



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica

Diseño e implementación de una arquitectura SR-V6

en la red de acceso para el transporte de servicios

móviles en la Región Tumbes

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

AUTOR

Rolando BECERRA RAMIREZ

ASESOR

Angel Orlando SUMOSO HUAMAN

Lima, Perú

2024



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

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

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

Referencia bibliográfica

Becerra, R. (2024). *Diseño e implementación de una arquitectura SR-V6 en la red de acceso para el transporte de servicios móviles en la Región Tumbes*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Rolando Becerra Ramirez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73668603
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Angel Orlando Sumoso Huaman
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06842634
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8801-5685
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Oscar Armando Casimiro Pariasca
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06592392
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Luis Mark Rudy Ponce Martínez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08117818
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Daniel Diaz Ataucuri
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07139361
Datos de investigación	
Línea de investigación	No aplica
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica

Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: La Victoria
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2022-2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de sistemas y comunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.04 Telecomunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05



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



ACTA DE SUSTENTACIÓN TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

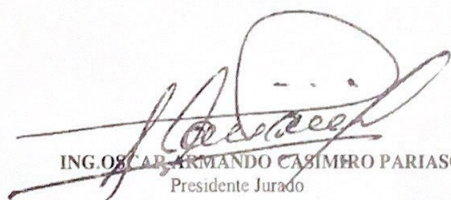
ACTA N°044/FIEE-CTGT/2024

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 04 de junio del 2024, como presidente de Jurado el **ING. OSCAR ARMANDO CASIMIRO PARIASCA**, integrado por el Miembro de Jurado el **MG. DANIEL DIAZ ATAUCURI**, el Miembro de Jurado **DR. LUIS MARK RUDY PONCE MARTÍNEZ** y Miembro Asesor el **ING. ANGEL ORLANDO SUMOSO HUAMAN**.

Después de escuchar la Sustentación Presencial del Trabajo de Suficiencia Profesional del Bachiller **ROLANDO BECERRA RAMIREZ** con código N° 14190073 que para optar el Título Profesional de Ingeniero Electrónico sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ARQUITECTURA SR-V6 EN LA RED DE ACCESO PARA EL TRANSPORTE DE SERVICIOS MOVILES EN LA REGION DE TUMBES**.

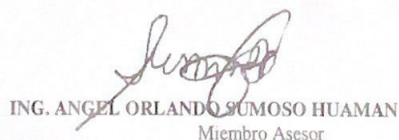
El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió otorgarle el calificativo de ...*Deficiente*... (I.B.)...

Ciudad Universitaria, 04 de junio del 2024


ING. OSCAR ARMANDO CASIMIRO PARIASCA
Presidente Jurado


DR. LUIS MARK RUDY PONCE MARTÍNEZ
Miembro Jurado


MG. DANIEL DIAZ ATAUCURI
Miembro Jurado


ING. ANGEL ORLANDO SUMOSO HUAMAN
Miembro Asesor



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

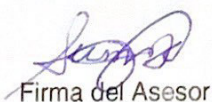
Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo ING. ANGEL ORLANDO SUMOSO HUAMAN mi condición de asesor acreditado con el Acta de Sustentación de Trabajo de Suficiencia Profesional: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA ARQUITECTURA SR-V6 EN LA RED DE ACCESO PARA EL TRANSPORTE DE SERVICIOS MOVILES EN LA REGION TUMBES** presentado por el bachiller **ROLANDO BECERRA RAMIREZ**, para optar al título profesional de Ingeniero Electrónico. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 11% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**. Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del grado correspondiente.



Firma del Asesor

DNI: 06842634

Nombres y apellidos del asesor

Ing. Angel Orlando Sumoso Huaman

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por el esfuerzo realizado para inculcar la cultura de la educación en la vida de mi hermano y la mía.

“I learned very early the difference between knowing the name of something and knowing something.”

— **Richard P. Feynman**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a los profesores de la facultad de Ingeniería Electrónica de la universidad que apoyaron con sus conocimientos a la apertura de nueva información necesaria para el inicio de mi carrera profesional.

RESUMEN

La creciente demanda de tráfico móvil trae consigo retos para optimizar la red de acceso, agregación y core de los proveedores ISP. Mediante técnicas de ingeniería de tráfico MPLS se ha afrontado los escenarios de latencia, pérdida de paquetes y *jitter* en los últimos 5 años. Sin embargo la introducción de nuevas tecnologías (5G, servicios en la nube) requiere la implementación de nuevas soluciones a nivel IP. Es allí donde se propone la solución SR-V6 (Segment Routing V6) para la optimización de escenarios de alta capacidad de tráfico y una configuración escalable para soluciones específicas de usuario (reservas de recursos de capacidad, alta redundancia, automatización de trayectorias de tráfico), implicando consigo la transición a IPv6 requerida en las redes modernas.

En este proyecto se aborda la planificación de la arquitectura Segment Routing V6 Best Effort en la red de acceso establecido en la región de Tumbes de un proveedor ISP. Se realiza el diseño y comparativa con el escenario Legacy IP-MPLS analizando los beneficios y retos que tiene esta nueva arquitectura para la red móvil (4G/ 5G NSA). Finalmente se realiza el estudio de los resultados obtenidos en la implementación de este escenario en la región.

.

Palabras claves: IPv6, MPLS, segment routing, SDN, latencia

ABSTRACT

The growing demand for mobile traffic brings with it challenges to optimize the access, aggregation and core network of ISP providers. Through MPLS traffic engineering techniques, latency, packet loss and jitter scenarios have been faced in the last 5 years. However, the introduction of new technologies (5G, cloud services) requires the implementation of new solutions at the IP level. It is there where the SR-V6 (Segment Routing V6) solution is proposed for the optimization of high traffic capacity scenarios and a scalable configuration for user-specific solutions (capacity resource reservations, high redundancy, traffic path automation), implying the transition to IPv6 required in modern networks.

This project addresses the planning of the Segment Routing V6 Best Effort architecture in the access network established in the Tumbes region of an ISP provider. The design and comparison with the Legacy IP-MPLS scenario is carried out, analyzing the benefits and challenges of this new architecture for the mobile network (4G/ 5G NSA). Finally, the study of the results obtained in the implementation of this scenario in the region is carried out.

Keywords: IPV6, MPLS, segment routing, SDN, latency

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
TABLA DE CONTENIDO	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD	4
2.1 Institución – Actividad que desarrolla	4
2.2 Periodo de duración de la actividad.....	4
2.3 Finalidad y objetivos de la entidad.....	4
2.4 Razón social	5
2.5 Dirección postal	5
2.6 Correo electrónico del profesional a cargo.	5
CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	6
3.1 Organización de la actividad.....	6
3.2 Finalidad y objetivos de la Actividad	7
3.2.1 Finalidad	7
3.2.2 Objetivos.....	7
3.3 Problemática.....	8
3.3.1 Problema General.....	8
3.3.2 Problemas Específicos	8
3.3.3 Justificación e importancia de la investigación.....	8
3.4 Metodología.....	11
3.4.1 Bases teóricas	13
3.4.2 Marco conceptual.....	16
3.5 Procedimiento.....	29
3.5.1 Dimensionamiento del escenario SRV6 Tumbes.....	29

3.5.2	Implementacion del escenario SRv6.....	33
3.6	Resultados.....	37
3.6.2	Validacion a través de SDN (Gestor).....	37
3.7	Resultado de la actividad.....	39
3.7.1	Presentación de Resultados	39
3.7.2	Discusión de Resultados	47
CAPITULO IV: CONCLUSIONES		49
4.1	Justificación	49
4.1.1	Evaluación económica	49
4.2	Conclusiones	51
CAPITULO V: RECOMENDACIONES.....		52
CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA		53
ANEXO N° 01		54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metodología.....	11
Figura 2. Porcentaje Hogares en Tumbes con acceso a internet.....	14
Figura 3. Porcentaje hogares con acceso a telefonía en Tumbes.....	14
Figura 4. Cabecera MPLS.....	16
Figura 5. División de una red backhaul en un ISP	18
Figura 6. Protocolos enrutamiento seamless MPLS Zona Centro.....	19
Figura 7. Implementación de túneles MPLS	20
Figura 8. Habilitación túneles VPN a través de BGP	21
Figura 9. Clasificación de segmentos	23
Figura 10. Cabecera segment routing	24
Figura 11 Segmento End-dt4 sid	25
Figura 12 Segmento End dx4 sid.....	26
Figura 13. L3VPN sobre SRv6.....	26
Figura 14. Publicación rutas SRv6	28
Figura 15. Diseño topológico Tumbes	30
Figura 16. Estimación urbana Tumbes	31
Figura 17. Visualización de equipos a través de gestor	38
Figura 18. Visualización de los puertos de un router a través del gestor	38
Figura 19. Visualización de la capacidad del router a través del gestor..	40
Figura 20. Visualización Protocolo LLDP Acceso-Agregación.....	40
Figura 21. Visualización Protocolo IPv4 OSPF-MPLS LDP Acceso-Agregación	40
Figura 22. Visualización Protocolo IPv6 ISIS Acceso - Agregación	41
Figura 23. Visualización Protocolo Segment Routing v6	42
Figura 24. Visualización Segmentos SID,Locator,ENDx,L3 VPN DT46 45	45

Figura 25. Visualización Rutas Aprendidas a través de Segment Routing asociado al servicio 4G	45
Figura 26. Visualización de alarmas y acceso al router a través del gestor.....	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación SRv6 y SR-MPLS.....	3
Tabla 2. Distribución IPv6	32
Tabla 3. Comparación Transporte MPLS LDP,SR,RSVP	35
Tabla 4 Evaluación económica.....	49

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

El auge de la demanda de la conectividad móvil presenta desafíos a las empresas ISP (Internet Service Provider) en factores como la velocidad de navegación y la calidad de servicio. Es por tanto requerido tener una red jerarquica que permita suplir estos factores y adicionar el tema de la redundancia en los elementos de la red.

