nodos pueden intercambiar las tablas de direcciones MAC. Como se observa en la figura 2.8 los VSI se propagan dentro de la red MPLS a través de los LSP que existen entre los enrutadores PE, cada uno identificado con una ID (Identificación) específica.

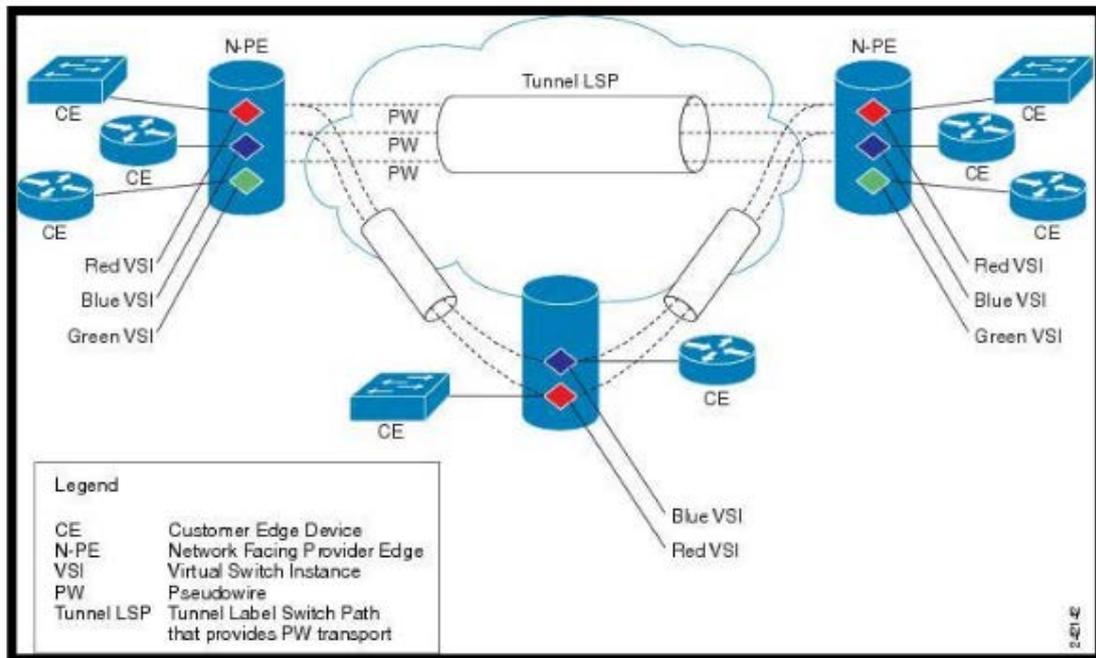


Figura 2.8: Modelo de un servicio VPLS [70]

L3VPN: es un servicio de capa 3 que permite alcanzar una conexión punto a punto entre un enrutador CE (Cliente de Borde) y un PE, este último tendrá una VRF (Enrutamiento Virtual y Reenvío) por cada usuario al cual esté registrado, y mediante el uso de los protocolos de etiquetado de servicios, se anuncia al usuario y su etiqueta VPN asociada de una PE a otra. Como se observa en la figura 2.9 las VRF's con el mismo identificador pueden intercambiar sus tablas de rutas. En un servicio L3VPN o también conocido como VPRN (Red privada virtual enrutada) se utilizan direcciones VPN-IPV4 porque permiten que los mismos prefijos de direcciones IP sean utilizados en diferentes VRF's. Este tipo de servicio es un gran aporte para el posterior desarrollo de los servicios IP sobre MPLS, tales como telefonía, video bajo demanda, la protección de aplicaciones corporativas, entre otras.

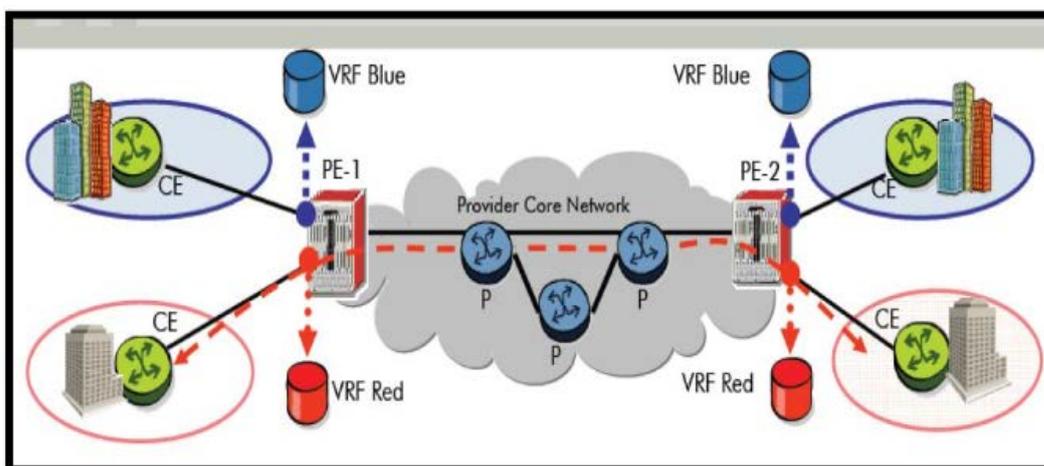


Figura 2.9: Ejemplo de un servicio L3VPN [70]

Para la creación de servicios se necesitan otros protocolos que distribuyan las etiquetas internas o de servicio que se ubicarán dentro del túnel de transporte creado por RSVP-TE (Protocolo de Reserva de Recursos- Ingeniería de Tráfico). Estos protocolos son el Protocolo de distribución de etiquetas dirigido (T-LDP) para servicios de capa 2 y el Multiprotocolo- Protocolo de puerta de enlace de frontera (MP-BGP) para los servicios de capa 3.

- T-LDP (Targeted LDP) [71]

Se utiliza para señalar las etiquetas de servicio asociadas con los túneles de servicio, por lo tanto, identifican el tráfico VPN particular.

T-LDP se utiliza para el intercambio de etiquetas en la capa dos del modelo OSI y utiliza procesos similares a LDP, los mensajes de descubrimiento "Hello" son enviados a las adyacencias de T-LDP, posterior a eso los mensajes de "Init" son enviados para el establecimiento de sesión, y luego los mensajes de actividad se envían para mantener la conexión levantada.

En LDP los mensajes de Hello, son enviados por multicast, a diferencia de T-LDP que los envía de modo unicast. En T-LDP los vecinos (peers) no requieren estar conectados directamente.

- MP-BGP (Multiprotocol BGP) [72-75]

La RFC 4364 define un mecanismo que permite a los proveedores de servicios recurrir a su backbone de red IP/MPLS para transportar servicios de VPN a sus clientes. La RFC 4364 además se conoce como BGP/MPLS VPN porque MP-BGP se utiliza para el intercambio de información de enrutamiento entre sitios remotos sobre la WAN y MPLS se utiliza para enviar tráfico de VPN.

MP-BGP es el protocolo que los servicios L3VPN utilizan para distribuir la información de enrutamiento. En MP-BGP un cliente está conectado a la red de un SP (Proveedor de servicio) a través de una interfaz que será asociada a una tabla de enrutamiento y VRF en un enrutador PE. Para el establecimiento de la VPN se consideran dos flujos de control, uno para el intercambio de la información de enrutamiento entre los sitios remotos mediante el protocolo MP-BGP y el segundo flujo consiste en establecer la ruta conmutada por etiquetas (LSP) mediante el protocolo LDP, lo que permitirá finalmente el flujo del tráfico de datos entre los sitios remotos.

MP-BGP es una extensión del protocolo estándar BGP, que solo maneja direcciones unicast IPv4, mientras que MP-BGP es compatible con más de 15 familias de direcciones BGP unicast o multicast, del protocolo IPv4 e IPv6.

La red Metro Ethernet (ME) servirá como red de agregación y transporte para los siguientes servicios, tal como se aprecia en la figura 2.10.

- **Servicios de acceso Móvil:** La telefonía móvil o telefonía celular es un medio de comunicación inalámbrico a través de ondas electromagnéticas. Este servicio se transporta sobre capa 2 del modelo OSI, se encapsulan etiquetas VLAN desde la Radio Base (eNodeB) hasta el conmutador de Agregación (AGG) en donde se transporta a través de una VPLS el servicio por la red Metro Ethernet, enviando la VLAN correspondiente al enrutador de borde (PE) de la red IP/MPLS, donde es trasladado mediante L3VPN hasta alcanzar los elementos de núcleo de red BSC (Controlador de Estación Base) y RNC (Controlador de la Red Radio) respectivamente.
 - Equipamiento utilizado: Radio Base (Base Transceiver Station, BTS)
 - Servicios a implementar: 2G, 3G, 4G

- **Servicios de acceso Wifi Público:** Este servicio se transporta sobre capa 2 del modelo OSI, se encapsulan etiquetas VLAN desde el conmutador PoE (Energía sobre Ethernet) hasta el conmutador de Agregación (AGG) en donde se transporta a través de una L2VPN/VLL el servicio por la red Metro Ethernet, enviando la VLAN correspondiente al BRAS (Servidor de Acceso Remoto de Banda Ancha), en el cual se encuentra configurada la VPN Wifi ETECSA, donde es trasladado mediante L3VPN hasta el AC (Controlador de Acceso), encargado de brindar el servicio.

Nota: este servicio se encuentra actualmente en fase de prueba, aún no se ha implementado ningún sitio público Wifi en la red de ETECSA a través de una red Metro Ethernet.

- Equipamiento utilizado: AP (Punto de Acceso)
- Servicios a implementar: Wifi Público
- **Servicios de acceso ADSL Hogar:** Servicio de acceso dinámico. Este servicio se transporta sobre capa 2 del modelo OSI, se establece un PVC (Circuito Virtual Permanente) entre el Modem de Usuario y el Equipo de Acceso (DSLAM, MSAN), encapsulándose etiquetas QinQ para distinguir el servicio, desde el equipo de acceso hasta el conmutador de Agregación (AGG) en donde se transporta a través de una L2VPN/VLL por la red Metro Ethernet, enviando la VLAN correspondiente al BRAS (Servidor de Acceso Remoto de Banda Ancha), en donde se convierten las IP Privadas en IP Públicas o IP Reales.

- Equipamiento utilizado: DSLAM IP, MSAN (Nodo de Acceso Multiservicio), etc.
- Servicios a implementar: ADSL Hogar
- **Servicios de acceso VoIP:** Este servicio se transporta sobre capa 2 del modelo OSI, se establece un PVC (Circuito Virtual Permanente) entre el Modem de Usuario y el Equipo de Acceso (DSLAM, MSAN), encapsulándose etiquetas QinQ para distinguir el servicio, desde el equipo de acceso hasta el conmutador de Agregación (AGG) en donde se transporta a través de una L2VPN/VLL por la red Metro Ethernet, enviando la VLAN correspondiente al enrutador de borde (PE) de la red IP/MPLS, donde es trasladado mediante L3VPN hasta alcanzar la plataforma de la red NGN.
- Equipamiento utilizado: DSLAM IP, MSAN (Nodo de Acceso Multiservicio), etc.
- Servicios a implementar: VoIP
- **Servicios de acceso IPTV:** Este servicio se transporta sobre capa 2 del modelo OSI, se establece un PVC (Circuito Virtual Permanente) entre el Modem de Usuario y el Equipo de Acceso (DSLAM, MSAN), encapsulándose etiquetas QinQ para distinguir el servicio, desde el equipo de acceso hasta el Conmutador de Agregación (AGG) en donde se transporta a través de una VPLS por la red Metro Ethernet, enviando la VLAN correspondiente al enrutador de borde (PE) de la red IP/MPLS, donde es trasladado mediante L3VPN Multicast hasta alcanzar la plataforma de contenido.
- Equipamiento utilizado: DSLAM IP, MSAN (Nodo de Acceso Multiservicio), etc.
- Servicios a implementar: IPTV
- **Servicios de acceso Conectividad OC (Oficina Central):** Este servicio se transporta sobre capa 2 del modelo OSI, se encapsulan etiquetas VLAN desde el Equipo del Cliente (CPE) hasta el Conmutador de Agregación (AGG) en donde se transporta a través de una L2VPN/VLL el servicio por la red Metro Ethernet, enviando la VLAN correspondiente al enrutador de borde (PE) de la red IP/MPLS, donde se crea la VPN Nacional del cliente.
- Equipamiento utilizado: Conmutador S2309 Huawei
- Servicios a implementar: Conectividad a Oficinas Centrales
- **Servicios de acceso Conectividad E (Empresas):** Este servicio se transporta sobre capa 2 del modelo OSI, se establece un PVC (Circuito Virtual Permanente) entre el Modem de Usuario y el Equipo de Acceso (DSLAM, MSAN), encapsulándose etiquetas QinQ para distinguir el servicio, desde el

equipo de acceso hasta el Conmutador de Agregación (AGG) en donde se transporta a través de una L2VPN/VLL por la red Metro Ethernet, enviando la VLAN correspondiente al enrutador de borde (PE) de la red IP/MPLS, donde es trasladado mediante L3VPN hasta alcanzar la VPN Nacional del cliente.

- Equipamiento utilizado: DSLAM IP, MSAN (Nodo de Acceso Multiservicio), etc.
- Servicios a implementar: Conectividad Nacional a Empresas
- **Servicios de acceso Internet:** Este servicio se transporta sobre capa 2 del modelo OSI, se establece un PVC (Circuito Virtual Permanente) entre el Modem de Usuario y el Equipo de Acceso (DSLAM, MSAN), encapsulándose etiquetas QinQ para distinguir el servicio, desde el equipo de acceso hasta el Conmutador de Agregación (AGG) en donde se transporta a través de una L2VPN/VLL por la red Metro Ethernet, enviando la VLAN correspondiente al enrutador de borde (PE) de la red IP/MPLS, en donde se convierten las IP Privadas en IP Públicas o IP Reales para navegar Internet.
 - Equipamiento utilizado: DSLAM IP, MSAN (Nodo de Acceso Multiservicio), etc.
 - Servicios a implementar: Internet

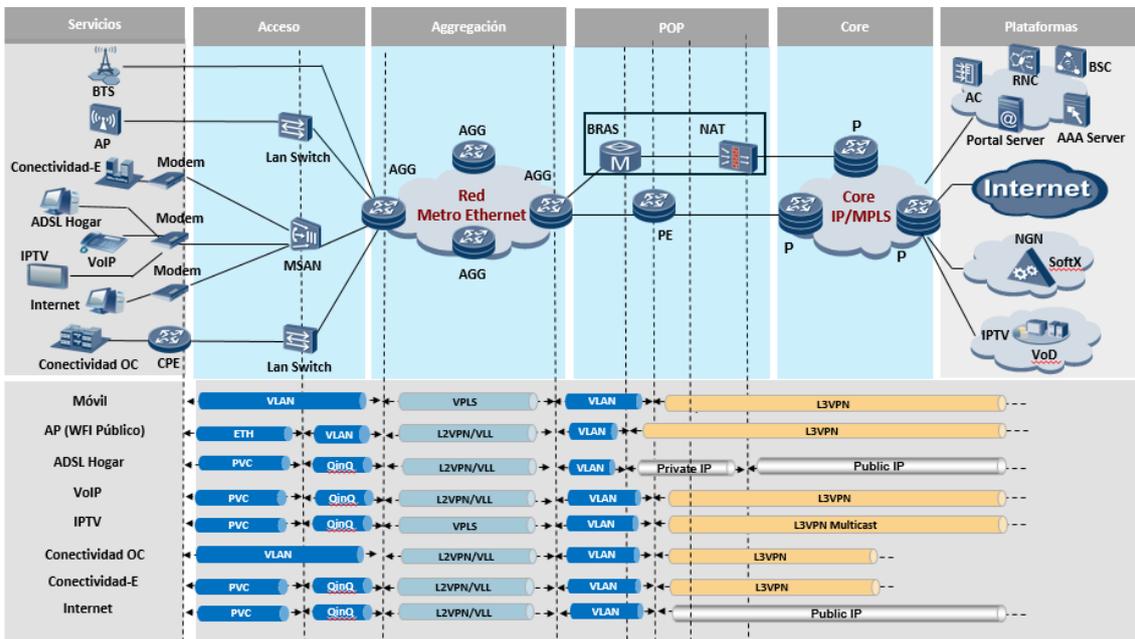


Figura 2.10: Diagrama de servicios [Elaboración propia]

Los servicios a implementar pueden ser configurados en la red Metro Ethernet propuesta de dos formas; Servicios capa 2 o Servicios capa 3. Este último actualmente no se implementa por requerimientos actuales de supervisión y control de ETECSA, por lo que debe emplearse VPN MPLS capa 2.

2.4 Gestión de los niveles tecnológicos, METRO, SDH, CWDM/DWDM

El software U2000 provee una solución de gestión compatible que permite gestionar y supervisar los equipos del proveedor Huawei, como por ejemplo, equipos de la red de acceso, red de transporte y red de datos, tal como se aprecia en la figura 2.11.