Una red ISP se basa principalmente en 3 capas: red de acceso, red de agregación y red Core. Cada una de estas capas tiene como objetivo cubrir parámetros específicos para la red. El alcance del proyecto toma como énfasis la etapa de la red de acceso.

La capa de red de acceso se define como la parte de la infraestructura de la red de comunicaciones que conecta a los usuarios finales con la red interna del ISP. Es común que los servicios finales de una red ISP sean OLTs, BBU's con tráfico 2G/3G/4G/5G, servicios TDD para internet fijo inalámbrico, servicios corporativos de internet y RPV (red privada virtual), equipos de gestión de las radiobases. Por tanto, al tener un amplio rango de servicios a configurar en esta capa que se requiere de una tecnología que permita disgregar el tráfico por priorización o por el comportamiento de la red de transporte.

En los últimos 15 años la tecnología aplicada por los ISP fue IP-MPLS cuya principal característica es transmitir datos bajo diferentes etiquetas. Sin embargo, a medida que la red crece y nuevos servicios emergen esta tecnología presencia ciertos desafíos como el decremento de las ventajas de reenvío de paquetes, la dificultad de la convergencia a una red basada en la nube, la dificultad de implementación entre diferentes dominios y la gestión de servicios. Adicional a esto, es inevitable pensar en el impacto que tiene el SDN en las redes y es a lo que los ISP tienen como visión a converger en corto plazo.

La tecnología SR (segment routing) divide una red en segmentos y combina caminos de ingreso sin requerir nodos de tránsito para mantener o incluso ser concientes del estado de las rutas. La optimización de la red basada en SR elimina la necesidad de reemplazar hardware en una red operativa. Los principales beneficios de esta tecnología son: un balance entre el control centralizado y la distribución de paquetes, se puede aplicar sobre protocolos existentes y permite una interacción rápida entre la red y aplicaciones de capas superiores.

Segment Routing involucra 2 planos de data: MPLS e IPV6. Cuando se aplica al plano de data MPLS se le denomina SR-MPLS y el SID es encapsulado como una etiqueta MPLS. Cuando SR es aplicado en el plano de datos IPV6 es llamado SRv6, y el SID es encapsulado como una dirección IPV6.

Con el agotamiento de las direcciones IPV4 públicas, las redes requieren migrar a IPV6, lo que conlleva a una evolución de IPV6 y un aceleramiento de desarrollo de aplicaciones basadas en SRv6.

Un factor a determinar en que tipo de Segment Routing se debe de aplicar en una red es revisar los beneficios de cada uno de las tecnologías de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1 : Comparación SRv6 y SR-MPLS

Dimensión	SRv6	SR-MPLS
Simplificación de protocolo de red	Control Plane: IPv6 IGP/BGP Data Plane: IPV6	Control Plane: IPv4/IPv6 IGP/BGP Data Plane: MPLS
Programabilidad	Flexible.El servicio orquestador puede disgregar redes y aplicaciones basados en SLAs y requerimientos de servicio	Pobre
Sinergia con una red basada en la nube	Facil	Difícil
Colaboracion del terminal	Facil. Terminales pueden soportar SRv6	Difícil. La mayoría de terminales no soportan MPLS
Desarrollo a gran escala	Facil SID usa direcciones IPV6 y son adecuados para la 3lanificación de redes de gran escala	Complejo. El espacio de los SID (etiquetas MPLS) es limitado y unificar la planificación y el mantenimiento de dispositivos es complejo.
Redundancia	Usa el protocolo TI-LFA (Topology Independent Loop-Free Alternate)	TI-LFA
Dificultad de provisionar el servicio	Puede ser implementado en la misma red operativa	Todos los dispositivos deben soportar SR-MPLS y el provisionamiento del servicio es complejo

La evolución directa de MPLS a SRv6 es recomendada ampliamente a nivel mundial. MPLS esta basado en protocolos de control IPv4 como OSPF, BGP y LDP. En contraste, SRv6 esta basado en protocolos de control IPv6 como ISISv6 y BGP4+. Las estrategias para la evolución directa deben estar determinado por los siguientes puntos:

1. La evolución de IGP IPv4 a IPv4/IPv6 dual stack.
2. La evolución de peer BGP puros a BGP/BGP4+ dual stack.
3. Tuneles que son usados para transportar servicios deben evolucionar de MPLS a SRv6 BE o SRv6 TE Policy.

CAPITULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1 Institución – Actividad que desarrolla

America Movil S.A.C (Claro Perú) es una empresa que opera principalmente en el sector TIC desde el año 2005. Tiene como misión brindar el mejor servicio y experiencia del cliente a través de las más avanzadas soluciones de comunicación, tecnología de información y contenido digital para acercar a las personas, acelerar el desarrollo de los países donde opera y promover la igualdad de oportunidades entre personas.

La sede administrativa y de operaciones principal es la siguiente:

- Av Nicolas Arriola N°480 Urb. Santa Catalina La Victoria

2.2 Periodo de duración de la actividad.

Desde enero 2022 hasta febrero 2023

2.3 Finalidad y objetivos de la entidad

Visión:

Consolidarse como un agente de cambio al proporcionar servicios de conectividad y alta tecnología; preservando nuestro liderazgo en la industria

de las telecomunicaciones y reafirmando nuestro compromiso con nuestros grupos de interés para hacer un mundo más próspero para todos.

Misión:

Brindar el mejor servicio y experiencia del cliente a través de las más avanzadas soluciones de comunicación, tecnología de información y contenido digital para acercar a las personas, acelerar el desarrollo de los países donde operamos y promover la igualdad de oportunidades entre personas.

2.4 Razón social

AMERICA MOVIL PERU S.A.

2.5 Dirección postal

Av Nicolas Arriola N°480 Urb. Santa Catalina La Victoria Lima Perú
RUC: 20467534026

2.6 Correo electrónico del profesional a cargo.

Miguel Neyra
Jefe Redes de Transporte Urbano
mneyra@claro.com.pe

CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1 Organización de la actividad

El profesional asignado al desarrollo del presente trabajo fue Rolando Becerra Ramirez, quien llevó la distribución y organización de las actividades, tomando en cuenta experiencia previa, por ejemplo:

Proyecto: Planificación Red de Acceso MPLS en un ISP

Entidad: America Movil S.A.C

Descripción: Se realizó el diseño para la optimización de la red MPLS así como de los QoS en la red de acceso IP-RAN con la finalidad de observar mejoras en los parámetros de pérdida de paquetes, jitter y latencia. Los servicios optimizados fueron los asociados a la red móvil, red corporativa y equipos de seguridad de los sitios. Esta actividad se realizó por un periodo de 24 meses.

El trabajo consta de 3 etapas: Revisión sistemática de la literatura, Evaluación de la información obtenida y propuesta de diseño, las cuales se explican a continuación y con mayor profundidad en el numeral 3.1

Revisión sistemática de la literatura

Se busca información sobre el desarrollo de las redes MPLS, SR-MPLS y SR-V6 en la región o en su defecto proyectos de distinto alcance técnico o económico que permitan desarrollar una optimización del transporte de los servicios móviles en la zona. Asimismo, se extrae información referente al estado actual de los parámetros KPI en la red de acceso previo a la

optimización de la configuración que proporcionen información para la evaluación técnica y económica.

Evaluación de la información obtenida

La información obtenida se evalúa en base a la topología actual de la red de acceso y en la topología propuesta para la evaluación de la optimización.

Propuesta de diseño

Se realiza las evaluaciones técnicas evaluando el impacto que se obtendrá así como el equipamiento requerido para la demanda del proyecto.

El proyecto estuvo supervisado por el jefe de Redes de Transporte Miguel Neyra.

3.2 Finalidad y objetivos de la Actividad

3.2.1 Finalidad

Diseñar una red SR-V6 en la red de acceso de un ISP para mejorar los parámetros de calidad de experiencia de usuario, convergencia y escalabilidad en la región de Tumbes.

3.2.2 Objetivos

- Diseñar una red IP SR-V6 para mejorar la calidad en el acceso de los servicios móviles 2G/3G/4G/5G en el departamento de Tumbes.
- Determinar el impacto de la implementación de esta optimización tanto a nivel técnico como económico
- Validar la optimización planteada, revisando los indicadores pre y post implementación de la red SR-V6.

3.3 Problemática

3.3.1 Problema General

¿Es posible optimizar la red de acceso de un ISP para mejorar los parámetros de calidad en la red móvil en la región de Tumbes?

3.3.2 Problemas Específicos

- ¿Es posible diseñar una red IP escalable para mejorar la calidad del acceso de las redes móviles 2G/3G/4G/5G y así mejorar los parámetros medidos por el ente regulador OSIPTEL?
- ¿Cómo diseñar una red IP SR-V6 y adecuarlo a la geografía de la región Tumbes para lograr un nivel de disponibilidad adecuado?
- ¿Cómo realizar la validación del diseño en la red SR-V6 implementada y como visualizar las ventajas sobre una red MPLS?

3.3.3 Justificación e importancia de la investigación

Justificación por conveniencia

La red actual MPLS cuenta con muchas limitantes para la convergencia de nuevos servicios por lo que se requiere de una mejora generacional para la aplicación de tecnologías como el 5G

Los desafíos tecnológicos y geográficos son abordados con el uso de esta tecnología que conlleva a la comparación del diseño de red anterior con el nuevo diseño planificado.

Justificación social

El acceso a Internet por medio de las redes inalámbricas permite que en las zonas rurales del Perú se logre un desarrollo económico así como una mejora en el acceso a la educación como se observó en la coyuntura de la pandemia 2020.

El presente proyecto tiene como fin presentar una manera de optimizar estos accesos mejorando la calidad de experiencia del usuario final permitiendo una disponibilidad de Internet necesaria para los objetivos de cada habitante en este caso de la Región Tumbes.

Justificación práctica

El continuo incremento de capacidad requerida en la red de los ISP para la atención de los usuarios finales se ve reflejada año a año en los reportes presentados por OSIPTEL con una media de crecimiento de tráfico de 30% desde el 2019. Esto implica una búsqueda constante tecnológica de parte del ISP para abastecer a la demanda requerida. La solución planteada en este documento presenta un inicio para la implementación en las demás regiones con el objetivo de lograr que la calidad de experiencia de los usuarios sea lo mas optima posible y hacer que el acceso a internet esté dentro de los parámetros estén dentro o incluso sobre la media que los entes nacionales e internacionales miden.

Justificación teórica

El diseño de una red SR-V6 dentro de un ISP es reciente, el desarrollo de las pruebas para el RFC se realizó en los últimos 5 años lo que hace requerido revisar la solución planteada a nivel técnico para ver el comportamiento en una red dentro de la región Tumbes y así poder replicarlo en las demás regiones del Perú.

Justificación económica

La optimización de la red actual, permite al ISP lograr una reducción en el costo operativo debido a la reducción de la operación al utilizar la función de SDN. Adicionalmente al mejorar la disponibilidad y redundancia de la red, se reduce el impacto en las horas fuera del servicio que puedan ocurrir debido a un factor físico (roturas de la planta externa) así como de factores lógicos (configuración en los router que producen bucles).

Justificación técnica

El diseño de una red IP SR-V6 implementada en una arquitectura móvil permite proveer servicios como internet, IPTV y VOIP con una mejora en la calidad de experiencia del usuario final. Esto ayudará a afianzar la implementación de esta tecnología en las redes IP de Perú permitiendo así una convergencia de la tecnología a nivel nacional. Con esto adicionalmente se puede actualizar las características que el MTC solicita a los proyectos canon y regionales para la adjudicación de los mismos.

Justificación metodológica

Este diseño relaciona la tecnología convergente IP con la realidad socio-económica que se tiene en las regiones alejadas de Lima permitiendo con esto un desarrollo de la región. Está basado en mi experiencia personal y profesional y recoge gran parte de la solución planteada para redes similares en proyectos de Asia y Europa aplicados a la geografía nacional.

3.4 Metodología

Se tiene una metodología basada en tres puntos: Revisión sistemática de la literatura, evaluación de la información obtenida y propuesta de diseño. Ver Figura 1

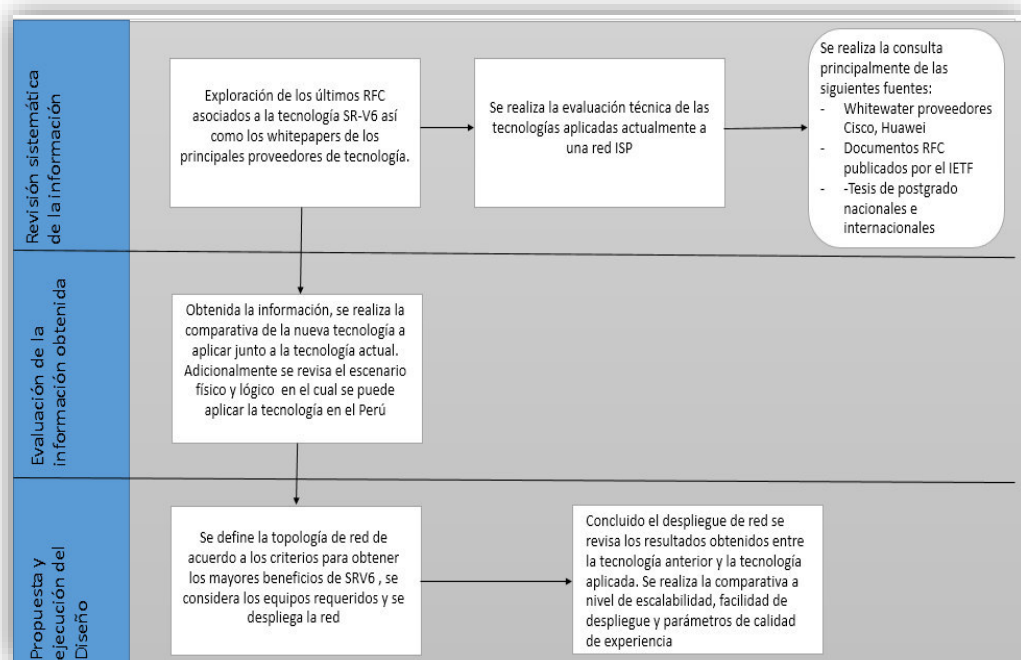


Figura 1. Metodología

Fuente: Elaboración propia

- **Revisión sistemática de la literatura**

Es necesario conocer el estado actual de la tecnología, averiguar si existen alguna actualización en las recomendaciones establecidas por los entes internacionales. Se tiene que conocer adicionalmente el desarrollo tecnológico establecido por las empresas que fabrican los chips requeridos para estas nuevas soluciones. Para contar con esta información se consultarán distintas fuentes como:

- Documentos RFC, whitepapers de los proveedores tecnológicos, tesis, papers y textos

- **Evaluación de la información obtenida**

Una vez obtenida la información necesaria, se realiza la comparación de la tecnología ampliamente usada actualmente (Seamless MPLS) con la tecnología nueva a aplicar (SR-V6). Se revisa el escenario aplicable para estas pruebas considerando la coyuntura actual del Perú.

- **Propuesta y ejecución del diseño**

El diseño de la red se realizará siguiendo los siguientes pasos, el detalle se explicará en el Capítulo IV

- Validación de parámetros requeridos en la red IP
- Diseño de la topología física y lógica de la red para la aplicación de la tecnología.
- Revisión de equipamiento requerido para la topología presentada (especificaciones técnicas de los routers a usar)
- Revisión de la configuración requerida en los equipos involucrados para la puesta en marcha de la tecnología SR-V6.

La ejecución del diseño, contempla la aplicación de la configuración de los equipos y la revisión de los protocolos entre los routers.

Se establece como meta de este documento realizar la comparativa de la red en el estado de pre configuración (tecnología MPLS) con la nueva tecnología implementada en los equipos (SR-V6). Para este trabajo se establece una migración de tecnología parcial considerando la coexistencia de ambos escenarios aplicando la preferencia sobre SR-V6. No esta dentro de los alcances realizar una configuración con la tecnología SR-MPLS.

3.4.1 Bases teóricas

Las redes de los proveedores de servicio de Internet (ISP) se basan principalmente en la técnica seamless MPLS. [1] Esta técnica extiende las características de MPLS a la red de acceso, estableciendo un LSP (label switched path) extremo a extremo, a través de la red de acceso, agregación y core. Esta técnica cuenta con varios beneficios como la posibilidad de integrar capas en una única red, facilidad de despliegue y escalabilidad media para establecer conectividad entre dos nodos extremos, sin necesidad de reconfigurar todos los equipos por donde se reenviarán los paquetes.

Se requiere conocer el estado actual de la zona identificada para la prueba: Tumbes. Se elige este departamento por las condiciones particulares que se tiene:

- Zona con una alta concentración de redes de fibra óptica en las ciudades de Zorritos, Zarumilla, Tumbes.
- Conexión a la red de Core por 2 puntos (F.O panamericana y red submarina) proporcionando una alta redundancia.
- Estadísticas del INEI que indican una alta densidad de personas con acceso a internet móvil.

11.6 TUMBES: HOGARES QUE TIENEN AL MENOS UNA COMPUTADORA Y TIENEN SERVICIO DE INTERNET, SEGÚN ÁMBITO, 2013-2021
(Porcentaje respecto del total de hogares)

Ámbito	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total país									
Computadora	32,0	32,3	32,6	33,5	33,2	33,3	32,7	33,3	33,9
Servicio de internet	22,1	23,5	23,2	26,4	28,2	29,8	35,9	38,7	48,7
Tumbes									
Computadora	30,7	32,7	34,0	29,6	32,1	29,8	29,5	20,9	28,0
Servicio de internet	18,7	21,6	24,1	22,0	22,7	21,4	32,4	29,3	47,1

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares.

Figura 2. Porcentaje Hogares de Tumbes con acceso a internet

Fuente: "INEI 2021"

11.3 TUMBES: HOGARES QUE TIENEN ACCESO A LA TELEFONÍA, 2013-2021
(Porcentaje respecto del total de hogares)

Tipo	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Solo teléfono fijo	1,2	0,4	0,8	0,2	0,4	0,4	0,6	0,1	0,0
Solo teléfono móvil	77,6	78,6	80,7	83,4	83,9	84,8	83,8	89,2	90,3
Ambos	11,6	11,5	12,3	10,3	11,0	9,2	9,0	4,3	4,8
Ninguno	9,5	9,5	6,2	6,1	4,7	5,6	6,6	6,4	4,9

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática - Encuesta Nacional de Hogares.