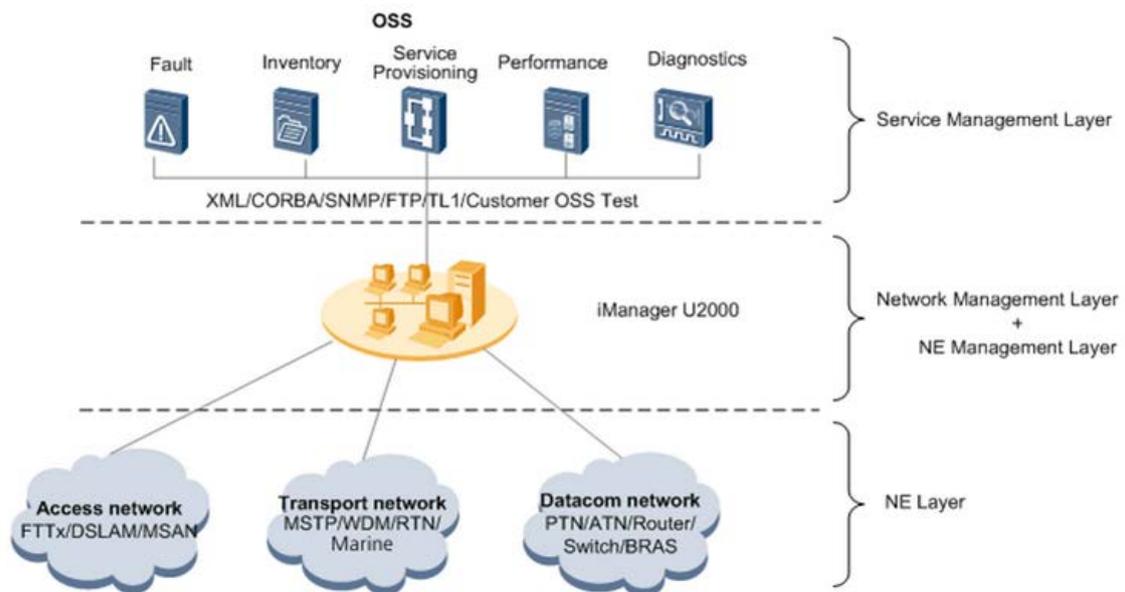


Figura 2.11: Administración de red extremo a extremo [66]

Los equipos OTN (OTN1800, S9306, S9303) estarán asociados al sistema de gestión y administración de elementos que posee ETECSA a nivel Nacional conocido como U2000. La provincia de Las Tunas cuenta con los Clientes de las Plataformas U2000, para las funciones de supervisión, diagnóstico y operación.

Admite la gestión unificada de sistemas de almacenamiento, servidores, aplicaciones, conmutadores, enrutadores, cortafuegos, AP, instalaciones, GPON, eLTE, cámaras, teléfonos IP y dispositivos de videoconferencia. Proporciona funciones que incluyen vista unificada, gestión de recursos, topología, rendimiento y configuración inteligente para dispositivos heterogéneos. Admite la personalización de dispositivos de terceros y NBI para alarmas. Estas funciones constituyen un sistema de gestión unificado para los clientes y garantizan menores costes de operación y mantenimiento, así como una mayor eficacia.

2.5 Conclusiones Parciales

En este capítulo se describió la propuesta de red metro Ethernet para la provincia de Las Tunas, teniendo en cuenta su situación geográfica y poblacional, así como las

opciones tecnológicas para el aprovechamiento de la red de transporte actual a tener en cuenta en la migración hacia la nueva tecnología. Los servicios a ofrecer son Móvil, WIFI Público, ADSL Hogar, VoIP, IPTV, Conectividad e Internet. Para el diseño de la misma se tuvo en cuenta una red de transporte óptica utilizando tecnología OTN/DWDM con equipamiento Optix 1800V, el cual permite la inserción de hasta 8 lambdas de 10G. Para la integración de los servicios se concibió una red IP basada en conmutadores de la Serie S9300E con dimensionamiento de interfaces 10GE para los enlaces entre nodos e interfaces GE para la conexión de las señales de cliente. Se previó en la inversión dos tarjetas de 24 puertos GE para los servicios, que permiten la agregación de altas capacidades de transmisión de datos. Además se diseñó variantes de servicios VPN MPLS del tipo L2VPN/VLL y VPLS, que permiten soportar los requerimientos de tráfico de los clientes.

CAPÍTULO 3 : EVALUACIÓN DE LA RED PROPUESTA

En este capítulo se realiza la evaluación del funcionamiento de la red propuesta mediante las simulaciones del escenario presentado anteriormente y se exponen los resultados alcanzados. Además se realiza una evaluación del rendimiento de la red de transporte con tecnología Ethernet con el fin de determinar acciones correctivas y preventivas. Así como una evaluación económica preliminar del costo de la red y su posible recuperación.

3.1 Evaluación del funcionamiento de la red Metropolitana Ethernet

El funcionamiento de la red Metro Ethernet propuesta se evalúa utilizando la Plataforma de Simulación eNSP (del proveedor Huawei). eNSP es una plataforma de simulación de red libre y extensible donde se pueden simular dispositivos reales de red como enrutadores, conmutadores, etc, permitiendo a los usuarios familiarizarse con los productos de redes que Huawei ofrece al mercado, al mismo tiempo esta plataforma permite un mayor conocimiento y entendimiento de la operación y configuración de los dispositivos, así como los métodos para su diagnóstico. Puede apoyar simulaciones de una red de gran potencia y le permite llevar a cabo las pruebas experimentales, además permite aprender las técnicas de la red sin usar dispositivos reales [76].

eNSP es una herramienta de entrenamiento y verificación del buen funcionamiento de una red. La misma se puede instalar en cualquier PC con sistemas operativos Windows (XP, 2003, 2007,2008, etc.), Linux, Ubuntu, RedHat, etc. eNSP se ha ido perfeccionando con el tiempo y las nuevas versiones han incorporado nuevos equipos, nuevos estándares de redes y nuevos protocolos actualizados (IPv6, RIPv3, OSPFv3, etc.).

Pero con eNSP no se pueden obtener datos estadísticos del rendimiento de la red, tales como: Razón de Transferencia Exitosa, Latencia, Razón de pérdida de tramas, Cantidad de tramas en ráfagas, etc. Estas mediciones se realizarán con el equipo EXFO FTB-1 entre el nodo Jobabo y el nodo Colombia.

Luego para probar la red diseñada, se utilizará la Herramienta eNSP lo que permitirá realizar pruebas de conectividad de los equipos y otras pruebas para responder a las interrogantes siguientes:

¿Está trabajando correctamente el protocolo OSPF?

¿Están todas las redes incluidas en las tablas de rutas?

¿Funcionan bien los mecanismos de encapsulación a nivel de VLAN?

¿Funcionan bien el Servicio de LAN privada virtual (VPLS)?

¿Funcionan bien las Instancia de conmutador virtual (VSI)?

¿Está funcionando correctamente el Protocolo de distribución de etiquetas (LDP)?

¿Funcionan bien el mecanismo de alta disponibilidad Agregación de Enlaces (Link aggregation)?

¿Funcionan bien los mecanismos propios de convergencia para los protocolos utilizados?

¿Está siendo los paquetes IPv4 encaminados correctamente?

3.1.1 Pruebas y resultados obtenidos con la Herramienta eNSP

Se realizó la simulación del despliegue previo a la implementación real de los equipos en la red y al mismo tiempo se efectuaron pruebas de compatibilidad y configuración, facilitando el planeamiento previo al despliegue y asegurando un alto nivel de calidad en las red, tal como se observa en la figura 3.1.

La plataforma de Huawei eNSP analiza en tiempo real la captura de paquetes de información y permite un claro entendimiento de los protocolos y principios de la red dentro de la seguridad que ofrece una simulación [76].

Se propone implementar en este diseño de red como protocolo IGP (Protocolo de Gateway Interior), OSPF. Es un IGP de estado de enlace desarrollado por el Grupo de Trabajo de Ingeniería de Internet (IETF). La versión 2 y 3 de OSPF están definidas en las RFC 2328 y RFC 5340, que se usa en IPv4 e IPv6 respectivamente [77-79].

OSPF está libre de lazos (bucles), proporciona una rápida convergencia de ruta y admite partición de área, rutas de igual costo, autenticación y transmisión de multidifusión. Por lo tanto, OSPF es ampliamente utilizado como el principal IGP en diversas industrias, incluidas la empresa, el operador, el gobierno, las finanzas, la educación y la industria del cuidado de la salud. Utiliza el diseño jerárquico, proporciona varias políticas de enrutamiento y se aplica en redes de diferentes tamaños y topologías. Suele ser la primera opción para desplegar un IGP. Es un protocolo de encaminamiento basado en LSA (Algoritmo Enlace-Estado) [73].

La simulación se realizó bajo los siguientes pasos:

- Se interconectó la red según el diagrama de topología del reto.
- Se realizó la configuración básica en los enrutadores.
- Se configuraron y activaron las interfaces.
- Se crearon las VLAN en los conmutadores.

- Se configuró el enrutamiento dinámico OSPF en todos los enrutadores.
- Se crearon los pseudowide en los enrutadores.

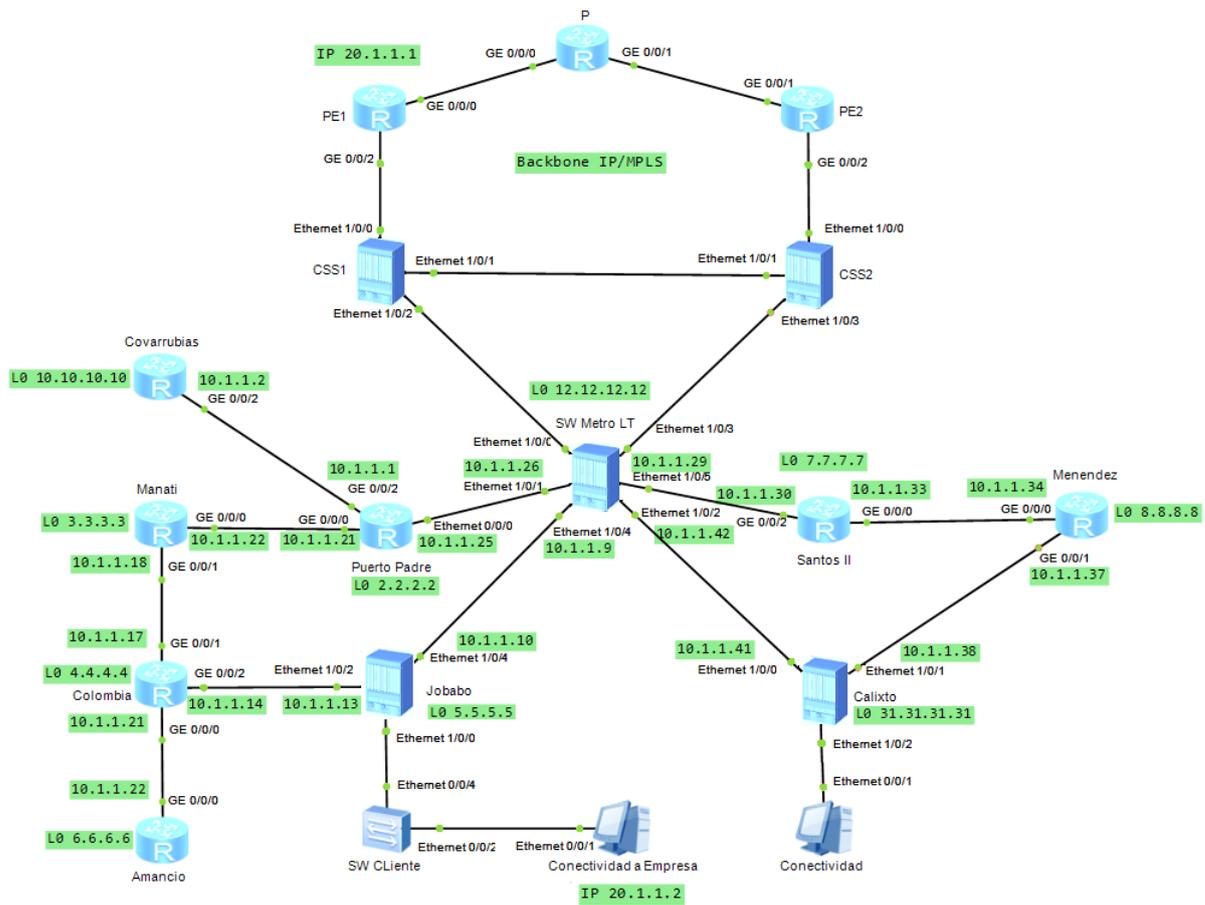


Figura 3.1: Topología de Simulación [76]

Dando respuesta a las preguntas elaboradas en el epígrafe 3.1, teniendo en cuenta que las pruebas se realizaron en el nodo Jobabo y nodo Las Tunas según corresponde, se puede decir que: (Ver Anexo L)

Analizando el comando **display ospf peer** se observa que efectivamente cada equipo ha establecido correctamente la adyacencia necesaria con su vecino para poder compartir las tablas de rutas, también analizando específicamente las tablas de rutas del protocolo OSPF se determina que el mismo está anunciando correctamente los bloques IP configurados en el mismo. La misma información puede ser revisada en la tabla de rutas estándar ya que allí aparece definido los bloques anunciados específicamente por el protocolo OSPF.

Con el comando **display ip routing-table** se muestra que todas las redes están correctamente incluidas en la tabla de rutas.

Al analizar la configuración de las interfaces a través del uso del comando **display current-configuration interface Ethernet 1/0/0** en el nodo Jobabo, se observa que están correctamente configuradas las VLAN asociadas al servicio, por otra parte se define en la sub-interface dedicada al servicio, en el conmutador Las Tunas, a través del comando **vlan-type** el tipo de encapsulación a utilizar.

El servicio VPLS funciona correctamente, el mismo se prueba haciendo uso del comando **ping**, desde los equipos clientes hasta los equipos destino, también se pueden usar el comando propio de chequeo del servicio en cuestión como **display vpls connection**.

Se chequea el estado específico del VSI asociado al servicio a través del uso del comando **display vsi name vlan100_Conectividad_Empresa**. El mismo arroja como resultado que el servicio está en estado levantado (UP) por lo que se concluye que está configurado correctamente.

A través del uso del comando **display mpls ldp peer** se observa que se encuentra establecida correctamente la adyacencia a nivel del protocolo LDP con cada vecino. El resultado de este comando arroja que los vecinos están en estado operacional.

Con el uso de los comandos **display interface eth-trunk1** y **display eth-trunk 1**, se observa que el mecanismo de protección capa 2 para interfaces, [Agregación de Enlaces (Link Aggregation) o Protocolo de control de agregación de enlaces, LACP (Link Aggregation Control Protocol)], está configurado correctamente, también se observa el estado de las mismas (UP), así como el modo de respaldo, el cual puede ser de dos tipos: Activo/Inactivo o Balance de carga, siendo este último el empleado en la simulación (WorkingMode: NORMAL).

A través de las pruebas efectuadas mediante cortes físicos de las interfaces primarias para el tráfico del servicio se ha logrado probar los mecanismos de convergencia propios de cada protocolo, las pruebas muestran que la pérdida de paquete ante estos cortes es mínima, por lo que el servicio se encuentra totalmente protegido y se garantizan los tiempos correctos de convergencia ante cortes de la red.

Mediante las pruebas efectuadas con el comando ping se aprecia que los paquetes llegan correctamente desde la fuente hacia el destino, también analizando las tablas de rutas de cada equipo y observando los siguientes saltos (nexthop) de cada bloque IP se observa que los paquetes IPV4 están correctamente encaminados, por último, a través del análisis de la FIB (Base de información de reenvío) se observa el encaminamiento correcto del paquete IPV4 en cada equipo destino directamente a la interface correspondiente.

Conectividad extremo a extremo

En la simulación de la topología mostrada, usando el eNSP se comprueba que se pueden brindar servicio Conectividad a Empresa.

Como muestra de lo anterior la figura 3.2 muestra una captura de *Wireshark* del tráfico extremo a extremo del Cliente Origen (IP 20.1.1.2) al Cliente Destino (IP 20.1.1.1) utilizando la infraestructura de red troncal configurada, se recoge también (con el uso de diferentes colores) evidencia de la etiqueta VLAN (rojo), el uso del protocolo IPv4 (anaranjado) como carga útil de la muestra.

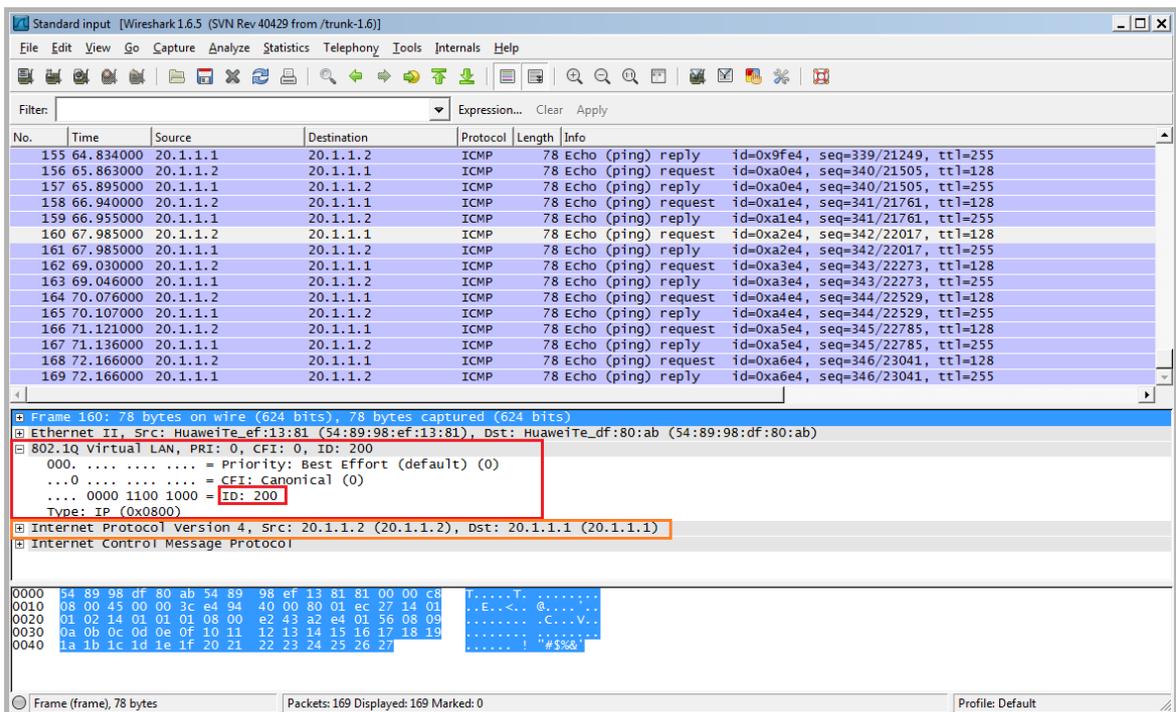


Figura 3.2: Prueba de conectividad ping y trace usando Wireshark [76]

3.2 Evaluación del rendimiento

Los principales indicadores que se usan para determinar el rendimiento de la red de datos son aquellos que se especifican en la Norma RFC 2544. La norma RFC 2544 es una metodología de evaluación comparativa de los dispositivos de interconexión de red promovida por el IETF. Esta norma discute y define un número de pruebas que son utilizadas para la evaluación del rendimiento de una red, basada en cuatro indicadores [80].