Figura 3. Porcentaje Hogares de Tumbes con acceso a telefonía

Fuente: "INEI 2021"

Para la convergencia de nuevos servicios especializados como el IoT (internet of things), servicios móviles 5G, VPNs de alta redundancia, se requiere de una tecnología para el transporte que mejore los desafíos que aun tiene Seamless MPLS: escalabilidad, complejidad, planificación manual para el TE (traffic engineering). Segment Routing (SR) tiene clara ventajas sobre MPLS que hace mas atractivo para el desarrollo de TE lo que permitirá una mayor diversificación en los servicios a prestar por los ISP.

A continuación, se describen los antecedentes internacionales relacionados a las redes SRv6 y los casos de aplicación.

- **Antecedentes internacionales**

- China Telecom (Sichuan) implemento una solución superpuesta SRv6, lo que redujo el tiempo de provision del servicio. Como resultado, SRv6 admitio varios escenarios incluido las líneas de empresas del gobierno y empresas privadas, transporte 5G y banda ancha domestica.

(<https://www.lighreading.com/video/video-services/huawei-helpschina-telecom-sichuan-launch-commercial-srv6-network/d/d-id/749842>)

- CERNET2 es la red nacional de educación que solo utiliza IPv6 mas grande del mundo. La universidad de Tsinghua ha desplegado SRv6 L3VPN sobre CERNET2 desde Beijing a Nanjing para proporcionar servicios L3VPN para universidades.
- Iliad: la implementación de SRv6 le permitio a Iliad construir una red que es extremadamente escalable con confiabilidad y flexibilidad mejoradas, mientras ayuda a reducir CapEx y OpEx. Para ampliar aún más los beneficios de SRv6 en toda la red, Iliad ha desarrollado su propia pila de software SRv6 que equipará su "NodeBox" de cosecha propia diseñado para agregar el tráfico de estaciones bases móviles.

(<https://newsroom.cisco.com/press-release-content?type=webcontent&articleId=1978361>)

- SoftBank Corporation: la empresa tiene como objetivo mejorar aún más la eficiencia y la funcionalidad de su red mediante la introducción de las últimas tecnologías como SRv6. Su objetivo es realizar una red móvil altamente confiable que pueda hacer frente al tráfico futuro para la era de 5G e IoT. Softbank Corporation anunció que introdujo SRv6 y comenzó operaciones a gran escala en una red comercial en abril de 2019.

(https://www.softbank.jp/corp/news/press/sbkk/2019/20190424_03/)

3.4.2 Marco conceptual

3.4.2.1 Multi-Protocol Label Switching (MPLS)

[1] MPLS es una tecnología para la creación de servicios de tunelización de datos de alto rendimiento de redes de telecomunicaciones. MPLS opera en la llamada capa 2.5, es compatible con cualquier protocolo de red de los cuales el más popular es IP. MPLS ha traído mejoras de rendimiento y nuevas capacidades de creación de servicios. Introdujo adicionalmente servicios de red privada virtual (VPN) y QoS a través de la red.

Cuando MPLS está implementado como una solución IP pura o de nivel 3, que es la más habitual, la etiqueta es un segmento de información añadido al comienzo del paquete. Los campos de la cabecera MPLS de 4 bytes, ilustrados en la Figura 2.6, son los siguientes:

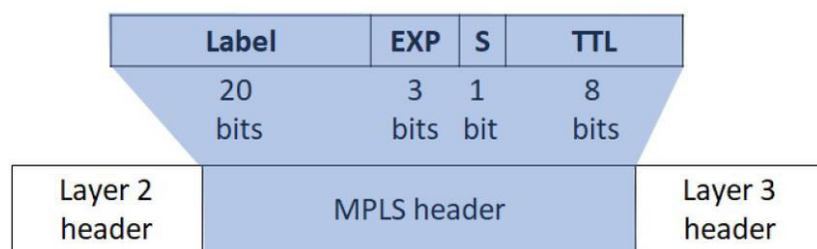


Figura 4. Cabecera MPLS

Fuente: "IETF RFC 3031"

Label (20 bits): Es el valor de la etiqueta MPLS.

Exp (3 bits); Son 3 bits usados para identificar la clase de servicio.

Stack (1 bit): Sirve para el apilado jerarquico de las etiquetas, indica si existen mas etiquetas MPLS.

TTL (8 bits): Se decrementa en cada router por donde se reenvia el paquete. Al llegar al valor de 0 el paquete se descarta.

3.4.2.2 Backhaul en Telefonía Móvil

La red backhaul de un proveedor de servicios de internet esta segmentado en 3 partes (Figura 2):

- a. RAN (radio Access network) en donde están involucrados los equipos que proporcionan el acceso a la red al usuario final, usualmente los equipos involucrados son BBU's, RRUs y antenas sectoriales.
- b. IP Backhaul: En esta parte esta involucrado el acceso, agregación y transporte para la interconexión de la RAN a la infraestructura del ISP. La interconexión IP requiere en su mayoría la comunicación entre router (hay casos en los cuales con un equipo Microondas se puede establecer sesiones LDP MPLS); para lo cual se requiere de una capa física en su mayoría fibra óptica. Se estima que en un ISP el 30% de la conexión es por medio de MW, un 65% es por medio de fibra óptica y el restante es por medio de la transmisión satelital. La red IP se basa principalmente en MPLS para la habilitación de túneles entre las capas del RAN e infraestructura. A nivel IP esta segmentado según la arquitectura Seamless MPLS (equipos de acceso, equipos de preagregación, equipos de agregación, equipos de Core). Es común usar hilos de fibra óptica oscura para la interconexión entre los router de acceso y agregación con velocidades de 10Gbps. Para la interconexión de equipos de agregación y core se usa DWDM por las prestaciones que requieren esas interconexiones (velocidades altas, interconexión en forma de anillos, convergencia entre distancias grandes)

- c. **Infraestructura Movil:** Se encarga del control de los datos recibidos de la RAN. Están involucrados distintos equipos dependiendo de los servicios que ofrece el ISP. Entre los mas comunes se tiene el BSC (controlador 2G), RNC (controlador 3G), MME (gestionador 4G), PGW (elemento para la tarificación), HSS (servidor donde se almacena los datos de los usuarios).

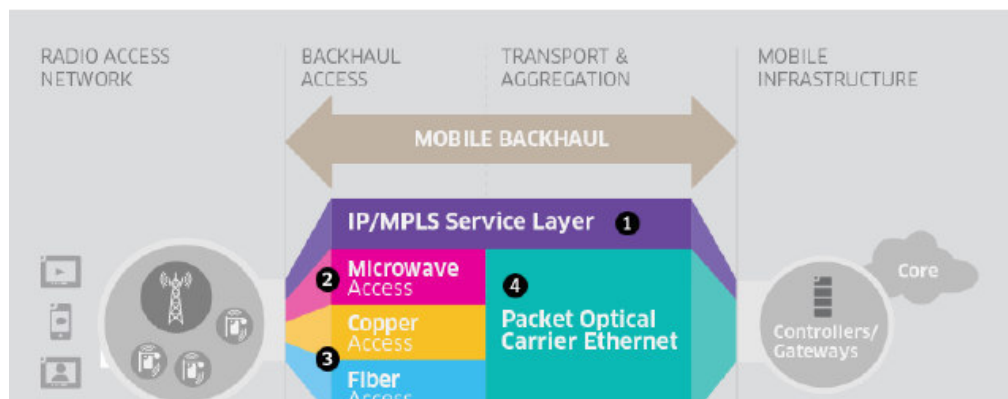


Figura 5. Division de una red backaul en un ISP

Fuente: “Alcatel Mobile backhaul Architecture”

3.4.2.3 *Seamless MPLS*

Se refiere al concepto de lograr una conectividad y entrega de servicios ininterumpidos dentro de una red MPLS. Esto implica minimizar o eliminar interrupciones durante los cambios de red, como el reenvío de tráfico debido a fallas en los enlaces o reconfiguraciones en la red. En una red ISP se usa la solución Intra-AS seamless MPLS. Esto consiste en que las capas de acceso, agregación y core están en un único sistema autónomo.

La aplicación sigue el siguiente procedimiento:

a. Implementar los protocolos de enrutamiento

Como muestra la figura 3, se requiere habilitar un protocolo IGP (usualmente puede ser OSPF o IS-IS dependiendo del diseñador de la red) en cada uno de los equipos de acceso, agregación y core.

Posteriormente se habilita los peer BGP entre los pares de equipos Acceso-Agregacion y Agregacion-Core. El equipo de agregación realizara la función de route reflector del equipo de acceso y de igual manera el equipo de Core hara la función de route reflector del equipo de agregación. Esto se realizar para reducir el numero de interconexiones lógicas entre todos los equipos involucrados.