Los indicadores propuestos en la RFC 2544 son [81, 82]:

- Razón de Transferencia Exitosa (Throughput)
- Latencia (Latency)

- Razón de pérdida de tramas (Frame loss rate)
- Cantidad de tramas en ráfagas (Back-to-back frames)

Para obtener parámetros de rendimiento de la red Metropolitana propuesta, ETECSA cuenta con el instrumento de medición EXFO FTB-1, tal como se muestra en la figura 3.3. Esta herramienta presenta un sistema operativo basado en Windows 10, el cual permite la instalación de todo el software necesario para las respectivas mediciones relacionadas con la red Metro Ethernet, ver anexo M. El equipo está diseñado para determinar atenuación de señal en fibras ópticas, detectar fallas en FTTx y probar redes locales.



Figura 3.3: EXFO FTB-1 [83]

Hay que considerar que en la red no existe ningún tráfico ya que no se encuentra en funcionamiento, por lo que los resultados pueden ser diferentes cuando la red entre en explotación. Las mediciones se realizaron entre el Nodo Jobabo y el Nodo Colombia, el anexo n muestra un resumen de las mismas.

Razón de Transferencia Exitosa [84]

Es la velocidad real de transporte de datos en una dirección a través de un enlace dividido por el tiempo tomado para transferirla, expresado en bits o bytes por segundo.

La Razón de Transferencia Exitosa (throughput) es uno de los indicadores más importantes del desempeño de usuario. Mide la velocidad en que el usuario es capaz de recibir y enviar datos desde y hacia la red. Es medido como la división entre la información transferida y el tiempo necesario para la transmisión, así cualquier retardo extra que es considerado en las mediciones (sumado a la transmisión en tiempo real) disminuirá la razón de transferencia exitosa percibido por el usuario final [80].

Según el RFC 1242 sección 3.17, la razón de transferencia exitosa es la tasa máxima a la cual ninguna de las tramas enviadas es descartada por el dispositivo [85, 86].

A continuación, se especifica la fórmula que es utilizada para el cálculo de este indicador y a su vez se describen cada uno de sus términos:

$$\textit{Throughput} \leq \frac{RWIN}{RTT}$$

Donde:

- RWIN, es la tasa máxima de transferencia en bits.
- RTT, es el tiempo de ida y vuelta, en segundos empleado en la transferencia de datos a través del canal, debe ser diferente de cero.

Como referencia para este parámetro se propone valores umbrales para cada situación como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Valores Umbrales de la Razón de Transferencia Exitosa [85, 86]

Tipos de servicios	Umbral de la Razón de Transferencia Exitosa
Domiciliar	80%
PyME	85%
Grandes Usuarios	90%
Corporativo	95%

Para efectuar la toma de datos correspondientes al indicador Razón de Transferencia Exitosa, se envía una cantidad de tramas durante un intervalo de tiempo de 1 hora (10:00am a 11:00am), para cada tamaño de trama de acuerdo lo especificado en el software inicialmente.

En la Figura 3.4 se puede observar los paquetes transmitidos y recibidos de acuerdo a la longitud de las tramas.

Throughput (Mbit/s)							
		Layer					
		All		Ethernet		IP	
		L->R	R->L	L->R	R->L	L->R	R->L
68	Min.	1000.000	1000.000	772.727	772.727	522.727	522.727
	Max.	1000.000	1000.000	772.727	772.727	522.727	522.727
	Avg.	1000.000	1000.000	772.727	772.727	522.727	522.727
128	Min.	1000.000	1000.000	864.864	864.864	716.216	716.216
	Max.	1000.000	1000.000	864.864	864.864	716.216	716.216
	Avg.	1000.000	1000.000	864.864	864.864	716.216	716.216
256	Min.	1000.000	1000.000	927.536	927.536	847.826	847.826
	Max.	1000.000	1000.000	927.536	927.536	847.826	847.826
	Avg.	1000.000	1000.000	927.536	927.536	847.826	847.826
512	Min.	1000.000	1000.000	962.406	962.406	921.052	921.052
	Max.	1000.000	1000.000	962.406	962.406	921.052	921.052
	Avg.	1000.000	1000.000	962.406	962.406	921.052	921.052
1024	Min.	1000.000	1000.000	980.842	980.842	959.770	959.770
	Max.	1000.000	1000.000	980.842	980.842	959.770	959.770
	Avg.	1000.000	1000.000	980.842	980.842	959.770	959.770
1280	Min.	1000.000	1000.000	984.615	984.615	967.692	967.692
	Max.	1000.000	1000.000	984.615	984.615	967.692	967.692
	Avg.	1000.000	1000.000	984.615	984.615	967.692	967.692
1518	Min.	1000.000	1000.000	986.996	986.996	972.691	972.691
	Max.	1000.000	1000.000	986.996	986.996	972.691	972.691
	Avg.	1000.000	1000.000	986.996	986.996	972.691	972.691

Figura 3.4: Datos Razón de Transferencia Exitosa para cada trama [83]

Los resultados muestran que todos los paquetes transmitidos llegaron hasta el otro equipo DUT (Dispositivo a prueba), independiente del tipo de trama utilizada por lo que demuestra que este parámetro se comporta eficientemente en el tiempo que se desarrolló la medición. Analizando los valores umbrales planteados anteriormente se puede observar que los valores se comportan por encima del 95% exigido para una conexión corporativa.

Latencia [84]

Es el tiempo que demora un paquete en atravesar una conexión de red desde el emisor al receptor. La latencia es particularmente importante para protocolos síncronos donde cada paquete tiene que ser reconocido antes que el próximo sea transmitido. Por ejemplo, conexiones TCP y algoritmos de control de congestión son principalmente afectados por la latencia de la red [80].

Según el RFC 1242 sección 3.8, la latencia es el tiempo transcurrido entre el envío de un paquete y su recepción [85, 86].

A continuación, se especifica la fórmula que es utilizada para el cálculo de este indicador y a su vez se describen cada uno de sus términos:

$$T = \frac{D[L]}{v[L]/[T]}$$

Donde:

- D, representa la longitud del enlace en unidades de longitud (L).
- V, representa la velocidad de desplazamiento real del frente de onda de la señal, en unidades de longitud (L) y tiempo (T).
- La división de V/T debe ser diferente de cero.
- T debe ser diferente de cero.

Como referencia para este parámetro en la tabla 3.2 se propone valores umbrales para cada situación correspondiente a cada servicio que puede ser transportado en la red de transporte metropolitano.

Tabla 3.2: Valores Umbrales de la Latencia [85, 86]

Clase de Calidad de Servicio	Descripción	Umbral de Retardo Local (ms)
0	Tiempo real, alta interacción, sensibles al retardo (Voz y video en tiempo real)	10
1	Tiempo real, interactivos, sensible al retardo (Voz y video en tiempo real de menor calidad)	20
2	Datos de alta prioridad (transaccionales, altamente interactivos)	25
3	Datos de mediana prioridad (Datos transaccionales interactivos)	30
4	Datos de baja prioridad (transacciones cortas, datos en grandes cantidades, flujo continuo de video streaming)	40
5	Datos de mejor esfuerzo	50

Para medir la latencia el equipo utilizó el comando ping para cada una de las tramas como se especifica en la norma RFC 2544.

En la figura 3.5 se representa las cantidades de paquetes enviados en un segundo al transmitir las tramas, las mismas que han utilizado un ancho de banda constante en los intervalos de tiempo especificados.

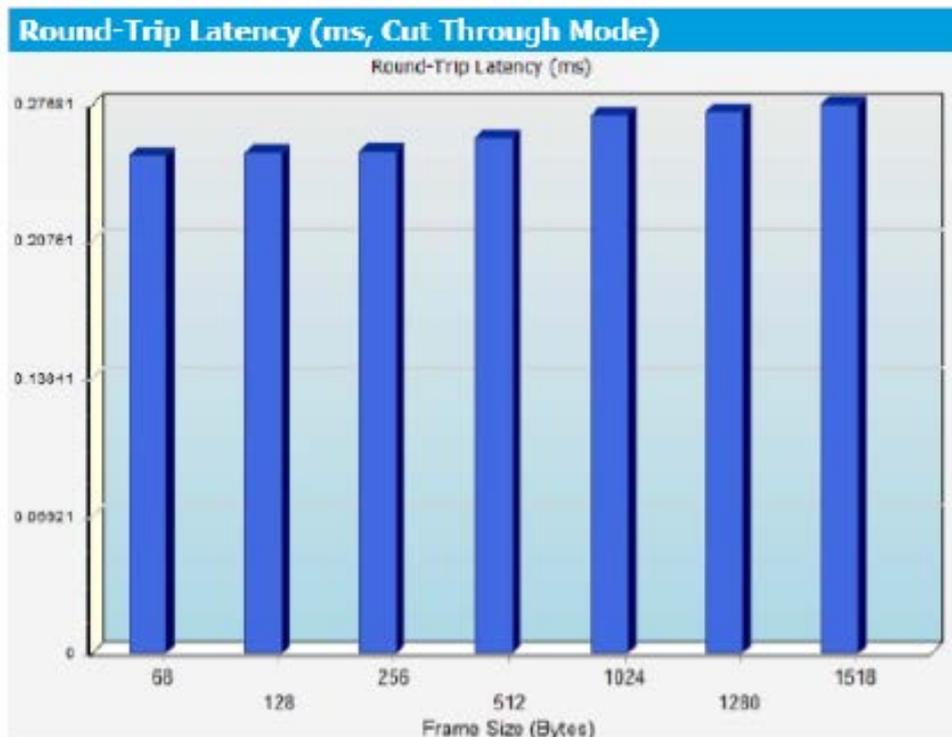


Figura 3.5: Datos de la Latencia [83]

Los resultados muestran que el tiempo que demora un paquete en atravesar una conexión de red desde el emisor al receptor se comporta de manera eficiente puesto que al no existir servicios que sobrecarguen la red la demora de propagación solo depende del tamaño de las tramas transportadas.

Analizando los valores de retardos planteados en la recomendación G.114 de la UIT-T se define que, para sistemas de fibra óptica, la transmisión digital se recomienda en $5\mu\text{s}/\text{km}$ por lo que los valores obtenidos en la prueba se encuentran en el rango de latencia ya que los módulos de fibra utilizados son de 40km [87].

Razón de tramas perdidas [84]

Es el porcentaje de tramas perdidas durante el envío constante de datos, debido a falta de recursos de red.

Según el RFC 1242 sección 3.6 se define como tramas que deberían ser enviadas por un dispositivo de red bajo estado estacionario de carga (constante) pero no son enviadas por la falta de recursos [85, 86].

A continuación, se especifica la fórmula que es utilizada para el cálculo de este indicador y a su vez se describen cada uno de sus términos:

$$FLR = \frac{(C_{Ent} - C_{Sal}) * 100}{C_{Entr}}$$

Donde:

- Cent, es Contador de entrada, es el porciento de tramas que son enviadas por un dispositivo de red, sin unidades, debe ser diferente de cero.
- Csal, es Contador de salida, es el porciento de tramas que son enviadas por un dispositivo de red, sin unidades, debe ser diferente de cero.
- FLR, es la Razón de perdida de tramas.

En la tabla 3.3 se muestra los valores umbrales del parámetro para una red de datos.

Tabla 3.3: Valores Umbrales de Razón de tramas perdidas [85, 86]

Clases de Calidad de Servicio	Descripción	Umbral de pérdida de paquete local (%)
0	Tiempo real, alta interacción, sensibles al retardo (Voz y video en tiempo real)	1
1	Tiempo real, interactivos, sensible al retardo (Voz y video en tiempo real de menor calidad)	3
2	Datos de alta prioridad (transaccionales, altamente interactivos)	3
3	Datos de mediana prioridad (Datos transaccionales interactivos)	5
4	Datos de baja prioridad (transacciones cortas, datos en grandes cantidades, flujo continuo de video streaming)	5
5	Datos de mejor esfuerzo	5

Para efectuar la toma de datos correspondientes al indicador de Razón de perdida de tramas, se debe realizar el mismo envío de tramas enviados en la sesión de la razón de transferencia exitosa.

En la figura 3.6 se detallan los diferentes valores que se obtuvieron una vez finalizadas las mediciones de acuerdo a las sesiones de medidas establecidas.

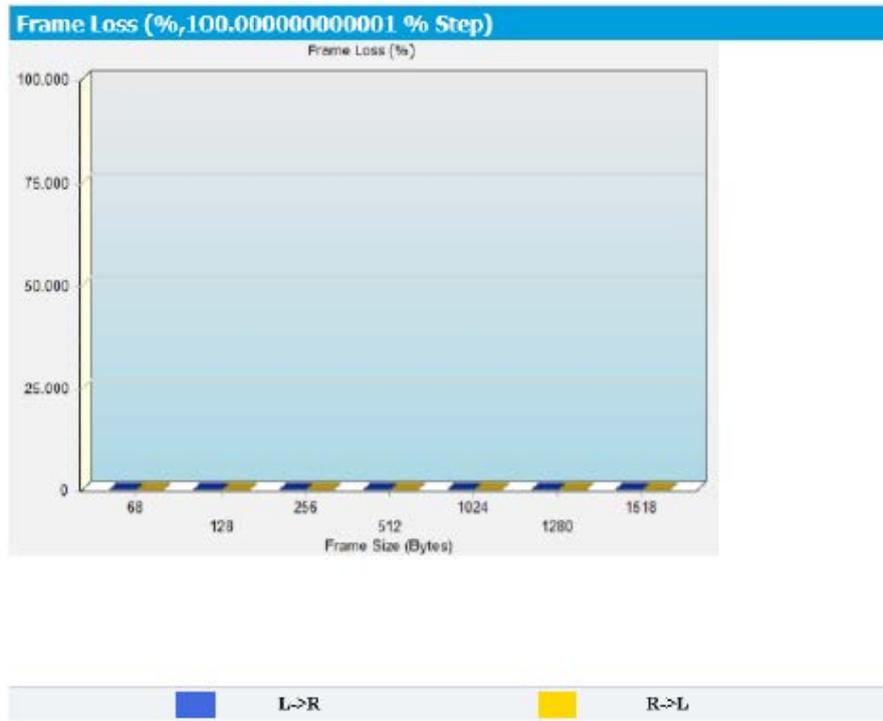


Figura 3.6: Datos del Razón de tramas perdidas [83]

Como se puede observar las tramas perdidas es 0% ya que todos los paquetes enviados por el transmisor llegaron al receptor en todos los tamaños de tramas. La existencia constante de recursos de red que permiten el transporte de todos los tamaños de trama sin ninguna pérdida.

Cantidad de tramas en ráfagas [84]

Tramas de un mismo largo, enviadas a una tasa para la cual hay una separación legalmente mínima entre tramas, para un medio dado, durante un período de tiempo, comenzando desde el estado inactivo.

Según RFC 1242 sección 3.1, implica el envío de una ráfaga de tramas con espacios mínimos entre tramas al dispositivo bajo prueba DUT y contar el número de tramas enviadas por el DUT [80].

Si el conteo de tramas de recepción es igual al número de tramas transmitidas, la longitud de la ráfaga se incrementa y la prueba se vuelve a ejecutar. Si se pierde una trama, la longitud de ráfaga se acorta.

Para la medición de este indicador es necesario utilizar el dispositivo bajo prueba DUT, ver figura 3.7.

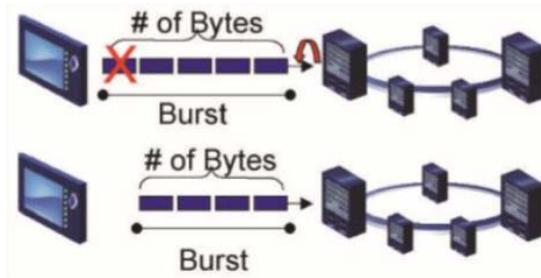


Figura 3.7: Cantidad de tramas en ráfagas [83]

En cuanto a la Cantidad de tramas en ráfagas se realizan 2 mediciones: la primera correspondiente a la circulación del tráfico a través del nodo Jobabo y la segunda pasando por el nodo Colombia como se muestra en la figura 3.8.