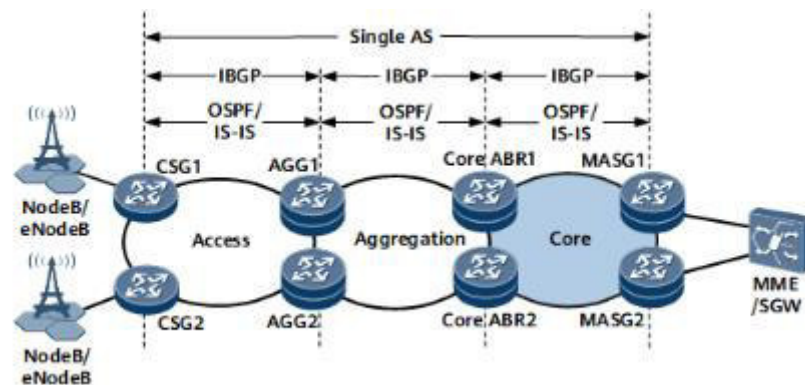


Figura 6. Protocolos Enrutamiento Seamless MPLS

Fuente: "Whitepaper Seamless MPLS Huawei"

b. Implementacion de tuneles

Como muestra la figura 7, se habilita un túnel MPLS LDP entre los equipos de cada cada área IGP. Estos equipos están habilitados para anunciar rutas etiquetadas y asignar etiquetas a rutas BGP que coincidan con una política de enrutamiento específica.

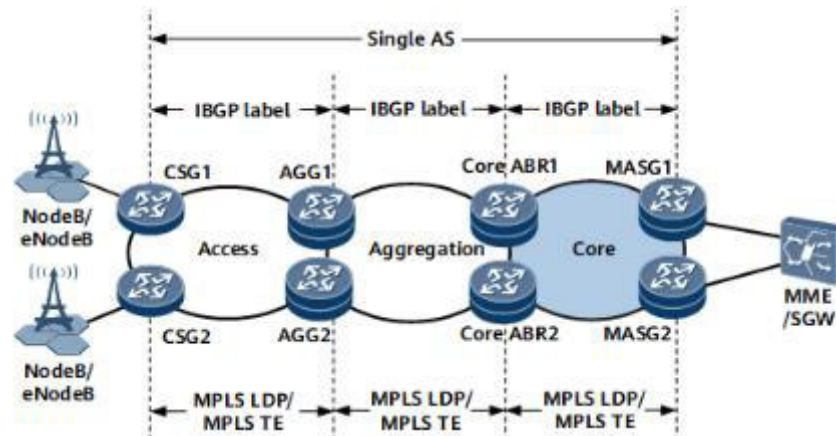


Figura 7. Implementación de túneles MPLS

Fuente: "Whitepaper Seamless MPLS Huawei"

c. Habilitación VPN

Seamless MPLS es principalmente usado para transmitir paquetes VPN. El proceso es el siguiente:

El equipo de acceso inserta una etiqueta BGP LSP y una etiqueta de túnel MPLS en secuencia en cada paquete VPN y reenvía los paquetes al equipo agregador.

El agregador elimina las etiquetas de túnel MPLS de la capa de acceso de los paquetes y cambia las etiquetas BGP LSP existentes por etiquetas nuevas. El agregador inserta una etiqueta de túnel MPLS de capa de agregación en cada paquete y luego procede a reenviar los paquetes al equipo de Core.

El equipo de Core luego elimina las etiquetas de túnel MPLS de los paquetes y cambia la etiqueta BGP LSP existente por una nueva etiqueta en cada paquete. Luego reenvía los paquetes al equipo Core central.

El equipo core central elimina las etiquetas de túnel MPLS, las etiquetas BGP LSP y las etiquetas VPN de los paquetes.

La transmisión del paquete VPN a lo largo del túnel MPLS continuo entre AS está completa.

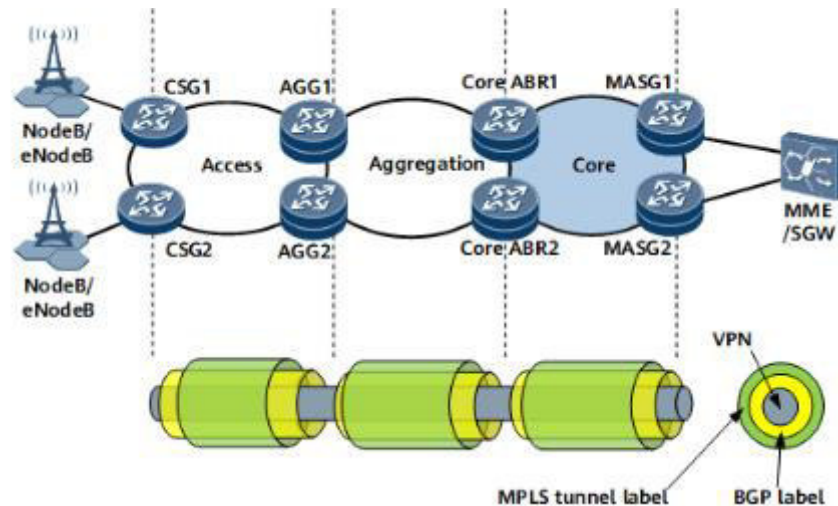


Figura 8. Habilitación túnel VPN a través de BGP

Fuente: "Whitepaper Seamless MPLS Huawei"

3.4.2.4 Segment Routing

[2] Se define como una técnica de enrutamiento en redes de comunicación donde se utilizan segmentos o identificadores para guiar el flujo de datos a través de la red. Cada segmento representa un paso específico en la ruta que el tráfico debe seguir, lo que permite mayor control y eficiencia en el enrutamiento de paquetes. Esta técnica se utiliza para optimizar la entrega de datos en redes IP y puede ser útil en escenarios de redes definidas por software (SDN).

Segment Routing divide un camino de red en varios segmentos y asigna un ID de segmento (SID) para cada segmento y nodo de reenvío. Los segmentos y nodos se organizan secuencialmente en una lista de segmentos para formar una ruta de reenvío.

Esta técnica está dividida en 2 clases: Segment Routing MPLS (SR-MPLS) basado en MPLS y Segment Routing IPv6 (SRv6) basado íntegramente en IPv6.

La clasificación de los segmentos son los siguientes:

a. Prefix Segment

Identifica el prefijo de la dirección de destino. Un IGP propaga el prefix segment a través de la red. Es identificado por un prefix SID. La generación del prefix SID es manual.

b. Adjacency Segment

Identifica una adyacencia en una red. Es propagado por un IGP. Es identificado como adjacency SID. La generación del adjacency SID es dinámica.

c. Node Segment

Identifica un nodo específico. Los segmentos del nodo son prefijos especiales del nodo. Cuando una dirección IP es configurada como un prefijo para una interfaz loopback de un nodo, el prefix SID es el node SID. La generación del node SID es manual.

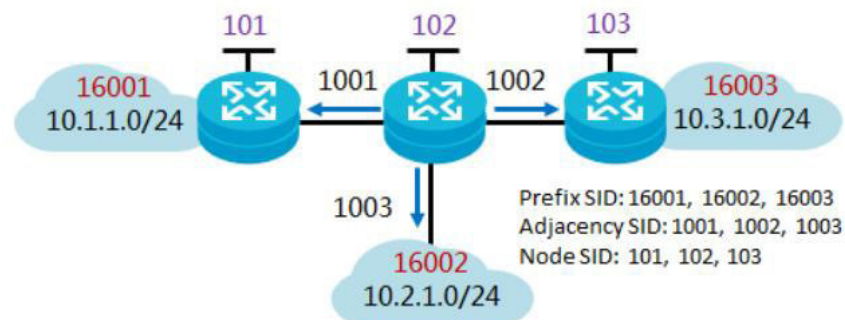


Figura 9. Clasificación de Segmentos

Fuente: "Whitepaper Seamless MPLS Huawei"

Con estos segmentos se pueden usar 3 modos para la conectividad entre equipos remotos.

a. Modo Prefix Segment-based

Usa un protocolo IGP con un algoritmo SPF (shortest path first) para analizar el camino corto. Este modo es también llamado Segment Routing Best Effort (SR-BE).

b. Modo Adjacency Segment-based

Un segmento de adyacencia es asignado para cada adyacencia en la red, una lista de segmentos con multiples adyacencias es definida en el nodo de ingreso, así el camino puede ser especificado de manera explícita. En este modo, la optimización del camino puede ser centralizado facilitando la implementación de SDN. Este modo es principalmente usado como Segment Routing Traffic Engineering (SR-TE).

c. Modo Híbrido

Los nodos pueden ejecutar SPF para analizar el camino más corto entre nodos de segmento o establecer balanceo de tráfico. En este modo los caminos no están estrictamente definidos. Es usado principalmente en SR-TE.

Las principales ventajas que ofrece Segment Routing con respecto a MPLS es la simplicidad del plano de control, una mejor escalabilidad en la ingeniería de tráfico y una convergencia a la evolución SDN.

3.4.2.5 SRv6

[3] Segment Routing IPv6 (SRv6) es una extensión de la tecnología de Segment Routing que se utiliza en redes IPv6. SRv6 aplica el enfoque de SR que permite a los diseñadores de la red definir caminos específicos para los paquetes a medida que atraviesan la red. En este escenario SRv6 permite establecer rutas específicas para los paquetes IPv6.

a. SRH

Un paquete IPv6 consiste en una cabecera IPv6, cabeceras de extensión y el payload. La cabecera de Segment Routing (Segment Routing Header SRH) es una cabecera de extensión agregada a los paquetes IPv6 para implementar

SRv6. Especifica un camino explícito y almacena lista de segmentos IPv6 similar al SR-MPLS.