Back-to-Back (Mbit/s)							Back-to-Back (Mbit/s)								
		Layer								Layer					
		All		Ethernet		IP				All		Ethernet		IP	
		L->R	R->L	L->R	R->L	L->R	R->L			L->R	R->L	L->R	R->L	L->R	R->L
68	Min.	1000.000	1000.000	772.727	772.727	522.727	522.727	68	Min.	1000.000	1000.000	772.727	772.727	522.727	522.727
	Max.	1000.000	1000.000	772.727	772.727	522.727	522.727		Max.	1000.000	1000.000	772.727	772.727	522.727	522.727
	Avg.	1000.000	1000.000	772.727	772.727	522.727	522.727		Avg.	1000.000	1000.000	772.727	772.727	522.727	522.727
128	Min.	1000.000	1000.000	864.864	864.864	716.216	716.216	128	Min.	1000.000	1000.000	864.864	864.864	716.216	716.216
	Max.	1000.000	1000.000	864.864	864.864	716.216	716.216		Max.	1000.000	1000.000	864.864	864.864	716.216	716.216
	Avg.	1000.000	1000.000	864.864	864.864	716.216	716.216		Avg.	1000.000	1000.000	864.864	864.864	716.216	716.216
256	Min.	1000.000	1000.000	927.536	927.536	847.826	847.826	256	Min.	1000.000	1000.000	927.536	927.536	847.826	847.826
	Max.	1000.000	1000.000	927.536	927.536	847.826	847.826		Max.	1000.000	1000.000	927.536	927.536	847.826	847.826
	Avg.	1000.000	1000.000	927.536	927.536	847.826	847.826		Avg.	1000.000	1000.000	927.536	927.536	847.826	847.826
512	Min.	1000.000	1000.000	962.406	962.406	921.052	921.052	512	Min.	1000.000	1000.000	962.406	962.406	921.052	921.052
	Max.	1000.000	1000.000	962.406	962.406	921.052	921.052		Max.	1000.000	1000.000	962.406	962.406	921.052	921.052
	Avg.	1000.000	1000.000	962.406	962.406	921.052	921.052		Avg.	1000.000	1000.000	962.406	962.406	921.052	921.052
1024	Min.	1000.000	1000.000	980.842	980.842	959.770	959.770	1024	Min.	1000.000	1000.000	980.842	980.842	959.770	959.770
	Max.	1000.000	1000.000	980.842	980.842	959.770	959.770		Max.	1000.000	1000.000	980.842	980.842	959.770	959.770
	Avg.	1000.000	1000.000	980.842	980.842	959.770	959.770		Avg.	1000.000	1000.000	980.842	980.842	959.770	959.770
1280	Min.	1000.000	1000.000	984.615	984.615	967.692	967.692	1280	Min.	1000.000	1000.000	984.615	984.615	967.692	967.692
	Max.	1000.000	1000.000	984.615	984.615	967.692	967.692		Max.	1000.000	1000.000	984.615	984.615	967.692	967.692
	Avg.	1000.000	1000.000	984.615	984.615	967.692	967.692		Avg.	1000.000	1000.000	984.615	984.615	967.692	967.692
1518	Min.	1000.000	1000.000	986.996	986.996	972.691	972.691	1518	Min.	1000.000	1000.000	986.996	986.996	972.691	972.691
	Max.	1000.000	1000.000	986.996	986.996	972.691	972.691		Max.	1000.000	1000.000	986.996	986.996	972.691	972.691
	Avg.	1000.000	1000.000	986.996	986.996	972.691	972.691		Avg.	1000.000	1000.000	986.996	986.996	972.691	972.691

Figura 3.8: a) Datos Back to Back pasando por el nodo Jobabo b) Datos Back to Back pasando por el nodo Colombia [83]

La ausencia de tráfico dentro de la red provoca que la medición del parámetro Cantidad de tramas en ráfagas se comporte de manera similar a la razón de transferencia exitosa, debido a que no es posible poder llenar el buffer de los equipos de la red Metro Ethernet con un solo servicio. Los datos aportados por la tabla muestra la capacidad de la red en cuanto a la utilización de los protocolos de reenrutamiento ya que para el caso del inciso a) el tráfico siguió la ruta definida por el Nodo Jobabo y posteriormente se desconecta esa rama y los servicios pasan por el Nodo Colombia. El hecho de que los valores se comporten iguales representa la capacidad de la red para proveer el mismo ancho de banda efectivo por ambas ramas del anillo.

3.3 Evaluación Económica

El aspecto económico en cuanto al costo propiamente de la implementación de una solución de red metro como la que se recomienda, es muy difícil de determinar. La tecnología Carrier Ethernet es bastante nueva en cuanto a su implementación, a pesar que ya ha tenido un crecimiento importante en lugares como América Latina, EE-UU y Europa, la fijación de precios tanto del equipo como de la implementación en sí de la tecnología no se encuentran determinados de forma concreta. Por medio de una investigación del mercado, se tiene muestra de algunos precios en la que el mercado actual está oscilando en la implementación de esta tecnología.

La Tabla 3.4 resume los costos de referencia en cuanto a equipamiento. Los costos utilizados para los equipos son precios de referencia, los cuales pueden variar al negociar directamente con el proveedor.

Tabla 3.4: Cotización del equipamiento propuesto [Elaboración propia]

Equipamiento	Cantidad	Precio USD	CT Las Tunas	CT Calixto	CT Santos II	CT Puerto Padre	CT Manatí	CT Colombia	CT Jobabo	CT Menéndez	CT Amancio	Polo Turístico
Optix OSN 1800V	8	429,969.76	1	1	1	1	1	1	1	1		
Switch S9306	1	68,627.90	1									
Switch S9303	9	415,602.90		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Documentación Técnica	10	840.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Total de Equipamiento	28	915,040.56										

Como se muestra en la tabla, la inversión llega casi a los \$915,040.56 por lo cual esta migración es una inversión elevada, pero considerando los aspectos referidos en el estudio de factibilidad y las ventajas expuestas sobre el uso del transporte Ethernet dentro de las redes de transporte metropolitano, se permite una migración acertada puesto que en un corto o mediano plazo los beneficios superan los costos de inversión.

Carrier Ethernet como se ha explicado previamente, para quien desee migrar a esta tecnología, es una solución no solo tecnológica, sino también económica, ya que su implementación no implica costos exorbitantes. Lográndose mayor flexibilidad, escalabilidad, seguridad y reducción en los costos de CAPEX (Gastos en Capital) y OPEX (Gastos Operacionales).

Para el cálculo del valor de la tarifas a aplicar se incluye en el análisis los costos y beneficios atribuibles al proyecto, ya sean fijos o variables, siendo necesario recolectar toda la información posible sobre el mismo, tal como: localización, tecnología, fecha de puesta en marcha, depreciación, servicios que se brindarán o soportarán, vida útil del equipamiento, costos de operación, mantenimiento, entre otros, para un período de recuperación de 5 años.

3.4 Conclusiones Parciales

Se puede concluir que el funcionamiento de la red es bueno teniendo en cuenta que las pruebas indican que los paquetes llegan correctamente desde la fuente hacia el destino, el protocolo OSPF se encuentra correctamente configurado, los equipos establecen la adyacencia necesaria con su vecino para garantizar alta disponibilidad en los servicios. Las pruebas muestran que el servicio se encuentra totalmente protegido y se garantizan los tiempos correctos de convergencia ante cortes de la red.

El rendimiento de la red demuestra que la razón de transferencia exitosa se comporta por encima de un 95%, el retardo está entre 0.06 ms y 0.27 ms, que no hay pérdidas de tramas (0%) y que la Cantidad de tramas en ráfagas se comporta igual que la razón de transferencia exitosa.

El costo aproximado de la red es de aproximadamente \$915,040.56 USD, el cual se recupera según el valor de las tarifas calculadas, en un período de 5 años.

CONCLUSIONES GENERALES

La red de transporte actual en la provincia Las Tunas es el resultado de un largo y demorado proceso inversionista. En este trabajo se demuestra que es factible modernizar e incrementar el ancho de banda fija de la red de transporte de Las Tunas. También es posible el incremento de usuarios y de nuevos servicios dentro del Programa de Informatización de la Sociedad. Por lo que se requiere de un proceso inversionista de gran envergadura que permita preparar las redes de transportes de la provincia con una infraestructura que soporte todas las plataformas de servicios que se pueden implementar, se puede concluir que:

1. Se demostró la tendencia mundial hacia el transporte Ethernet (Carrier Ethernet) en sus diferentes tecnologías y alcance (MAN, WAN). Con la tecnología Metro Ethernet se puede ofrecer servicios de tipo LAN privado virtuales (VPLS), tales como: E-Line, E-LAN, E-Tree. La respuesta al problema científico desde la teoría demuestra que se puede aplicar el conocimiento adquirido en el desarrollo de una nueva red en la provincia de Las Tunas.
2. Se elaboró una propuesta técnica del diseño de la nueva red *Metro Ethernet*, considerando arquitectura, tecnología y disponibilidad de los recursos en la red de transporte actual. Los servicios a ofrecer son Móvil, WIFI Público, ADSL Hogar, VoIP, IPTV, Conectividad e Internet. Para el diseño de la misma se tuvo en cuenta una red de transporte óptica utilizando tecnología OTN/DWDM con equipamiento Optix 1800V, el cual permite la inserción de hasta 8 lambdas de 10G. Para la integración de los servicios se concibió una red IP basada en conmutadores de la Serie S9300E con dimensionamiento de interfaces 10GE para los enlaces entre nodos e interfaces GE para la conexión de las señales de cliente. Se previó en la inversión dos tarjetas de 24 puertos GE para los servicios, que permiten la agregación de altas capacidades de transmisión de datos. Además se diseñó variantes de servicios VPN MPLS del tipo L2VPN/VLL y VPLS, que permiten soportar los requerimientos de tráfico de los clientes.
3. Se demuestra el funcionamiento de la red teniendo en cuenta que las pruebas de conectividad extremo a extremo indican que los paquetes llegan correctamente desde la fuente hacia el destino. El rendimiento de la red demuestra que la razón de transferencia exitosa se comporta por encima de un 95%, el retardo está entre 0.06 ms y 0.27 ms, que no hay pérdidas de tramas (0%) y que la Cantidad de tramas en ráfagas se comporta igual que la razón de transferencia exitosa, todos los parámetros se comportan según el umbral

establecido. El costo aproximado de la red es de aproximadamente un millón de USD, el cual se recupera según el valor de las tarifas establecidas, en un período de 5 años.

4. Al concluir este trabajo ha quedado demostrado que existen diferentes alternativas de soluciones que le permiten hoy a *Ethernet* ocupar un espacio en los escenarios de redes de área metropolitana (MAN) y área amplia (WAN) y que por tanto es posible y necesaria la migración escalonada hacia tecnologías basadas en paquetes en las redes de transporte que se deben continuar desarrollando en los próximos años.

RECOMENDACIONES

1. Continuar la introducción de las nuevas tecnologías como EVPN y PBB-EVPN, así como el proceso de evolución de las redes de transporte, profundizando en el estudio de estas tecnologías, teniendo en cuenta que las mismas superan las limitaciones de VPLS en MPLS.
2. Comenzar lo antes posible la implementación de la red Metro Ethernet propuesta en la provincia de Las Tunas.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ADM: Add-Drop Multiplexer, Multiplexor Inserción- Extracción

AP: Access Point, Punto de Acceso

API: Application Programming Interface, Interfaz de Programación de Aplicaciones

WAP: Wireless Access Point, Punto de Acceso Inalámbrico

ATM: Asynchronous Transfer Mode, Modo de Transferencia Asíncronico

BRAS: Broadband Remote Access Server, Servidor Acceso Remoto Banda Ancha

BSC: Base Station Controller, Controlador de Estación Base

CAPEX: Capital expenditure, Gastos en capital

CE: Customer Edge, Cliente de borde

CEN: Carrier Ethernet networks, Redes Carrier Ethernet

CID: Circuit Identification, Identificador de la conexión

CoS: Class of Service, Clases de Servicio

CPE: Customer Premises Equipment, Equipo Local del Cliente

CSMA/CD: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection, Acceso Múltiple con Escucha de Portadora y Detección de Colisiones

CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación por División Aproximada de Longitudes Onda

DSLAM: Digital Subscriber Line Access Multiplexer, Multiplexor Acceso Lazo Abonado Digital

DUT: Device Under Test, Dispositivo a prueba

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing, Multiplexación de Longitudes Onda Densa

E1: 2,048 Mbps interface ITU-T G.703 Interfaces 2,048 Mbps ITU-T G.703

EMS: Element Manager System, Sistema Administración de Elemento

EoMPLS: Ethernet Over MPLS, Ethernet sobre MPLS

EoS: Ethernet over SDH, Ethernet sobre SDH

EVC: Connection Ethernet virtual, Conexión Virtual de Ethernet

E-LAN: E-Local Area Network, Conexiones multipunto a multipunto

EPL: Ethernet Private Line, Línea Privada Ethernet

EPLAN: Ethernet Private LAN, Ethernet Privada LAN

E-Access: Ethernet Access, Acceso Ethernet

E-LINE: Ethernet Line, Línea Ethernet

ENNI: External Network Network Interface, Interfaz externa de red a red

E-Transit: Ethernet Transit, Tránsito Ethernet

E-TREE: Ethernet Tree, Árbol Ethernet

EVPL: Virtual Private LAN Service, Servicio de LAN privada virtual

FEC: Forwarding Equivalence Class, Clase de equivalencia de reenvío

FO: Fiber Optical, Fibra Óptica

FOADM: Optical add-drop multiplexer, Multiplexor óptico de inserción y extracción

FON: Fiber Optical National, Fibra Ópticas Nacional

GPON: Gigabit Passive Optical Network, Redes Óptica Pasiva Gigabit

GbE: Gigabit Ethernet, Gigabit Ethernet

GFP: Generic Framing Procedure, Procedimiento de Entramado Genérico

HDTV: High Definition Television, Alta Definición Televisión

ID: Identification, Identificación

IGMP: Internet Group Management Protocol, Protocolo de Gestión de Grupos de Internet

IP: Internet Protocol, Protocolo Internet

IPoE: IP over Ethernet, IP sobre Ethernet

IPTV: Internet Protocol Television, Televisión por protocolo de internet

ISP: Internet service provider, Proveedor de Servicios de Internet

Jitter: Variabilidad del retardo entre bits.

LAN: Local area network, Red de área local

LDP: Label Distribution Protocol, Protocolo de distribución de etiquetas

LER: Label edge routers, Encaminadores de borde de etiqueta

LSA: Link State Algorithm, Algoritmo Enlace-Estado

LSO: Lifecycle *Service* Orchestration, Orquestación del servicio del ciclo de vida

LSP: Label Switched Path, Intercambio de rutas por etiqueta

LSR: Label Switching Router, Enrutador de conmutación de etiquetas

L2CP: Layer 2 Control Protocols, Protocolos de control de capa 2

L2VPN: Layer 2 Virtual Private Network, Red privada virtual de capa 2

L3VPN: Layer 3 Virtual Private Network, Red privada virtual de capa 3

MAC: Media Access Control, Control de acceso al medio

MAN: Metropolitan Área Network, Red de Área Metropolitana

MEF: Forum Metro Ethernet

MP-BGP: Multiprotocol –Border Gateway Protocol, Multiprotocolo Protocolo de puerta de enlace fronterizo

MPLS: Multi Protocol Label Switching, Multi Protocol de Conmutación de Etiqueta

MPLS-TP: Multiprotocol Label Switching Transport Profile, Perfil de Transporte Multiprotocolo por Conmutación por Etiquetas

MSAN: Multiservice Acces Node, Nodo de Acceso Multiservicio

MVPN: Multicast Virtual Private Network, Red Privada Virtual de Multidifusión

NFV: Network Function Virtualization, Virtualización de las funciones de red

NGN: Next Generation Network, Red de Próxima Generación

NG-SDH: Next Generation- SDH, Próxima Generación- SDH

NMS: Network Management System, Sistema Administración de Red

OAM: Operations, Administration, Maintenance; Operación, Administración, Mantenimiento

OLT: Optical Line Terminal, Terminal Óptico de Línea

OPEX: Operational expenditures, Gastos operacionales

OSPF: Open Shortest Path First, Abrir el camino más corto primero

OTN: Optical Transport Network, Red de Transporte de Óptica

OVC: Virtual Operator Circuits, Circuitos Virtuales de Operador

PBB-TE: Provider Backbone Bridge-Traffic Engineering, Ingeniería de Tráfico de Puentes de la red Troncal del Proveedor

PDH: Plesiochronous Digital Hierarchy, Jerarquía Digital Plesiócrona

PE: Provider Edge, Proveedor de Borde

PoE: Power over Ethernet, Energía sobre Ethernet

POS: Packet Over SDH, Paquetes Sobre SDH

POP: Point of Presence, Puntos de Presencia

PPPoE: Point to Point Protocol Over Ethernet, Protocolos Punto a Punto sobre Ethernet

PTN: Packet Transport Network, Red de Transporte de Paquete

PW: Pseudowires

P2P: Peer-to-Peer, Red de pares

QoS: Quality of Service, Calidad de Servicio

RAN: Radio Access Network, Red de Acceso de Radio

RNC: Radio Network Controller, Controlador de la Red Radio

RPR: Resilient Packet Ring, Anillo de Paquete Resistente

RSTP: Rapid Spanning Tree Protocol, Protocolo de Árbol Extendido Rápido

RSVP-TE: Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering, Protocolo de Reserva de Recursos- Ingeniería de Tráfico

RTP: Real-time Transport Protocol, Protocolo de Transporte Tiempo Real

SDH: Synchronous Digital Hierarchy, Jerarquía Digital Sincrónica

SDN: Software Defined Networking, Redes definidas por software

SDP: Session Description Protocol, Protocolo de Descripción de Sesión

SONET: Synchronous Optical Network, Redes Ópticas Síncronas

SP: Service Provider, Proveedor de servicio

STM: Synchronous Transport Module, Modulo de Transporte Síncrono

SLA: Service Level Agreement, Acuerdo de Nivel de Servicios

Switch: Conmutador

T-LDP: Targeted LDP, Protocolo de distribución de etiquetas dirigido

T-MPLS: Transport Multiprotocol Label Swiching, Transporte de Multiprotocolo por Conmutación de Etiquetas

TDM: Time División Multiplexer, Multiplexación por División de Tiempo

UNI: User network interface, Interfaz de red de usuario

VLL: Virtual Leased Line, Línea Virtual Arrendada

VLAN: Virtual local area network, Red de área local virtual

VPRN: Virtual Private Routed Network, Red privada virtual enrutada

VoD: Video over Demand, Video bajo Demanda

VoIP: Voice over IP, Voz mediante paquetes basados en IP por la red Internet

VPLS: Virtual private LAN service, Servicio de LAN Privada Virtual

VPN: Virtual Private Network, Red privada virtual

VPN BGP/MPLS: Virtual Private Network - Border Gateway Protocol / Multiprotocol Label Switching, Red privada virtual - Protocolo de puerta de enlace fronterizo / Cambio de etiquetas multiprotocolo

VPWS: Virtual Private Wire Service, Servicio de cable privado virtual

VRF: Virtual Routing and Forwarding, Enrutamiento Virtual y Reenvío

VS: Virtual Switch Instance, Instancia de Switch Virtual

WAN: Wide Area Network, Red de área amplia

BIBLIOGRAFIA

- [1] J. Hawkins and E. Follis. (April 4, 2016). *The History of Carrier Ethernet*. Available: https://www.ciena.com/insights/articles/The-History-of-Carrier-Ethernet_prx.html
- [2] IEEE. (2018-08-31). *IEEE 802.3-IEEE Standard for Ethernet*. Available: https://standards.ieee.org/standard/802_3-2018.html
- [3] J. Hawkins and E. Follis. *Carrier Ethernet*. Available: https://www.ciena.com/insights/ebooks/Carrier-Ethernet-Essentials-eBook_prx.html?campaign=X597316
- [4] E. Schmidberg. (Abril 2009). *MetroEthernet*. Available: <http://www.ieee.org.ar/downloads/metroethernet.pdf>
- [5] *IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee*. Available: www.ieee802.org
- [6] IEEE. *IEEE 802.3 ETHERNET WORKING GROUP*. Available: <http://grouper.ieee.org/groups/802/3/index.html>
- [7] A. Tong and K. Wade. (2016). *Guía de NFV y SDN para operadores y proveedores de servicios*. Available: https://media.ciena.com/documents/Blue+Planet+Essentials_NFV+and+SDN+Guide_033017_A5_es_LA.pdf
- [8] UIT-T, "Recomendación UIT-T Y.2019 " in *Arquitectura funcional de entrega de contenido en las NGN*, ed. <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2019-201009-I/es,2010-09-06>.
- [9] *Metro Ethernet Forum (MEF), Definir los servicios ethernet así como sus atributos y parámetros*. Available: <http://www.metroethernetforum.org>
- [10] J. Hawkins. (2016-06-14, Ethernet. vs. Carrier Ethernet: La nueva party line de redes. *Ciena*. Available: https://www.ciena.com.mx/insights/articles/Ethernet-vs-Carrier-Ethernet-The-New-Network-Party-Line-es_LA.html
- [11] MEF, "MEF 10.4. Subscriber Ethernet Service Attributes," ed. [https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_26.2.pdf](https://www.google.com/search?source=hp&ei=MQyVXOr3Is6J5wLZmrugDQ&q=MEF+10.4&btnK=Buscar+con+Google&oq=MEF+10.4&gs_l=psy-ab.3..0i19.2521.5008..5293...0.0..0.496.2056.0j3j3j1j1.....0....1..gws-wiz.....0..0i131j0j0i10j0i22i30j0i22i30i19.PwxkKLDCZWg, December 2018.[12] MEF. (Agosto 2016). <i>Technical Specification MEF 26.2</i>. Available: <a href=)
- [13] Anónimo. (2019). *¿Qué es Carrier Ethernet?* Available: https://www.ciena.com.mx/insights/what-is/What-is-Carrier-Ethernet_es_LA.html
- [14] IEEE, "802.3ah. Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications," ed. http://www.ieee802.org/21/doctree/2006_Meeting_Docs/2006-11_meeting_docs/802.3ah-2004.pdf, 2004-09-07.
- [15] UIT-T, "G.8013/Y.1731. Operation, administration and maintenance (OAM) functions and mechanisms for Ethernet-based networks," ed. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.8013-201908-P!Cor2/es, 2019-08-29>.

- [16] Anónimo. (2018-08-15) ¿Qué es Ethernet (IEEE 802.3)? *Digital Guide IONOS*. Available: <https://www.ionos.es/digitalguide/servidores/know-how/ethernet-ieee-8023/>
- [17] S. Ralph, "Metro Ethernet services- A Technical Overview," ed. https://www.mef.net/Assets/White_Papers/Metro-Ethernet-Services.pdf, 2014.
- [18] MEF. (Octubre 2004). *Implementation Agreement for the Emulation of PDH Circuits over Metro Ethernet Networks MEF 8* Available: https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_8.pdf
- [19] MEF. (Agosto 2014). *Technical Specification MEF 6.2. EVC Ethernet Services Definitions Phase 3*. Available: https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_6.2.pdf
- [20] MEF, "MEF 62 Managed Access E-Line Service Implementation Agreement," ed. https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_62.pdf, Mayo 2018.
- [21] MEF, "MEF 22.3 Transport Services for Mobile Networks," ed. https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_22.3.pdf, January 2018.
- [22] MEF, "MEF 43 Virtual NID (vNID) Functionality for E-Access Services," ed. https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_43.pdf, April, 2014.
- [23] MEF, "MEF 51.1 Operator Ethernet Service Definitions," ed. https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_51.1.pdf, December 2018.
- [24] MEF, "MEF 47 Carrier Ethernet Services for Cloud Implementation Agreement," ed. https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_47.pdf, October, 2014.
- [25] MEF, "MEF 23.2. Carrier Ethernet Class of Service—Phase 3," ed. https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_23.2.pdf, August 2016.
- [26] MEF, "Technical Specification MEF 10.3. Ethernet Services Attributes Phase 3," vol. 2019, ed. https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_10.3.pdf, Octubre 2013.
- [27] IEEE, "IEEE 802.1Q-2018 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Bridges and Bridged Networks," ed. https://standards.ieee.org/standard/802_1Q-2018.html, 2018-05-07.
- [28] D. Bar-Lev. (2019-01-30). *MEF Reference Wiki. Service Provider*. Available: <https://wiki.mef.net/display/CESG/Service+Provider>
- [29] Anónimo. (2016-06-19) ¿Qué es el CE 2.0 (Carrier Ethernet 2.0)? . *Supernovatel. Soluciones y Servicios en Redes, Telecomunicaciones y Tecnología*. Available: <http://supernovatel.com/noticias/que-es-el-ce2-0/>
- [30] MEF. (2013-01-30). *Los pioneros de Carrier Ethernet 2.0 preparan el camino para el aumento del acceso Ethernet. Se ha anunciado la primera serie de productos certificados CE 2.0*. Available: <https://www.businesswire.com>
- [31] Anónimo. (2018). *Carrier Ethernet 2.0mnitron*. Available: <https://www.omnitron-systems.com/carrier-ethernet-learning-center/carrier-ethernet-2-0-overview.php>

- [32] MEF, "Technical Specification MEF 33 " in *Ethernet Access Services Definition*, ed. https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_33.pdf, Enero 2012.
- [33] MEF, "Technical Specification MEF 51," in *OVC Services Definitions*, ed. https://www.mef.net/Assets/Technical_Specifications/PDF/MEF_51.pdf, Agosto 2015.
- [34] J. Hawkins, "Carrier Ethernet 101: velocidades, estándares y servicios," in *ciena*, ed. https://www.ciena.com.mx/insights/articles/Carrier-Ethernet-Speeds-Standards-and-Services_es_MX.html, 2017.
- [35] MEF, "La Tercera Red Ágil, segura y orquestada," in *Visión y estrategia Basado en los principios de la red como servicio*, ed. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjR48_hxOXIAhUJy1kKHbHECQoQFjAAegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fwww.mef.net%2Fresources%2Fdownload%3Fid%3D22%26fileid%3Dfile1&usg=AOvVaw3oANsK89E96Mm0uquaeN_I, Noviembre 2014.
- [36] MEF, "La Tercera Red: Visión de la Lifecycle Service Orchestration LSO," ed. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiHxvS5xuXIAhWowFkKHTGDZsQFjABegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.mef.net%2Fresources%2Fdownload%3Fid%3D19%26fileid%3Dfile1&usg=AOvVaw3_5qcqBGkxharnAjvkCFQu, Febrero 2015.
- [37] MEF. (2016-10-14). *Reference Wiki. Evolution of Carrier Ethernet*. Available: <https://wiki.mef.net/display/CESG/Evolution+of+Carrier+Ethernet>
- [38] MEF. (2009 - 2019). *MEF 3.0 Carrier Ethernet (MEF 3.0 CE)*. Available: <https://www.mef.net/mef-3-0-carrier-ethernet-mef-3-0-ce>
- [39] MEF. (Jul 31, 2017). *SONET/SDH Transport*. Available: <https://wiki.mef.net/pages/viewpage.action?pageId=29753858>
- [40] IETF, "RFC 3031 Multiprotocol Label Switching Architecture," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc3031>, January 2001.
- [41] MEF. (2017-07-12). *Reference Wiki. MPLS-Transport Profile*. Available: <https://wiki.mef.net/display/CESG/MPLS-Transport+Profile>
- [42] MEF. (2014-10-22). *Reference Wiki. MPLS-based Transport Technologies*. Available: <https://wiki.mef.net/display/CESG/MPLS-based+Transport+Technologies>
- [43] IETF, "RFC 4448 Encapsulation Methods for Transport of Ethernet over MPLS Networks," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc4448>, April 2006.
- [44] IETF, "RFC 5921 A Framework for MPLS in Transport Networks," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc5921>, July 2010.
- [45] IETF, "RFC 5960 MPLS Transport Profile Data Plane Architecture," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc5960>, August 2010.
- [46] IETF, "RFC 8214 Virtual Private Wire Service Support in Ethernet VPN," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc8214>, August 2017.
- [47] MEF. (Nov 06, 2017). *Reference Wiki. Virtual Private Wire Service (VPWS)*. Available: <https://wiki.mef.net/pages/viewpage.action?pageId=29753773>
- [48] IETF, "RFC 4762 Virtual Private LAN Service (VPLS) Using Label Distribution Protocol (LDP) Signaling," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc4762>, January 2007.
- [49] MEF. (2017-07-31). *Reference Wiki. Virtual Private LAN Service*. Available: <https://wiki.mef.net/display/CESG/Virtual+Private+LAN+Service>

- [50] IEEE, "IEEE 802.17-2011 - IEEE Standard for Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 17: Resilient packet ring (RPR) access method and physical layer specifications," ed. https://standards.ieee.org/standard/802_17-2011.html, 2011.
- [51] IEEE, "IEEE 802.1Qay-2009 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-- Virtual Bridged Local Area Networks Amendment 10: Provider Backbone Bridge Traffic Engineering," ed. https://standards.ieee.org/standard/802_1Qay-2009.html, 2009-06-17.
- [52] MEF. (Dec 06, 2018). *Reference Wiki. Carrier Ethernet*. Available: <https://wiki.mef.net/display/CESG/Carrier+Ethernet>
- [53] MEF. (Oct 22, 2014). *Reference Wiki. Transport Support for Carrier Ethernet Services*. Available: <https://wiki.mef.net/display/CESG/Transport+Support+for+Carrier+Ethernet+Services>
- [54] HUAWEI. *Evolución hacia 100G+: ROADS hacia un futuro mejor. Construya redes de transporte empresariales de banda ultraancho sencillas e inteligentes*. Available: <https://e.huawei.com/es/products/fixed-network/transport>
- [55] HUAWEI. (23 abril). *Plataforma OTN OptiX OSN 1800. La próxima generación de las plataformas de transmisión óptica de múltiples servicios*. Available: <https://e.huawei.com/es/products/fixed-network/transport/wdm/osn-1800>
- [56] HUAWEI. (05/04). *OptiX OSN 6800 Intelligent Optical Transport Platform*. Available: https://actfor.net.com/HUAWEI_TRANSPORT_DOCS/OptiX%20OSN%206800%20Product%20Overview.pdf
- [57] HUAWEI. (23 abril). *Plataforma OTN OptiX OSN 8800. Plataforma OTN inteligente para redes troncales OTN/WDM fiables*. Available: <https://e.huawei.com/es/products/fixed-network/transport/wdm/osn-8800>
- [58] HUAWEI. (23 abril). *Plataforma OTN OptiX OSN 9800*. Available: <https://e.huawei.com/es/products/fixed-network/transport/wdm/osn-9800>
- [59] HUAWEI. (23 abril). *S9300E Next Generation Series Terabit Routing Switches*. Available: <https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/b2b/ethernet-switches/campus-switches/s9300e>
- [60] NOKIA. (05/04). *7450 Ethernet Service Switch*. Available: <https://networks.nokia.com/products/7450-ethernet-service-switch>
- [61] NOKIA. (05/04). *7210 Service Access Switch*. Available: <https://networks.nokia.com/products/7210-service-access-switch>
- [62] NOKIA. (05/04). *7750 Service Router*. Available: <https://networks.nokia.com/products/7750-service-router>
- [63] CISCO. (25 abril). *Switches*. Available: https://www.cisco.com/c/es_mx/products/switches/index.html
- [64] Ericsson. (05/04). *Router*. Available: <https://www.ericsson.com/en/portfolio/networks/ericsson-radio-system/mobile-transport/router>
- [65] HUAWEI. *Equipo Huawei Optix OSN. Carritech Telecommunications*. Available: <http://www.carritech.com/es/equipos-de-telecomunicaciones/redes-de-transmision/huawei-optix-osn/huawei-optix-osn-equipo/>

- [66] HUAWEI. (2019). U2000. Available: <https://e.huawei.com/es/products/wireless/elte-trunking/access-terminal/u2000>
- [67] UIT-T, "Recommendation UIT-T G.694.1. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Transmission media and optical systems characteristics – Characteristics of optical systems," ed. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1-201202-l/es>, Febrero 2012.
- [68] UIT-T, "Recomendación UIT-T G.694.2. SERIE G: SISTEMAS Y MEDIOS DE TRANSMISIÓN, SISTEMAS Y REDES DIGITALES. Características de los medios de transmisión . Características de los componentes y los subsistemas ópticos. Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda.: Plan de multiplexación por división aproximada de longitud de onda.," ed. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2-200312-l/es>, 12/2003.
- [69] Huawei. (2016) Huawei S9300E Switch. Product Brochures. *Huawei*. Available: <http://www-file.huawei.com/~/media/CNMG/Downloads/Product/Fixed%20Network/carrier%2012700/pdf/Huawei%20S9300E%20Switch%20Product%20Brochure-en.pdf>
- [70] V. E. Vega Valdiviezo, "“DISEÑO DE UNA RED IP-RAN PARA EL TRANSPORTE DE TRÁFICO DE DATOS DE UNA RED DE TELEFONÍA CELULAR DE CUARTA GENERACIÓN CON TECNOLOGÍA LTE PARA UN OPERADOR MÓVIL, EN LA CIUDAD DE MACHALA, PROVINCIA DE EL ORO, ECUADOR”," Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7165>, 2016-11-29.
- [71] IETF, "RFC 8223 Application-Aware Targeted LDP," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc8223>, August 2017.
- [72] IETF, "RFC 4364 BGP/MPLS IP Virtual Private Networks (VPNs)," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc4364>, February 2006.
- [73] IETF, "RFC 4577 OSPF as the Provider/Customer Edge Protocol for BGP/MPLS IP Virtual Private Networks (VPNs)," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc4577>, June 2006.
- [74] IETF, "RFC 4684 Constrained Route Distribution for Border Gateway Protocol/MultiProtocol Label Switching (BGP/MPLS) Internet Protocol (IP) Virtual Private Networks (VPNs)," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc4684>, November 2006.
- [75] IETF, "RFC 5462 Multiprotocol Label Switching (MPLS) Label Stack Entry: "EXP" Field Renamed to "Traffic Class" Field," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc5462>, February 2009.
- [76] HUAWEI. (2019-6-21, noviembre 07). *Introducción al simulador de red de Huawei eNSP*. Available: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/introducci%C3%B3n-al-simulador-de-red-de-huawei-ensp/thread/540753-100265>
- [77] IETF, "RFC 2328 OSPF Version 2," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc2328>, April 1998.
- [78] IETF, "RFC 8042 OSPF Two-Part Metric," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc8042>, December 2016.
- [79] IETF, "RFC 5340 OSPF for IPv6," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc5340>, July 2008.