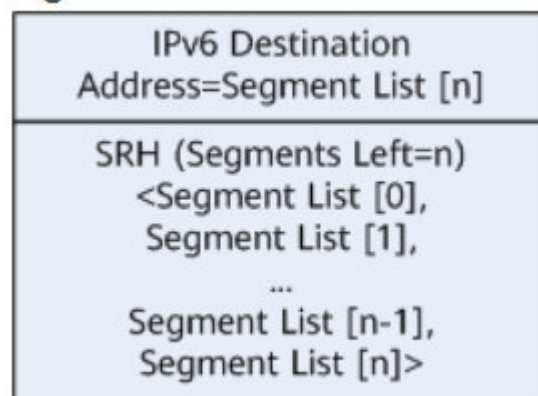


Figura 10. Cabecera Segment Routing

Fuente: "Whitepaper Seamless MPLS Huawei"

b. Segmentos SRv6

Los segmentos de SRv6 son identificados usando identificadores de segmento (SID) codificado en una dirección IPv6. Un SRv6 SID consiste en 2 partes: Locator y Function. La parte del Locator ocupa los bits más significativos mientras que la parte de Function el restante.

Cada Locator en la cabecera IPv6 actúa como un punto de referencia para indicar como se debe enrutar el paquete a lo largo de la red.

Function especifica que se debe realizar en un nodo de la red cuando un paquete IPv6 con encabezado SRv6 llega a él.

Se puede asociar a los identificadores de segmento (SID) con distintas funciones, entre las más comunes se tiene:

- End SID: Identifica al nodo de destino. Cuando un End SID es generado en un nodo, el nodo propaga el SID a los otros nodos en el dominio SRv6 a través de un protocolo IGP.
- End.X SID: Identifica al enlace de interconexión similar al adjacency SID en SR-MPLS. El nodo propaga el SID a través de un protocolo IGP en el dominio SRv6.
- End.DT4 SID: Identifica a un VPN Instance IPv4. La instrucción asociada a End.DT4 SID es para decapsular el paquete y buscar la tabla de rutas en una instancia VPN IPv4. Puede ser configurado manual o automáticamente.

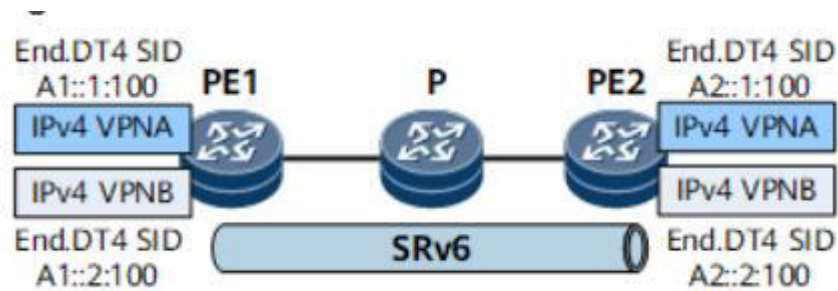


Figura 11. Segmento End-DT4 SID

Fuente: "Whitepaper Seamless MPLS Huawei"

- End.DX4 SID: Identifica a un router IPv4 que no este asociado al dominio SRv6. La instrucción desencapsula el paquete y lo reenvia como paquetes IPv4 sobre una interfaz capa 3.

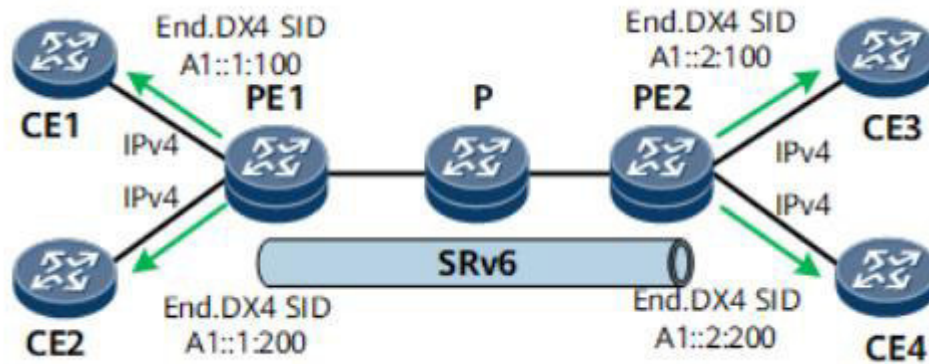


Figura 12. Segmento End-DX4 SID

Fuente: "Whitepaper Seamless MPLS Huawei"

3.4.2.6 L3VPNv4 over SRv6 BE

[4] La implementación de L3VPNv4 sobre SRv6 BE involucra establecer caminos SRv6 que publiquen rutas VPN.

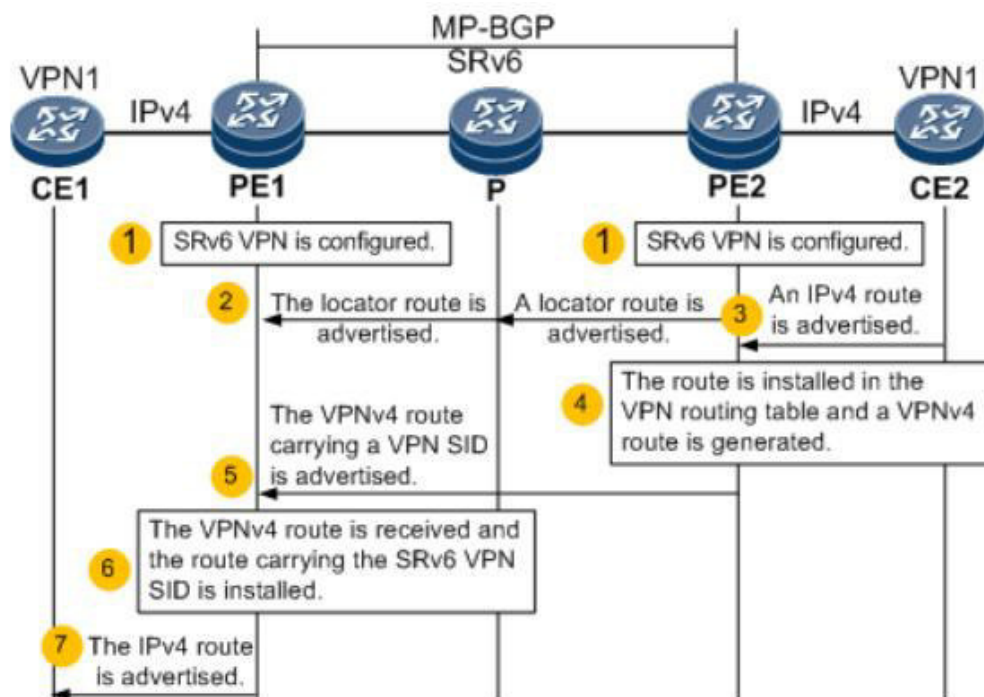


Figura 13. L3VPN sobre SRV6

Fuente: "Whitepaper Seamless MPLS Huawei"

La implementación del proceso consiste en lo siguiente:

1. Las funciones SRv6 y SRv6 VPN son configuradas en cada PE, se habilita IPv6 en cada nodo de transito.
2. PE2 publica un locator SRv6 a PE1.
3. Se publican rutas de CE2 a PE2: CE2 publica rutas IPv4 a PE2. Se configura un IGP para la comunicacion entre CE2 y PE2.
4. Despues de aprender la ruta aprendida por CE2, PE2 inserta la ruta en la tabla de rutas correspondiente a la instancia VPN y convierte la ruta a VPNv4.
5. Aprendida la ruta de PE2 a PE1: PE2 publica la ruta VPNv4 a la salida del nodo PE1 a través de MP-BGP.
6. PE1 recibe la ruta VPNv4, si el siguiente salto en la ruta VPNv4 es alcanzable.
7. PE1 publica la ruta a CE1. CE1 aprende la ruta usando un protocolo de comunicacion (OSPF, IS-IS, BGP).

Para la publicación de rutas y reenvio de datos en L3VPNv4 se sigue el siguiente procedimiento.

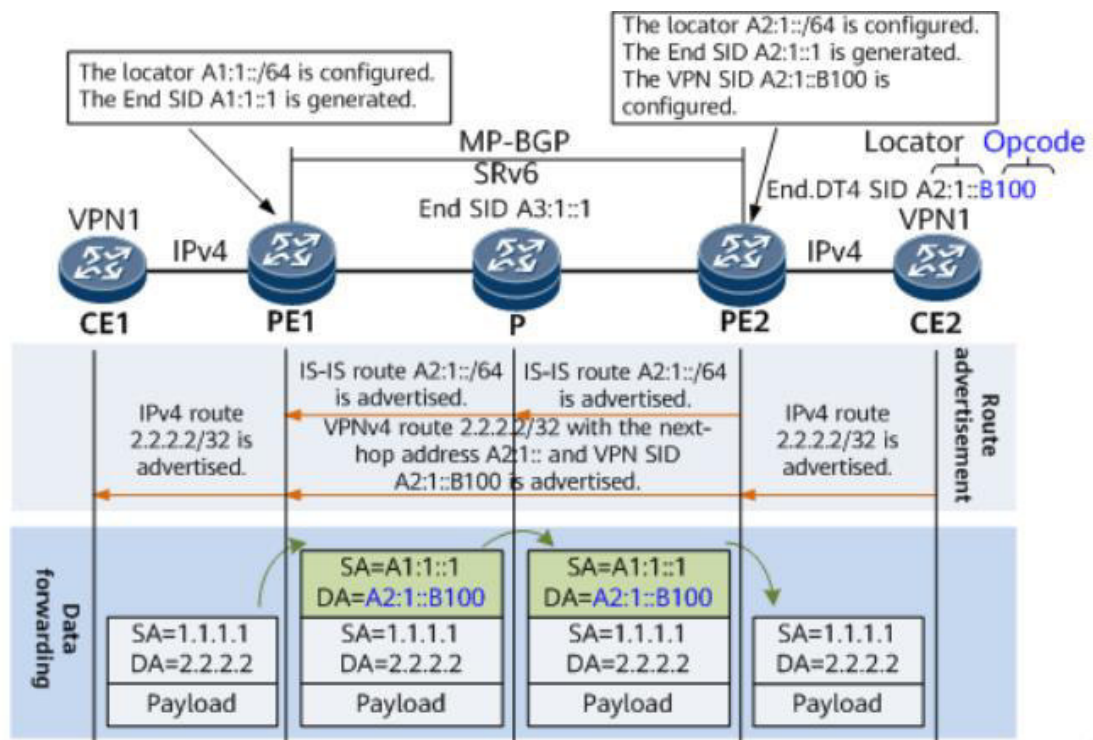


Figura 14. Publicacion de rutas SRv6

Fuente: "Whitepaper Seamless MPLS Huawei"

1. Después de que el Locator es configurado en PE2, PE2 genera un End SID y lo publica a PE1 a través de un IGP.
2. PE2 publica la ruta del locator A2:1::/64 correspondiente al SID de PE1 a través de IGP. PE1 entonces inserta la ruta en la tabla de rutas IPv6.
3. Después un VPN SID (End.DT4 SID A2:1::B100) con el rango del locator es configurado en PE2, PE2 genera una entrada local SID.
4. Después de recibir una ruta VPN IPv4 publicada por CE2, PE2 convierte la ruta a una ruta BGP VPNv4 y publicado a través de MP-BGP a PE1.
5. Después de recibir la ruta VPNv4, PE1 filtra la ruta a la correspondiente tabla de rutas correspondiente a la VPN, convirtiéndolo en una ruta IPv4 comun.

3.5 Procedimiento

3.5.1 *Dimensionamiento del escenario SRV6 Tumbes*

El dimensionamiento de la red se realiza como paso inicial para lograr la optimización del escenario planteado. En el escenario inicial se cuenta con equipos de acceso y agregación con interfaces físicas de 1Gbps, no cuentan con los chipsets requeridos para configurar Segment Routing, son integrados a la red a través de MPLS, OSPF y BGP de acuerdo a la imagen 10. De acuerdo a esto, se considera la modernización de equipos con lo requerido para habilitar Segment Routing V6 requiriendo una migración en escala con los equipos asociados a la región Tumbes.

Se requiere de 18 router de acceso 4 router de agregación para poder habilitar el escenario requerido. La distribución se da de acuerdo a la tabla 10.

Posteriormente se realiza la planificación para la asignación de recursos lógicos IPv6. Se considera las IP WAN, IP Loopback, Locator y System ID. Para este caso al asignarse recursos IPv6 los protocolos requeridos para integrar estos equipos a la red son: SRv6, IS-IS y BGP. Como última parte del dimensionamiento se revisa las características del gestor SDN requerido para la visualización, operación y mantenimiento de los equipos a implementar.

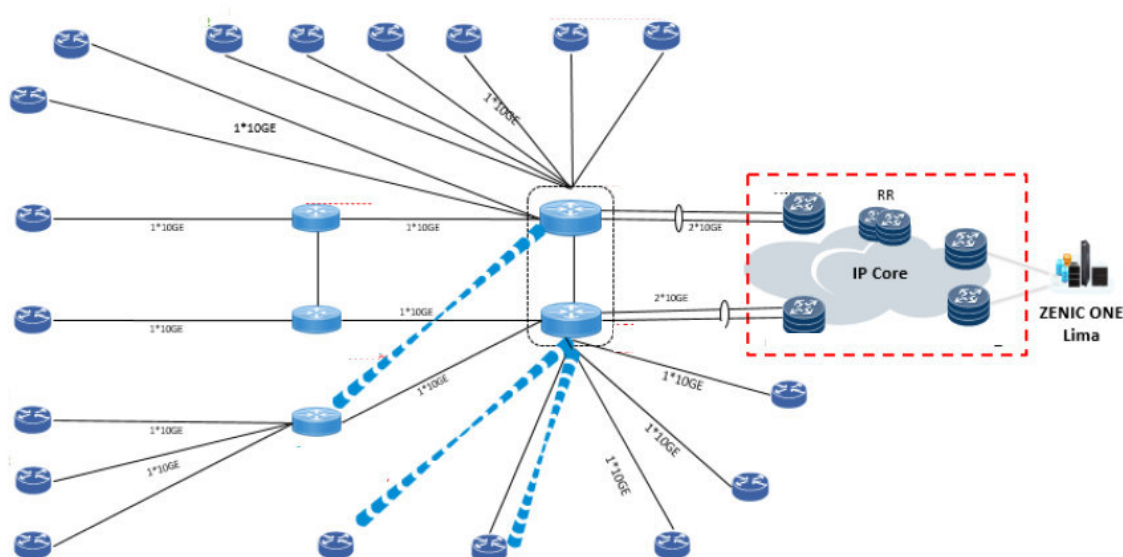


Figura 15. Diseño Topológico Tumbes

Fuente: "Elaboración Propia"

3.5.1.1 Dimensionamiento Físico

El departamento de Tumbes se encuentra ubicado al extremo noroeste del país. Tiene como frontera al Norte y Este al país de Ecuador y al sur colinda con el departamento de Piura.

Los puntos de interconexión de la red móvil hacia los controladores BSC, RNC y MME tienen como salida la fibra óptica que recorre la carretera Panamericana y como respaldo la fibra submarina con punto de interconexión en Mancora.

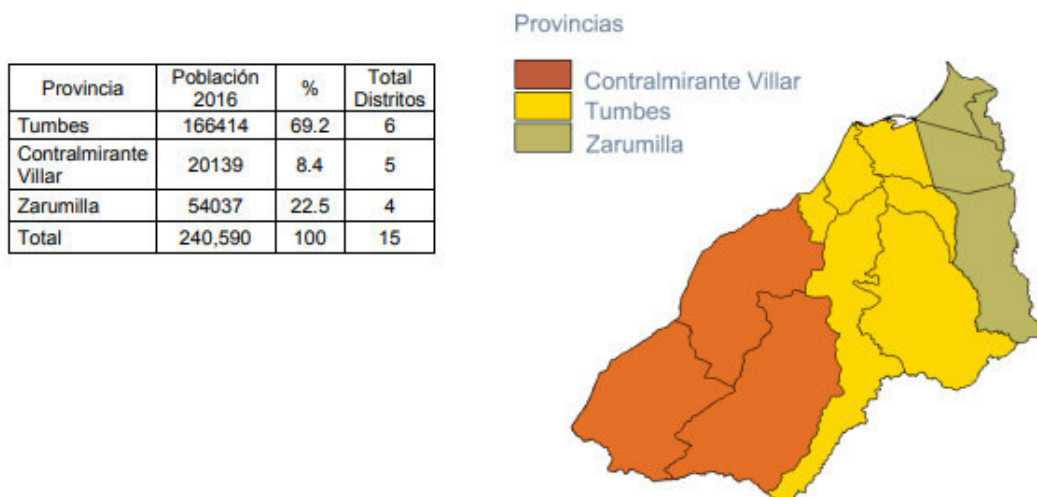


Figura 16. Estimación Urbana Tumbes 2016

Fuente: "INEI"

Se consideran 4 nodos de agregación y/o preagregación para el despliegue de la red IP. Los principales parámetros para la elección de estos nodos son la facilidad de acceso, la capacidad de energía y respaldo requerido para el consumo energético que requieren los equipos, la convergencia en las rutas de fibra óptica o microondas hasta el nodo de agregación. Para este escenario se consideraron 4 equipos de agregación: General Morzan (ubicado en la provincia de Tumbes), Zarumilla (ubicado en la provincia de Zarumilla), Zorritos (ubicado en la provincia de Contralmirante Villar) y Fernando Belaunde (ubicado en la provincia de Tumbes). Los equipos de agregación estarán interconectados entre ellos con una salida de respaldo en caso la ruta principal sufra algún imperfecto.

Para los equipos con jerarquía de router de acceso, se consideran 18 nodos distribuidos en la región. Estos equipos estarán conectados de manera radial hacia un nodo de agregación.

3.5.1.2 Dimensionamiento Logico

La distribución lógica tiene como principio la distribución de jerarquías: equipos core, agregación y acceso. El equipo de Core de Tumbes se encuentra en la ciudad de Tumbes por lo que los nodos de acceso y agregación deben converger a este nodo. El escenario SRv6 solo aplicara en esta etapa a la etapa de acceso y agregación, por lo que la distribución del tráfico del equipo Core Tumbes hacia los controladores de la red móvil se realiza aun por IPv4. Los agregadores estarán conectados entre ellos a través de una red de anillo de 10Gbps mientras que los router de acceso serán integrados a los agregadores asociados a la provincia de la localidad con una capacidad de 10Gbps.

La red MPLS coexistirá con la red SRv6 en el despliegue inicial de la tecnología para reducir el impacto de la falta de disponibilidad ante algún inconveniente con la configuración. Para la conversión de IPv4 a IPv6 de los servicios que circularan por la red SRv6 se realizara el stitching en las VRF asociados a estos servicios en los router de acceso de igual manera se realizara la reconversión de IPv6 a IPv4 en el agregador para llegar a los equipos de Core.