- [80] S. Bradner and J. McQuaid, "Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices," *ACM Digital Library*, 1999.
- [81] IETF, "RFC 2544 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc2544>, March 1999.
- [82] IETF, "RFC 6815 Applicability Statement for RFC 2544: Use on Production Networks Considered Harmful," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc6815>, November 2012.
- [83] EXFO. (2017-2019). *FTB-1v2/Pro - plataforma*
- [84] G. A. Fernández Curbelo, "Propuesta de red de transporte Metro Ethernet en la provincia de Villa Clara," Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica, 2019-06-25.
- [85] IETF, "RFC 1242 Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc1242>, July 1991.
- [86] IETF, "RFC 6201 Device Reset Characterization," ed. <https://tools.ietf.org/html/rfc6201>, March 2011.
- [87] UIT-T, "G.114. Tiempo de transmisión en un sentido," ed. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114/es>, (05/2003).

ANEXOS

Anexo A: Organismos Internacionales y Estándares relacionados con Ethernet

IEEE 802 LAN/MAN Standards Committee

802.1 LAN protocols WG

- 802.1D-2004

- 802.1Q- 2014

IEEE Std 802.1Q-2014 incorpora en su texto las siguientes correcciones y mejoras ya incluidas en el 2011:

IEEE Std 802.1Qbe™-2011 Multiple I-SID Registration Protocol

IEEE Std 802.1Qbc™-2011 Provider Bridging—Remote Customer Service Interfaces

IEEE Std 802.1Qbb™-2011 Priority-based Flow Control

IEEE Std 802.1Qaz™-2011 Enhanced Transmission Selection for Bandwidth Sharing Between Traffic Classes

IEEE Std 802.1Qbf™-2011 PBB-TE Infrastructure Segment Protection

IEEE Std 802.1Qbg™-2012 Edge Virtual Bridging

IEEE Std 802.1aq™-2012 Shortest Path Bridging

IEEE Std 802.1Q-2011/Cor 2-2012 Technical and editorial corrections

IEEE Std 802.1Qbp™-2014 Equal Cost Multiple Paths (ECMP)

The 2011 revision of this standard incorporated the text of the following amendments into

IEEE Std 802.1Q-2005.

IEEE Std 802.1ad™-2005 Provider Bridges

IEEE Std 802.1ak™-2007 Multiple Registration Protocol

IEEE Std 802.1ag™-2007 Connectivity Fault Management

IEEE Std 802.1ah™-2008 Provider Backbone Bridges

IEEE Std 802.1Q-2005/Cor-1-2008 Corrections to the Multiple Registration Protocol

IEEE Std 802.1ap™-2008 Management Information Base (MIB) Definitions for VLAN Bridges

IEEE Std 802.1Qaw™-2009 Management of Data Driven and Data Dependent Connectivity Faults

IEEE Std 802.1Qay™-2009 Provider Backbone Bridge Traffic Engineering

IEEE Std 802.1aj™-2009 Two-Port Media Access Control (MAC) Relay

IEEE Std 802.1Qav™-2009 Forwarding and Queuing Enhancements for Time-Sensitive Streams

IEEE Std 802.1Qau™-2010 Congestion Notification

IEEE Std 802.1Qat™-2010 Stream Reservation Protocol

Clause 13 of IEEE Std 802.1Q-2011 was also revised to include an updated specification of the Rapid Spanning Tree Algorithm and Protocol (RSTP), superseding references to IEEE Std 802.1D™-2004 [B10].a

The 2005 revision of this standard incorporated the text of the following amendments into

IEEE Std 802.1Q-1998.

IEEE Std 802.1u™-2001 Technical and Editorial Corrections

IEEE Std 802.1v™-2001 VLAN Classification by Protocol and Port

IEEE Std 802.1s™-2002 Multiple Spanning Trees

This standard was first published as IEEE Std 802.1Q-1998, making use of the concepts and mechanisms of LAN Bridging that were introduced by IEEE Std 802.1D and defining additional mechanisms to allow the implementation of Virtual Bridged Networks.

IEEE 802.3 ETHERNET WORKING GROUP

- IEEE P802.3ca 25 Gb/s and 50 Gb/s Ethernet Passive Optical Networks Task Force.
- IEEE P802.3.2 (IEEE 802.3cf) YANG Data Model Definitions Task Force
- IEEE P802.3cg 10 Mb/s Single Pair Ethernet Task Force.
- IEEE P802.3ch Multi-Gig Automotive Ethernet PHY Task Force.
- IEEE P802.3ck 100 Gb/s, 200 Gb/s, and 400 Gb/s Electrical Interfaces Task Force.
- IEEE P802.3cm 400 Gb/s over Multimode Fiber Task Force.
- IEEE P802.3cn 50 Gb/s, 200 Gb/s, and 400 Gb/s over greater than 10 km of SMF Task Force.
- IEEE P802.3cp Bidirectional 10 Gb/s, 25 Gb/s, and 50 Gb/s Optical Access PHYs Task Force.
- IEEE P802.3cq Power over Ethernet over 2 Pairs (Maintenance #13) Task Force.
- IEEE P802.3cr Isolation (Maintenance #14) Task Force.
- IEEE P802.3cs Increased-reach Ethernet optical subscriber access (Super-PON) Task Force.
- IEEE P802.3ct 100 Gb/s and 400 Gb/s over DWDM systems Task Force.
- IEEE 802.3 100 Gb/s per lane optical PHYs Study Group.
- IEEE 802.3 New Ethernet Applications Ad Hoc.
- IEEE 802.3 SCC18 Ad Hoc.

802.11 Wireless LAN WG (WiFi)

- 802.11-2005
- 802.11a
- 802.11b
- 802.11g
- 802.16 Broadband Wireless Access WG (WiMax)
- 802.17 RPR W

ITU-T estándares sobre Ethernet

- G.8001 – EoT definitions
- G.8010 – Ethernet layer network architecture
- G.8011 – Ethernet over Transport services framework
- G.8011.1 – Ethernet private line service
- G.8011.2 – Ethernet virtual private line service
- G.8012 – Ethernet UNI and NNI
- G.8021 – Ethernet transport equipment characteristics
- G.8031 – Ethernet linear protection switching
- G.8032 – Ethernet ring protection switching
- Y.1730 – Ethernet OAM - requirements
- Y.1731 – Ethernet OAM

Resoluciones de Metro Ethernet Fórum

- MEF 1 Ethernet Services Model - Phase 1 (Superseded by MEF 10)
- MEF 2 Requirements and Framework for Ethernet Service Protection
- MEF 3 Circuit Emulation Requirements
- MEF 4 MEN Architecture Framework Part 1: Generic Framework
- MEF 5 Traffic Management Specification – Phase 1 (Superseded by MEF 10)
- MEF 6 Metro Ethernet Services Definitions Phase 1 (Superseded by MEF 6.1)
- MEF 6.1 Metro Ethernet Services Definitions Phase 2 (Superseded by MEF 6.2)
- MEF 6.1.1 Layer 2 Control Protocol Handling Amendment to MEF 6.1 (Superseded by MEF 45)
- MEF 6.2 EVC Ethernet Services Definitions Phase 3
- MEF 7 EMS-NMS Information Model (Superseded by MEF 7.1)
- MEF 7.1 EMS-NMS Information Model (Phase 2) (Superseded by MEF 7.2)
- MEF 7.1.1 Technical Corrections to MEF 7.1 (Superseded by MEF 7.2)
- MEF 7.2 Carrier Ethernet Information Model (Superseded by MEF 7.3)
- MEF 7.3 Carrier Ethernet Service Information Model
- MEF 8 PDH over MEN Implementation Agreement (CESoETH)
- MEF 9 Abstract Test Suite for Ethernet Services at the UNI

MEF 10 Ethernet Services Attributes Phase 1, (Superseded by MEF 1 and MEF 5);
(Superseded by MEF 10.1)

MEF 10.1 Ethernet Services Attributes Phase 2 (Superseded by MEF 10.2)

MEF 10.1.1 Amendment to MEF 10.1 Ethernet Services Attributes Phase 2
(Superseded by MEF 10.2)

MEF 10.2 Ethernet Services Attributes Phase 2 (Superseded by MEF 10.3)

MEF 10.2.1 Performance Attributes Amendment to MEF 10.2 (Superseded by MEF
10.3)

MEF 10.3 Ethernet Services Attributes Phase 3 (Superseded by MEF 10.4)

MEF 10.3.1 Composite Performance Metric (CPM) Amendment to MEF 10.3
(Superseded by MEF 10.4)

MEF 10.3.2 UNI Resiliency Enhancement Amendment to MEF 10.3 (Superseded by
MEF 10.4)

MEF 10.4 Subscriber Ethernet Service Attributes, December 2018

MEF 11 User Network Interface (UNI) Requirements and Framework

MEF 12 MAN Architecture Framework Part 2: Ethernet Services Layer (Superseded by
MEF 12.1)

MEF 12.1 Carrier Ethernet Network Architecture Framework Part 2: Ethernet Services
Layer - Basic Elements (Superseded by MEF 12.2)

MEF 12.1.1 Network Architecture Framework Part 2: External Interface Extensions
(Superseded by MEF 12.2)

MEF 12.2 Carrier Ethernet Network Architecture Framework Part 2: Ethernet Services
Layer

MEF 13 User Network Interface (UNI) Type 1 Implementation Agreement

MEF 14 Abstract Test Suite for Ethernet Services at the UNI

MEF 15 MEN Management Requirements - Phase 1 Network Elements

MEF 16 Ethernet Local Management Interface

MEF 17 Service OAM Framework and Requirements

MEF 18 Abstract Test Suite for Circuit Emulation Services

MEF 19 Abstract Test Suite for UNI Type 1

MEF 20 UNI Type 2 Implementation Agreement

MEF 21 Abstract Test Suite for UNI Type 2 Part 1 Link OAM

MEF 22 Mobile Backhaul Implementation Agreement (Superseded by MEF 22.2)

MEF 22.1 Mobile Backhaul Phase 2 Implementation Agreement (Superseded by MEF
22.2)

MEF 22.1.1 Amendment to MEF 22.1 – Small Cell Backhaul (Superseded by MEF
22.2)

MEF 22.2 Mobile Backhaul Phase 3 Implementation Agreement (Superseded by MEF 22.3)

MEF 22.2.1 Mobile Backhaul Phase 3 - Amendment 1: Time Synchronization (Superseded by MEF 22.3)

MEF 22.3 Transport Services for Mobile Networks

MEF 23 Class of Service Phase 1 Implementation Agreement (Superseded by MEF 23.1)

MEF 23.1 Class of Service Phase 2 Implementation Agreement (Superseded by MEF 23.2)

MEF 23.2 Class of Service

MEF 23.2.1 Models for Bandwidth Profiles with Token Sharing Amendment to MEF 23.2

MEF 24 Abstract Test Suite for UNI Type 2 Part 2 E-LMI

MEF 25 Abstract Test Suite for UNI Type 2 Part 3 Service OAM

MEF 26 External Network Network Interface - ENNI (Phase 1) (Superseded by MEF 26.1)

MEF 26.0.1 Corrected Figure 10 for MEF 26 (Superseded by MEF 26.1)

MEF 26.0.2 OVC Layer 2 Control Protocol Tunneling Amendment to MEF 26 (Superseded by MEF 26.1)

MEF 26.0.3 Service Level Specification Amendment to MEF 26 (Superseded by MEF 26.1)

MEF 26.1 External Network Network Interface - ENNI Phase 2 (Superseded by MEF 26.2)

MEF 26.2 External Network Network Interfaces (ENNI) and Operator Service Attributes

MEF 28 External Network Network Interface (ENNI) Support for UNI Tunnel Access and Virtual UNI (Superseded by MEF 26.2)

MEF 29 Ethernet Services Constructs

MEF 30 Service OAM Fault Management Implementation Agreement (Superseded by MEF 30.1)

MEF 30.1 Service OAM Fault Management Implementation Agreement: Phase 2

MEF 30.1.1 Amendment to SOAM FM IA

MEF 31 Service OAM Fault Management Definition of Managed Objects (SNMP)

MEF 31.0.1 Amendment to Service OAM SNMP MIB for Fault Management

MEF 33 Ethernet Access Services Definition (Superseded by MEF 51.1)

MEF 35 Service OAM Performance Monitoring Implementation Agreement (Superseded by MEF 35.1)

MEF 35.0.1 SOAM PM Implementation Agreement Amendment (TCA) (Superseded by MEF 35.1)

MEF 35.0.2 SOAM PM Implementation Agreement Amendment-2 (1SL) (Superseded by MEF 35.1)

MEF 35.1 Service OAM Performance Monitoring - Implementation Agreement

MEF 36 Service OAM SNMP MIB for Performance Monitoring (Superseded by MEF 36.1)

MEF 36.1 Service OAM SNMP MIB for Performance Monitoring

MEF 38 Service OAM Fault Management YANG Modules

MEF 39 Service OAM Performance Monitoring YANG Module

MEF 40 UNI and EVC Definition of Managed Objects

MEF 41 Generic Token Bucket Algorithm

MEF 42 ENNI and OVC Definition of Managed Objects

MEF 43 Virtual NID (vNID) Functionality for E-Access Services

MEF 44 vNID Definition of Managed Objects

MEF 45 Multi-CEN L2CP (Superseded by MEF 45.1)

MEF 45.0.1 Amendment to MEF 45: OVC Services Requirements for L2CP (Superseded by MEF 45.1)

MEF 45.1 Layer 2 Control Protocols in Ethernet Services

MEF 46 Latching Loopback Protocol and Functionality

MEF 47 Carrier Ethernet Services for Cloud Implementation Agreement

MEF 48 Service Activation Testing

MEF 49 Service Activation Testing Control Protocol and PDU Formats

MEF 49.0.1 Amendment to Service Activation Testing Control Protocol and PDU Formats

MEF 50 Service Operations Guidelines (Superseded by MEF 50.1)

MEF 50.1 MEF Services Lifecycle Process Flows

MEF 51 OVC Services Definitions

MEF 51.1 Operator Ethernet Service Definitions

MEF 52 Carrier Ethernet Performance Reporting Framework

MEF 53 Ethernet Services Qualification Questionnaire

MEF 54 Ethernet Interconnection Point (EIP): An ENNI Implementation Agreement

MEF 55 Lifecycle Service Orchestration (LSO): Reference Architecture and Framework

MEF 55.0.1 Operational Threads

MEF 56 Interface Profile Specification – Service Configuration and Activation

MEF 57 Ethernet Ordering Technical Specification - Business Requirements and Use Cases (Superseded by MEF 57.1)

MEF 57.1 Ethernet Ordering Technical Specification - Business Requirements and Use Cases

MEF 58 Legato - EVC Services YANG Service Configuration & Activation

MEF 59 Network Resource Management Information Model: Connectivity

MEF 60 Network Resource Provisioning Interface Profile

MEF 61 IP Service Attributes for Subscriber IP Services Technical Specification

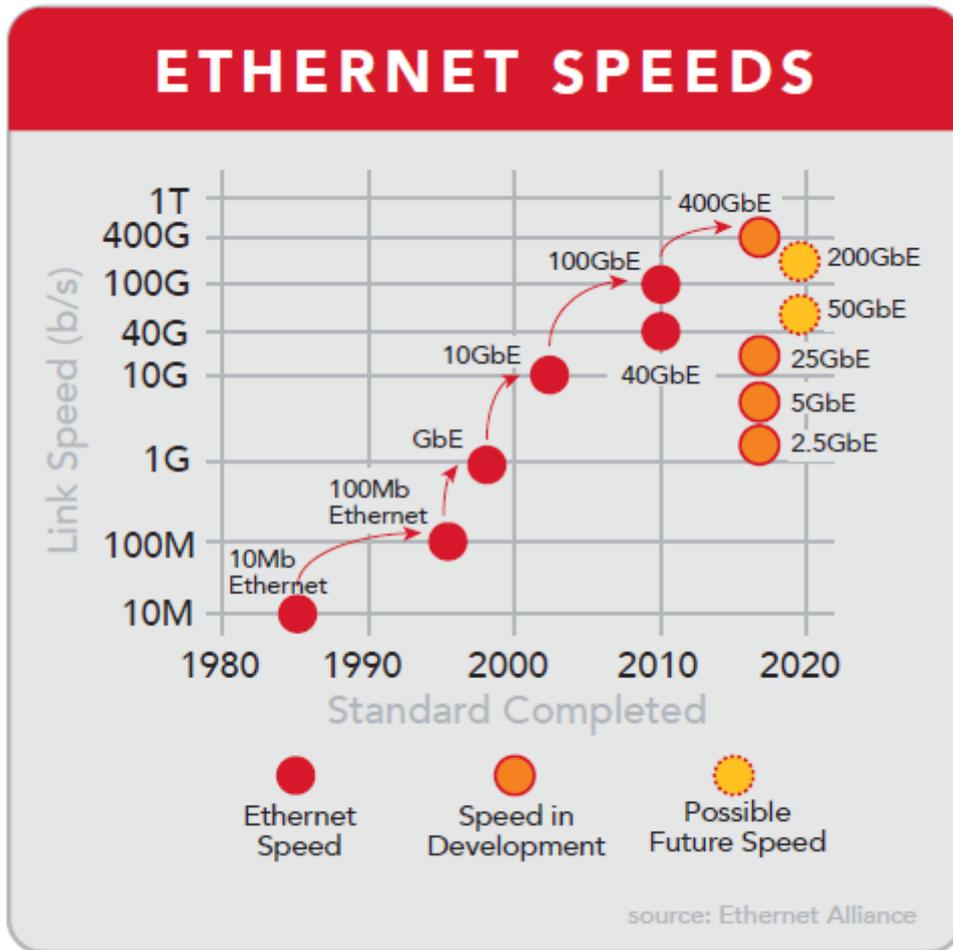
MEF 62 Managed Access E-Line Service Implementation Agreement

MEF 63 Subscriber Layer 1 Service Attributes Technical Specification

MEF 74 Commercial Affecting Attributes

MEF 78 MEF Core Model (MCM)

Anexo B: Futuro de Carrier Ethernet

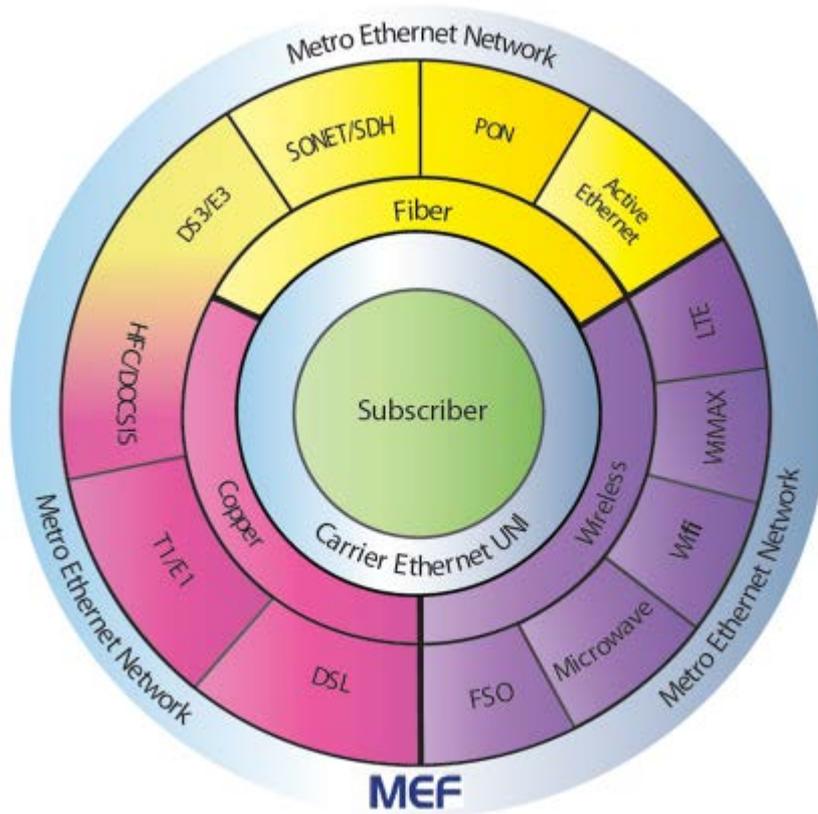
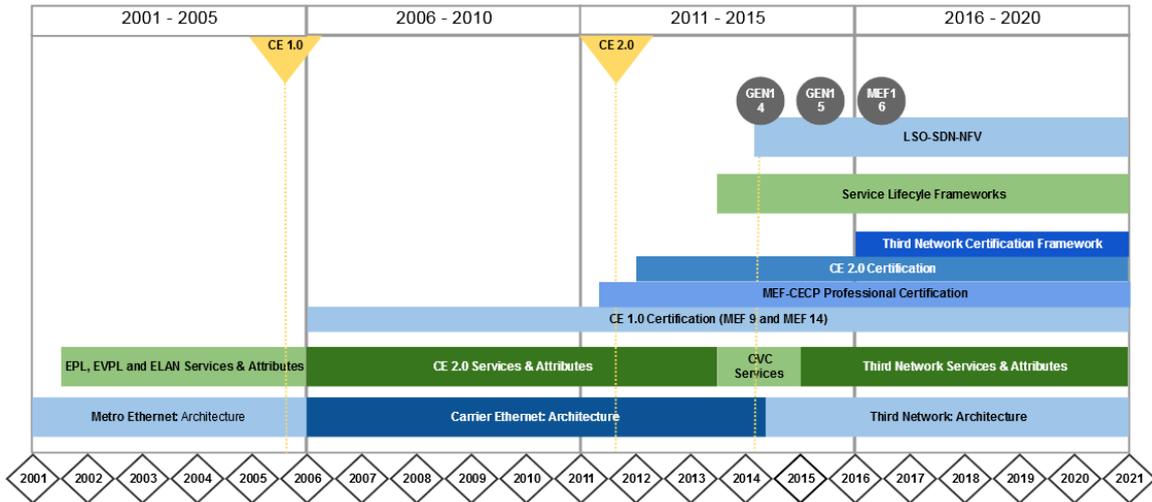


Anexo C: Estándares del protocolo Ethernet para el desarrollo de funciones OAM

Estándar OAM	Organismo	Qué hace el estándar
802.1ag Gestión de fallas de conectividad	IEEE	Especifica los protocolos para el control de continuidad, bucle de retorno y rastreo de enlaces para detectar, localizar y aislar las fallas de red.
Y.1731 Funciones OAM y mecanismos para redes basadas en Ethernet	ITU-T	Soporta funciones de gestión de fallas prácticamente similares a 802.1ag, pero agrega herramientas para el monitoreo de rendimiento que incluyen Tasa de pérdida de tramas (Frame Loss Ratio,FLR), Retardo de tramas (Frame Delay), generalmente llamada latencia, y Variación del retardo de tramas (Frame Delay Variation, FDV), generalmente llamada jitter.
802.1ah Ethernet en la primera milla	IEEE	Define mecanismos para el monitoreo y resolución de problemas en los enlaces de acceso Ethernet.
RFC 2544/ Y.1564 Metodología de pruebas de activación del servicio Ethernet	IETF/ITU-T	Ambos estándares definen las metodologías de las pruebas específicas para Ethernet con el objeto de verificar los atributos clave del servicio al momento de realizar su activación (lo que muchas veces se conoce como la "partida de nacimiento" del servicio).
RFC 4379, 6371, 6428 (y otros) Label Switched Path (LSP) Ping/TR, marco +OAM para transporte de MPLS	IETF	Esta serie de RFC crea funciones OAM específicas para MPLS para verificar la conectividad a nivel de MPLS (como la detección y aislamiento de rutas de fallas o disparidad de etiquetas).
RFC 5357 Protocolo de medición activa bidireccional (TWAMP)	IETF	Permite mediciones de rendimiento bidireccionales con TCP/IP y una técnica de registro de tiempo más exacta que la que se dispone hoy en día con las funciones Ping/Traceroute convencionales.
IEEE 802.1AB Protocolo de descubrimiento de capa de enlaces (LLDP)	IEEE	Realiza funciones para descubrir la identidad y las capacidades de los dispositivos de red en una red Ethernet.

Anexo D: Evolución Carrier Ethernet a Tercera Red

Carrier Ethernet to Third Network



Anexo E: Serie OptiX OSN 7500/3500/2500/500 NG-SDH



Anexo F: Especificaciones técnicas de Equipo OPTix OSN 1800 de Huawei.

- Diseño compacto (5U) con soporte para servicios de acceso any-rate.
- Posee una capacidad OTN máxima de 700 Gbit/s, capacidad de paquetes 700 Gbit/s, 280 Gbit/s para señales SDH de alto orden y 40 Gbit/s para señales de bajo orden.
- Soporta tarjetas de líneas universales y permite que los servicios OTN, SDH y PKT compartan el mismo ancho de banda de la línea.
- Contiene un máximo de 15 slot para tarjetas de servicios.
 - Slot 1-14 Slot para ubicar las tarjetas OTU, OADM, Amplificadores Ópticos, Mux/Demux ópticos, tarjetas de protección y tarjetas de supervisión ópticas.
 - Slot 15 y 16 Tarjeta integrada de control/cross-connect/clock.
 - Slot 17 y 18 Tarjeta PIU cuando el chasis es de DC. Cuando el chasis es de AC se utilizan los slots 17 y 19.
 - El slot 19 también se puede utilizar para alojar una tarjeta OTU, una tarjeta OADM, una tarjeta de amplificador óptico, una tarjeta de multiplexor / demultiplexor óptico, una tarjeta de protección óptica, una tarjeta de canales de supervisión óptica o una tarjeta de interfaz auxiliar cuando el chasis recibe alimentación de DC.
 - Slot 20 tarjeta de FAN.
- Está enfocado para su despliegue tanto en las redes de acceso como en los nodos de agregación.
- Bajo consumo de potencia para las configuraciones típicas.
- Cumple con ITU-T G.709 para la gestión OTN en banda.
- Dimensiones (H x W x D) mm: 221 x 442 x 224

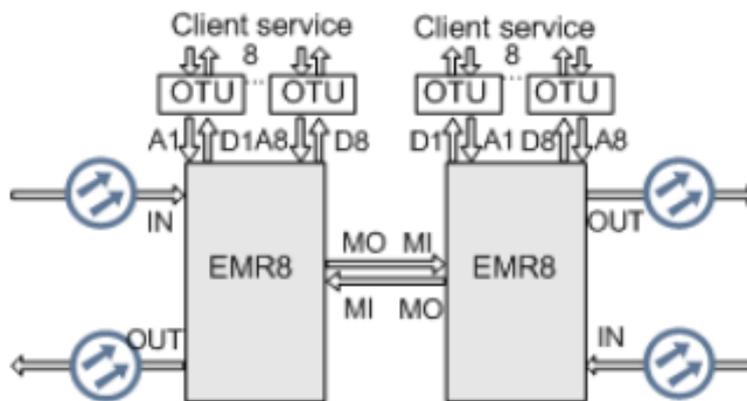


Apariencia física OSN 1800V

Slot 20 (FAN)	Slot 7	Slot 14
	Slot 6	Slot 13
	Slot 5	Slot 12
	Slot 4	Slot 11
	Slot 16 (Control/cross-connect/clock integrated board)	
	Slot 15 (Control/cross-connect/clock integrated board)	
	Slot 3	Slot 10
	Slot 2	Slot 9
	Slot 1	Slot 8
	Slot 17 (PIU)	Slot 18 (PIU)

Distribución de slot chasis de Corriente Directa

Anexo G: Especificaciones técnicas de la Tarjeta Tarjeta EMR8 de Huawei.

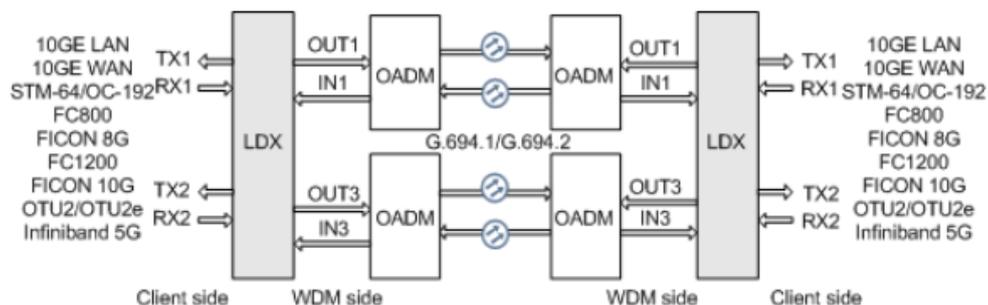


Vista frontal de la tarjeta EMR8 y aplicación en sistema DWDM

Puerto óptico	Tipo de puerto	Función
IN/OUT	LC	Recibe o transmite la señal multiplexada.
A1 to A8	LC	Recibe las señales ópticas de la OTU o del equipo integrado del lado del cliente.
D1 to D8	LC	Transmite señales ópticas a la OTU o al equipo integrado del lado del cliente.
MI/MO	LC	Puertos de entrada / salida en cascada; utilizado para concatenar otras tarjetas OADM, implementar la adición / eliminación de otros canales en la señal multiplexada.

Funciones de las interfaces EMR8

Anexo H: Especificaciones técnicas de la Tarjeta LDX de Huawei.

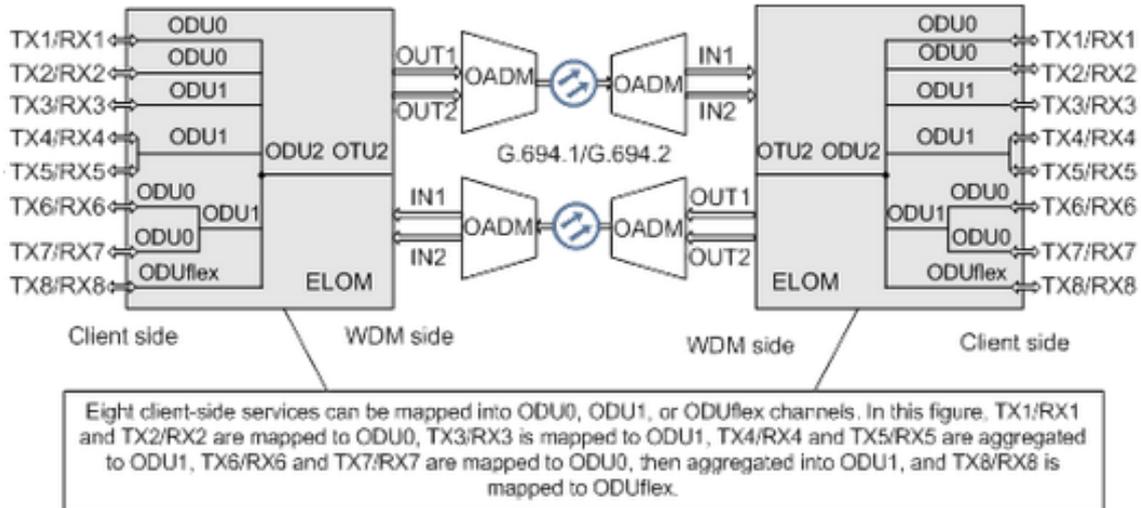


Vista frontal de la tarjeta LDX y aplicación en un sistema DWDM

Puerto	Tipo de puerto	Función	Cable requerido	Observaciones
TX1/RX1	LC	Transmite / recibe señales de servicio del lado del cliente.	Conectores	El puerto TX1 / RX1 corresponde a los puertos IN1 / OUT1 y IN2 / OUT2, pueden usarse para implementar la alimentación dual y la recepción selectiva de una señal del lado WDM.
IN1/OUT1	LC	Recibe / transmite la señal a través del canal de trabajo de la tarjeta multiplexora de adición / extracción óptica en el equipo WDM.		
IN2/OUT2	LC	Recibe / transmite la señal a través del canal de protección de la tarjeta multiplexora de adición / extracción óptica en el equipo WDM.		
TX2/RX2	LC	Transmite / recibe señales de servicio del lado del cliente.	Conectores	El puerto TX2 / RX2 corresponde a los puertos IN3 / OUT3 e IN4 / OUT4, pueden utilizarse para implementar la alimentación dual y la recepción selectiva de una señal del lado WDM.
IN3/OUT3	LC	Recibe / transmite la señal a través del canal de trabajo de la tarjeta multiplexora de adición / extracción óptica en el equipo WDM.		
IN4/OUT4	LC	Recibe / transmite la señal a través del canal de protección de la tarjeta multiplexora de adición / extracción óptica en el equipo WDM.		

Funciones de las interfaces de la tarjeta LDX

Anexo I: Especificaciones técnicas de la Tarjeta ELOM de Huawei.



Vista frontal de la tarjeta ELOM y aplicación en un sistema DWDM

Puerto	Tipo de Puerto	Función
IN1/OUT1 to IN2/OUT2	LC	Conectada a la tarjeta OADM para la Rx/Tx de la señal WDM
TX1/RX1 to TX8/RX8	LC (Puertos ópticos) RJ45 (Puertos eléctricos)	Tx/Rx de las señales de servicio provenientes del lado cliente

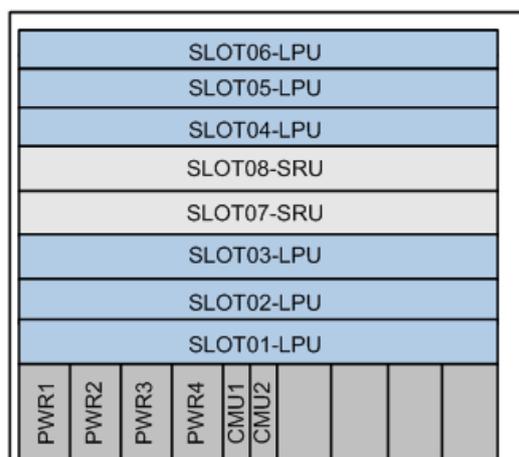
Funciones de las interfaces de la ELOM

Anexo J: Especificaciones técnicas del conmutador S9306E de Huawei.

- Altura de 10 U (1 U = 44,45 mm).
- Dimensiones son 442 mm x 489 mm x 441.7 mm (W x D x H), sin bastidor de administración de cable.
- Dimensiones son 442 mm x 585 mm x 441.7 mm (W x D x H), con bastidores de gestión de cables.
- Proporciona 6 ranuras LPU.
- 2 ranuras SRU.
- 2 ranuras CMU.
- 4 ranuras de fuente de alimentación.



Apariencia física S9306E



Distribución de slots S9306E

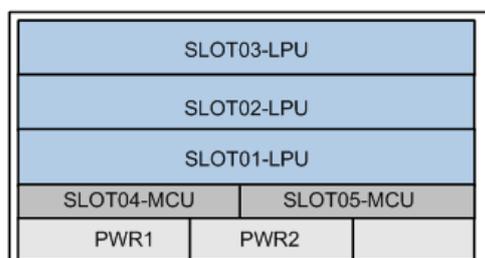
Tipo de ranura	ID de ranura	Módulo soportado	Observaciones
Ranura MPU	SLOT07 and SLOT08	MPUs	Las SRU funcionan en modo activo / en espera.
Ranura LPU	SLOT01 to SLOT06	100M Interface Card 1000M Interface Card GE/10GE Interface Card 10GE Interface Card 40GE Interface Card 40GE/100GE Interface Card 100GE Interface Card	NOTA: Las tarjetas soportadas por un interruptor dependen de la versión del software.
Ranura de alimentación	PWR1 a PWR4	módulos de potencia	
Ranura CMU	CMU1 and CMU2	LE0DCMUA0000	Las CMU funcionan en modo activo / en espera.
Ranura de módulo de ventilador	FAN1, FAN2	Módulo de ventilador	

Anexo K: Especificaciones técnicas del conmutador S9303 de Huawei.

- El chasis S9303E tiene 4 U de altura (1 U = 44,45 mm).
- Dimensiones: 442 mm x 489 mm x 175 mm (W x D x H), cuando el chasis no tiene instalado un bastidor de administración de cables.
- Dimensiones: 442 mm x 585 mm x 175 mm (W x D x H), cuando el chasis tiene instalados bastidores de administración de cables.
- Proporciona 3 ranuras LPU.
- 2 ranuras MCU.
- 2 ranuras de fuente de alimentación.



Apariencia física S9303E



Distribución de slots S9303E

Tipo de ranura	ID de ranura	Módulo soportado	Observaciones
Ranura MCU	SLOT04 and SLOT05	MPUs	Las MCU funcionan en modo activo / en espera.
Ranura LPU	SLOT01 to SLOT03	100M Interface Card 1000M Interface Card GE/10GE Interface Card 10GE Interface Card 40GE Interface Card 40GE/100GE Interface Card 100GE Interface Card	NOTA: Las tarjetas soportadas por un interruptor dependen de la versión del software. Para más detalles, ver Tarjetas.
Ranura de alimentación	PWR1 and PWR2	módulos de potencia	
Ranura de módulo de ventilador	FAN1	Módulo de ventilador	

Anexo L: Configuraciones eNSP

[Jobabo] display ospf peer

(M) Indicates MADJ neighbor

OSPF Process 1 with Router ID 5.5.5.5
Neighbors

Area 0.0.0.0 interface 10.1.1.13 (Eth1/0/2)'s neighbors

Router ID: 4.4.4.4 Address: 10.1.1.14
State: Full Mode: Nbr is Slave Priority: 1
DR: 10.1.1.14 BDR: 10.1.1.13 MTU: 0
Dead timer due in 40 sec
Retrans timer interval: 5
Neighbor is up for 00h00m25s
Neighbor Up Time: 2019-12-07 11:18:04
Authentication Sequence: [0]

Area 0.0.0.0 interface 10.1.1.10 (Eth1/0/4)'s neighbors

Router ID: 12.12.12.12 Address: 10.1.1.9
State: Full Mode: Nbr is Master Priority: 1
DR: 10.1.1.9 BDR: 10.1.1.10 MTU: 0
Dead timer due in 37 sec
Retrans timer interval: 5
Neighbor is up for 01h11m30s
Neighbor Up Time: 2019-12-07 10:07:00
Authentication Sequence: [0]

[Jobabo]

[Jobabo]

[Jobabo] display ip routing-table

Route Flags: R - relay, D - download to fib, T - to vpn-instance, B - black hole router

Routing Table: _public_

Destinations: 26 Routes : 27

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
2.2.2.2/32	OSPF	10	2	D	10.1.1.9	Ethernet1/0/4
3.3.3.3/32	OSPF	10	2	D	10.1.1.14	Ethernet1/0/2
4.4.4.4/32	OSPF	10	1	D	10.1.1.14	Ethernet1/0/2
5.5.5.5/32	Direct	0	0	D	127.0.0.1	LoopBack0
7.7.7.7/32	OSPF	10	2	D	10.1.1.9	Ethernet1/0/4
8.8.8.8/32	OSPF	10	3	D	10.1.1.9	Ethernet1/0/4
10.1.1.0/30	OSPF	10	3	D	10.1.1.9	Ethernet1/0/4
10.1.1.8/30	Direct	0	0	D	10.1.1.10	Ethernet1/0/4
10.1.1.10/32	Direct	0	0	D	127.0.0.1	Ethernet1/0/4
10.1.1.11/32	Direct	0	0	D	127.0.0.1	Ethernet1/0/4
10.1.1.12/30	Direct	0	0	D	10.1.1.13	Ethernet1/0/2
10.1.1.13/32	Direct	0	0	D	127.0.0.1	Ethernet1/0/2
10.1.1.15/32	Direct	0	0	D	127.0.0.1	Ethernet1/0/2
10.1.1.16/30	OSPF	10	2	D	10.1.1.14	Ethernet1/0/2
10.1.1.20/30	OSPF	10	3	D	10.1.1.9	Ethernet1/0/4
10.1.1.24/30	OSPF	10	2	D	10.1.1.9	Ethernet1/0/4
10.1.1.28/30	OSPF	10	2	D	10.1.1.9	Ethernet1/0/4
10.1.1.32/30	OSPF	10	3	D	10.1.1.9	Ethernet1/0/4
10.1.1.36/30	OSPF	10	4	D	10.1.1.9	Ethernet1/0/4
10.10.10.10/32	OSPF	10	3	D	10.1.1.9	Ethernet1/0/4
12.12.12.12/32	OSPF	10	1	D	10.1.1.9	Ethernet1/0/4

```

127.0.0.0/8      Direct 0    0    D    127.0.0.1    InLoopBack0
127.0.0.1/32    Direct 0    0    D    127.0.0.1    InLoopBack0
127.255.255.255/32 Direct 0    0    D    127.0.0.1    InLoopBack0
172.16.33.0/30  OSPF  10    2    D    10.1.1.9     Ethernet1/0/4
255.255.255.255/32 Direct 0    0    D    127.0.0.1    InLoopBack0

```

```

[Jobabo]
[Jobabo]

```

```

[Jobabo]
[Jobabo] display current-configuration interface Ethernet 1/0/0

```

```

#
interface Ethernet1/0/0
 portswitch
 description Conectividad Empresa
 undo shutdown
 port link-type trunk
 port trunk allow-pass vlan 200
 undo dcn
 undo dcn mode vlan

```

```

#
return
[Jobabo]
[Jobabo]

```

```

[SW Metro LT]
[SW Metro LT] display current-configuration interface Ethernet1/0/6.200

```

```

#
interface Ethernet1/0/6.200
 description Conectividad Empresa
 vlan-type dot1q 200
 l2 binding vsi vlan100_Conectividad_Empresa

```

```

#
return
[SW Metro LT]

```

```

[SW Metro LT]
[SW Metro LT] display vpls connection

```

```

1 total connections,
connections: 1 up, 0 down, 1 ldp, 0 bgp, 0 bgpad
VSI Name: 555                               Signaling: ldp
VsiID   EncapType   PeerAddr   InLabel   OutLabel   VCState
100     vlan           31.31.31.31 48001     48000     up

```

```

[SW Metro LT]
[SW Metro LT]

```

```

[Jobabo]
[Jobabo] display vsi name vlan100_Conectividad_Empresa

```

```

-----
Vsi          Mem   PW   Mac   Encap   Mtu   Vsi
Name         Disc  Type Learn  Type   Value State
-----
vlan100_Conectividad_Empresa  --ldp  unqualify vlan 1500 up

```

```

[Jobabo]
[Jobabo]

```

[Jobabo] display mpls ldp peer

LDP Peer Information in Public network

An asterisk (*) before a peer means the peer is being deleted.

```
-----
```

<u>PeerID</u>	<u>TransportAddress</u>	<u>DiscoverySource</u>
<u>4.4.4.4:0</u>	4.4.4.4	<u>Ethernet1/0/2</u>
<u>12.12.12.12:0</u>	12.12.12.12	<u>Ethernet1/0/4</u>

```
-----
```

TOTAL: 2 Peer(s) Found.

[Jobabo]

[Jobabo]

Display interface Eth-trunk: En este caso el eth-trunk está configurado entre el conmutador metro de las Tunas y el S9306 de la red IP/MPLS.

[SW Metro LT]

[SW Metro LT]

[SW Metro LT] display eth-trunk 1

Eth-Trunk1's state information is:

WorkingMode: NORMAL Hash arithmetic: According to flow
Least Active-linknumber: 1 Max Bandwidth-affected-linknumber: 16
Operate status: up Number Of Up Port In Trunk: 2

```
-----
```

<u>PortName</u>	<u>Status</u>	Weight
<u>interface Ethernet0/0/4</u>	<u>Up</u>	1
<u>interface Ethernet0/0/6</u>	<u>Up</u>	1

[SW Metro LT]

[SW Metro LT]

[SW Metro LT]

[SW Metro LT]

[SW Metro LT] display interface Eth-Trunk1

Eth-Trunk1 current state: UP

Line protocol current state: UP

Description:

Switch Port, PVID: 1, TPID: 8100(Hex), Hash arithmetic: According to flow,

Maximal BW: 2G, Current BW: 2G, The Maximum Transmit Unit is 1500

Internet protocol processing: disabled

IP Sending Frames' Format is PKTFMT_ETHNT_2, Hardware address is 5489-98a3-7e21

Physical is ETH_TRUNK

Current system time: 2019-12-02 11:22:28-08:00

Last 300 seconds input rate 398912 bits/sec, 33 packets/sec

Last 300 seconds output rate 394784 bits/sec, 33 packets/sec

Realtime 6 seconds input rate 798520 bits/sec, 66 packets/sec

Realtime 6 seconds output rate 745328 bits/sec, 62 packets/sec

Input: 25291 packets, 37732450 bytes

25288 unicast, 3 broadcast, 0 multicast

0 errors, 0 unknownprotocol

Output: 24714 packets, 36860932 bytes

24713 unicast, 1 broadcast, 0 multicast

0 errors

Input bandwidth utilization: 0.01%

Output bandwidth utilization: 0.01%

```
-----
```

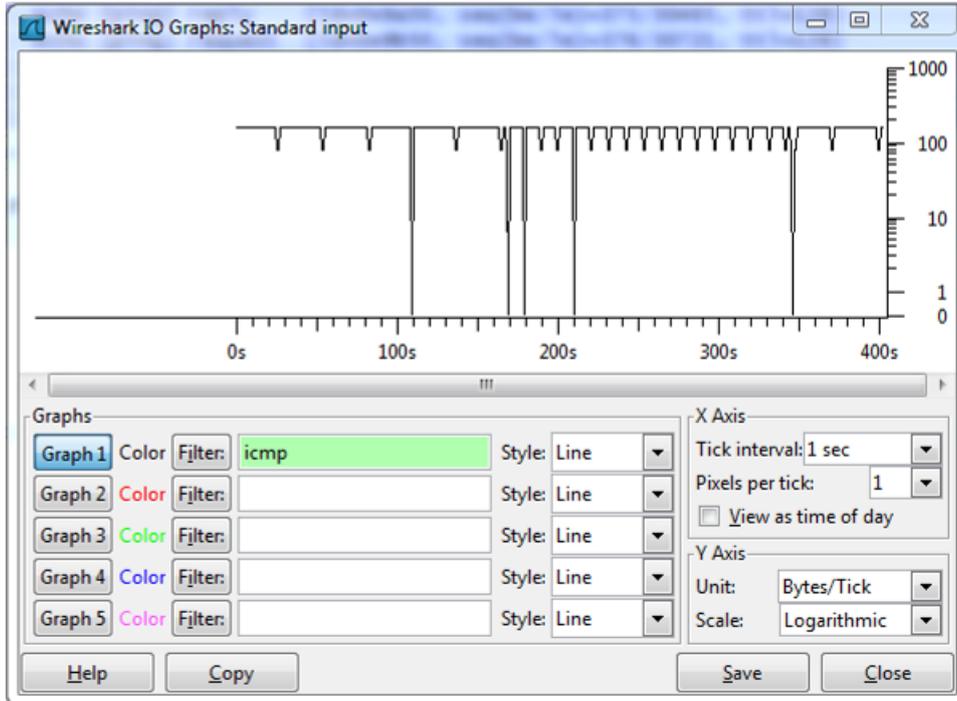
<u>PortName</u>	<u>Status</u>	Weight
-----------------	---------------	--------

```
-----
```

```
interface Ethernet0/0/4      Up      1
interface Ethernet0/0/6      Up      1
```

The Number of Ports in Trunk: 2
The Number of UP Ports in Trunk: 2
[SW Metro LT]
[SW Metro LT]

Prueba Corte Físico



Anexo M: Datos Técnicos del Equipo EXPO FTB-1

SPECIFICATIONS ^a	FTB-1v2	FTB-1 PRO
Mainframe	Dual-core processor/4 GB RAM/Windows 10	Quad-core processor/4 GB RAM/Windows 10
Display	Multitouch, wide-screen, color, 1280 x 800 TFT 203 mm (8 in)	Multitouch wide-screen, color, 1280 x 800 TFT 203 mm (8 in)
Interfaces	RJ45 LAN 10/100/1000 Mbit/s Two USB 2.0 ports One USB 3.0 port Micro SD card slot 3.5 mm headset/microphone port	RJ45 LAN 10/100/1000 Mbit/s Two USB 2.0 ports One USB 3.0 port Micro SD card slot 3.5 mm headset/microphone port
Storage	64 GB internal memory (flash)	128 GB internal memory (flash)
Battery	Rechargeable Li-ion smart battery	Rechargeable Li-ion smart battery (Two batteries with the high-power dual carrier)
Power supply	AC/DC adapter, input: ~ 100 – 240 V; 50/60 Hz; 2.5 A max, output: --- 24 V; 3.75 A	AC/DC adapter, input: ~ 100 – 240 V; 50/60 Hz; 2.5 A max, output: --- 24 V; 3.75 A With high-power dual carrier AC/DC adapter, input: ~ 100 – 240 V; 50/60 Hz; 4.0 A max, output: --- 24 V; 8.33 A

GENERAL SPECIFICATIONS		
Size (H x W x D)	With single-depth module back / With single carrier With double-depth module back / With dual carrier With high-power dual carrier	210 mm x 254 mm x 66 mm (8 ¼ in x 10 in x 2 ¾ in) 210 mm x 254 mm x 96 mm (8 ¼ in x 10 in x 3 ¾ in) 210 mm x 254 mm x 122 mm (8 ¼ in x 10 in x 4 ¾ in)
Weight (with battery) ^a	With single carrier With dual carrier With high-power dual carrier	1.5 kg (3.3 lb) 2.0 kg (4.3 lb) 2.4 kg (5.2 lb) 3.2 kg (7.1 lb)
Temperature	Operation Storage	0 °C to 50 °C (32 °F to 122 °F) –40 °C to 70 °C (–40 °F to 158 °F) ^b
Relative humidity		0 % to 95 % non-condensing

BUILT-IN POWER METER SPECIFICATIONS (GEX) (OPTIONAL) ^d	
Calibrated wavelengths (nm)	850, 1300, 1310, 1490, 1550, 1625, 1650
Optional CWDM calibrated wavelengths (nm)	1270, 1290, 1310, 1330, 1350, 1370, 1390, 1410, 1430, 1450, 1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610, 1383 and 1625
Power range (dBm)	Typical 27 to –50
Uncertainty (%) ^{e,f}	±5 % ± 10 nW
Display resolution (dB)	0.01 = max to –40 dBm 0.1 = –40 dBm to –50 dBm

Anexo N: Resumen de tiempo de los parámetros medidos

SUMMARY

Results Summary

Test Status	
Throughput	Completed 00d:00:02:37
Back-to-Back	Completed 00d:00:01:37
Frame Loss	Completed 00d:00:02:54
Latency	Completed 00d:00:01:36
Pass/Fail Verdict	PASS
Start Time	2/1/2019 11:45:49 AM
Test Recovery	0

RFC 2544

Pass/Fail Verdict	
Throughput	PASS
Back-to-Back	PASS
Frame Loss	PASS
Latency	PASS

Throughput (Mbit/s)						
	Layer					
	All		Ethernet		IP	
	L->R	R->L	L->R	R->L	L->R	R->L
68	1000.000	1000.000	772.727	772.727	522.727	522.727
128	1000.000	1000.000	864.864	864.864	716.216	716.216
256	1000.000	1000.000	927.536	927.536	847.826	847.826
512	1000.000	1000.000	962.406	962.406	921.052	921.052
1024	1000.000	1000.000	980.842	980.842	959.770	959.770
1280	1000.000	1000.000	984.615	984.615	967.692	967.692
1518	1000.000	1000.000	986.996	986.996	972.691	972.691

Back-to-Back (Mbit/s)						
	Layer					
	All		Ethernet		IP	
	L->R	R->L	L->R	R->L	L->R	R->L
68	1000.000	1000.000	772.727	772.727	522.727	522.727
128	1000.000	1000.000	864.864	864.864	716.216	716.216
256	1000.000	1000.000	927.536	927.536	847.826	847.826
512	1000.000	1000.000	962.406	962.406	921.052	921.052
1024	1000.000	1000.000	980.842	980.842	959.770	959.770
1280	1000.000	1000.000	984.615	984.615	967.692	967.692
1518	1000.000	1000.000	986.996	986.996	972.691	972.691

	Frame Loss (%)		Round-Trip Latency (ms, Cut Through Mode)
	(100.0000 % Step)	(100.0000 % Step)	
	L->R	R->L	
68	0.000	0.000	0.25093
128	0.000	0.000	0.25242
256	0.000	0.000	0.25340
512	0.000	0.000	0.26014
1024	0.000	0.000	0.27125
1280	0.000	0.000	0.27274
1518	0.000	0.000	0.27681