La distribución de recursos IPv6 se realiza de la siguiente manera:

Tabla 2: Distribución IPv6

Prefijo Definido	Tipo de Dirección	Tipo de Red	Región	ID Nodo	Función	Args
48 bits	4 bits	4 bits	8 bits	16 bits	20 bits dinamico 12 bits estatico	16 bits
LOCATOR 80 bits						

En donde el tipo de dirección hace referencia al uso que se le dara a la IP (loopback, IP WAN), el tipo de red se asocia con el tipo de equipo que usara la IP (equipo de agregación o equipo Core), la región hace referencia a la

identificación por los 24 departamentos del Perú, el ID Nodo es predefinido por el usuario dependiendo del tipo de router (acceso, agregación, core). Estos primeros 80 bits son indicados como “Locator”.

La parte de Función indica lo siguiente: cuando los 20 bits más altos están en ‘0’ los 12 bits mas bajos son usados par funciones definidas por el usuario de manera estática. Cuando los 20 bits más altos no están en ‘0’ los 32 bits son usados como una función dinámica, la cual es asignada para los servicios VPN.

3.5.1.3 Protocolos

Para la habilitación de la tecnología SRv6 en la red IP existente se realizará la configuración de protocolos IGP y BGP en IPv4 e IPv6. Los protocolos de IPv4 se mantendrán de acuerdo a la tecnología Seamless MPLS por lo cual se configurará OSPF, LDP y BGP IPv4. Mientras que para la activación de SRv6 se configurara ISIS, BGP IPv6. Para la activación del High Reliability (alta fiabilidad) se requerirá la habilitación de TI-LFA en el protocolo ISIS.

La configuración de los protocolos en los equipos se dara en los equipos de acceso y agregación de acuerdo a la siguiente distribución.

3.5.2 Implementacion del escenario SRv6

En el despliegue de la tecnologia SRv6 para la optimización de la red IP se realizará la configuración L3VPN para la habilitación de servicios móviles 2G/3G/4G. Esto permitirá la llegada a los controladores de cada tecnologia móvil asi como la interconexión con las demás regiones. Los equipos involucrados pertenecerán a un solo proveedor de tecnologia para reducir el impacto de interoperabilidad debido a ser una tecnologia relativamente nueva. Para los casos de servicios de Internet se aplicará la configuración L2VPN.

3.5.2.1 Configuración Servicio Móvil

La configuración de los routers de acceso y agregación para que por estas se reenvíen los paquetes de los servicios móviles 2G/3G/4G por una red IP SRv6 se realizara siguiendo el siguiente procedimiento:

- Configuración IGP IS-IS: Se realiza la configuración de todos los routers con este protocolo para establecer sesiones IPv6 entre los equipos de acceso y agregación.
- Configuración eVPN: Se realiza la configuración de los eVPN para realizar la conversión de IPv4 a IPv6 debido a que los recursos lógicos de los servicios móviles son aun IPv4. La configuración de estos túneles se realiza entre la etapa de acceso y agregación, debido a que en la capa de Core aun se mantiene con la tecnología MPLS y las rutas aprendidas del lado de los controladores móviles siguen siendo IPv4.

3.5.2.2 Configuración Segment Routing V6

La arquitectura de red requiere de la configuración de protocolos IGP, que en este caso intermedio de transición se habilita OSPF como la configuración estándar requerida para el plano de control IPv4 y se configura el protocolo IS-IS para el plano de control IPv6. Ambos tendrán un valor de costo de la ruta con un valor de 1000 en el tramo rCSR- ASG. De igual manera se mantendrá la configuración MPLS para poder realizar el retorno a la configuración inicial evitando la afectación de servicios. Se habilita como es estándar la configuración LDP (Label Distribution Protocol), se sincronizará con el protocolo IGP para una rápida convergencia.

Las principales diferencias en la configuración de SR con respecto a MPLS se basan en la siguiente tabla.

Tabla 3: Diferencia Transporte MPLS LDP y SR

	LDP	RSVP-TE	SR
Source Route	No	No	Yes
Protocol coordination	IGP + LDP	IGP + RSVP-TE	IGP extension, which is simple
Label Allocation Mode	Local allocation (each node allocates a label to a route)	Local allocation (each node allocates a label to a tunnel LSP)	Global allocation (only once at the source node) + Local allocation (unrelated to routes and LSPs, only representing an outgoing connection of a node)
Extendibility	LSP does not need to be kept alive, occupying less CPU and other resources, and the extendibility is good.	Maintenance status information of each LSP, periodic keep-alive, high CPU usage, and poor extendibility.	Original IGP keep-alive, SR has no extra keep-alive, low CPU resource usage, and good extendibility.
Traffic engineering	Not supported	Supported	Supported
FRR	LFA, RLFA (not covering all scenarios)	Link and node protection (100% covers all scenarios)	TI-LFA (100% covering all scenarios)/Microloop avoidance

La configuración de Segment Routing se basa en la configuración del Prefix-SID que este asociado a la Loopback0 del equipo a configurar. Un protocolo de IGP extendido, en este caso IS-IS, es requerido para publicar los prefix SID a los vecinos IGP. SRv6 no usa la tecnología MPLS debido a que es completamente compatible con IPv6.

Se requiere tener en cuenta que el SRv6 SID cuenta con 128 bits que se dividirán de la siguiente forma:

Locator 84 bits, Function 28 bits y Args 16 bits

- Locator: Es la primera parte del SID. Es usado para el enrutamiento.
- Function: Representa la instrucción que ejecutara el dispositivo.
- Args: Es un campo opcional. Es usualmente configurado en los escenarios EVPN VPLS.

El diseño BGP se realiza considerando BGP4+ debido a las características extendidas en transmisión IPv6. Se requiere habilitar los peer en la ruta global BGP asi como en las familias IPv6 unicast, IPv6 SR, VPNv6. De igual manera

que en la configuración IGP se dejaran habilitados los peer IPv4 en la ruta global IPv4 unicast y VPNv4.

La configuración se basará en Segment Routing V6 Best Effort, lo que implica que no se preconfigurará alguna política específica de enrutamiento.

3.6 Resultados

3.6.1.1 Validacion de Rutas Moviles

Considerando la configuración establecida para la configuración de segment routing en la red de acceso se establece un proceso para la validación de que los paquetes asociados a la red móvil se reenvían de acuerdo a lo planificado realizando el uso de los protocolos de red IS-IS, BGP v6.

Se establece el encaminamiento de rutas así como el proceso del router para el transporte a la red de agregación con el siguiente salto en IPv6.

3.6.2 Validacion a través de SDN (Gestor)

Para la revisión de la gestión remota a través del gestor SDN se realiza la revisión en el gestor de que los protocolos se establecen en una conexión BGP al gestor de Lima, en donde se puede establecer conexión global al equipo en la cual se puede realizar la revisión de protocolos, edición de comandos así como visualización del delay y packet loss por tramo rCSR-ASG.

Fuente: “Elaboración propia”

Q Search

rCSRMigration2

Q Search

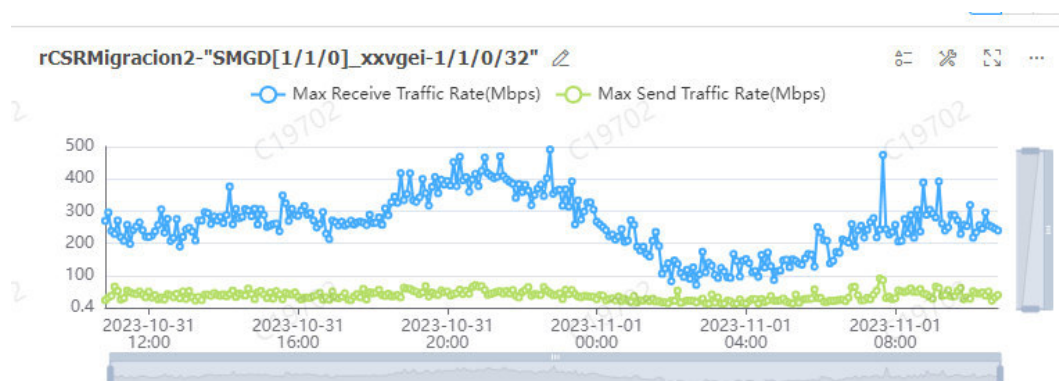
Filter

III

C

Port Name	Usage State	Physical State	Pmgng State	Loopback State	Laser State	Operation
SMGD[1/1/0]_xgei-1/1/0/1	Occupy	Up	Up	No Loopback	Open	 
SMGD[1/1/0]_xgei-1/1/0/2	Free	Down	Down	No Loopback	Open	 
SMGD[1/1/0]_xgei-1/1/0/3	Free	Down	Down	No Loopback	Open	 
SMGD[1/1/0]_xgei-1/1/0/4	Free	Down	Down	No Loopback	Open	 
SMGD[1/1/0]_xgei-1/1/0/5	Free	Down	Down	No Loopback	Open	 
SMGD[1/1/0]_xgei-1/1/0/6	Free	Down	Down	No Loopback	Open	 
SMGD[1/1/0]_xgei-1/1/0/7	Free	Down	Down	No Loopback	Open	 
SMGD[1/1/0]_xgei-1/1/0/8	Free	Down	Down	No Loopback	Open	 
SMGD[1/1/0]_xgei-1/1/0/9	Free	Down	Down	No Loopback	Open	 
SMGD[1/1/0]_xgei-1/1/0/10	Free	Down	Down	No Loopback	Open	 

Fuente: “Elaboración propia”



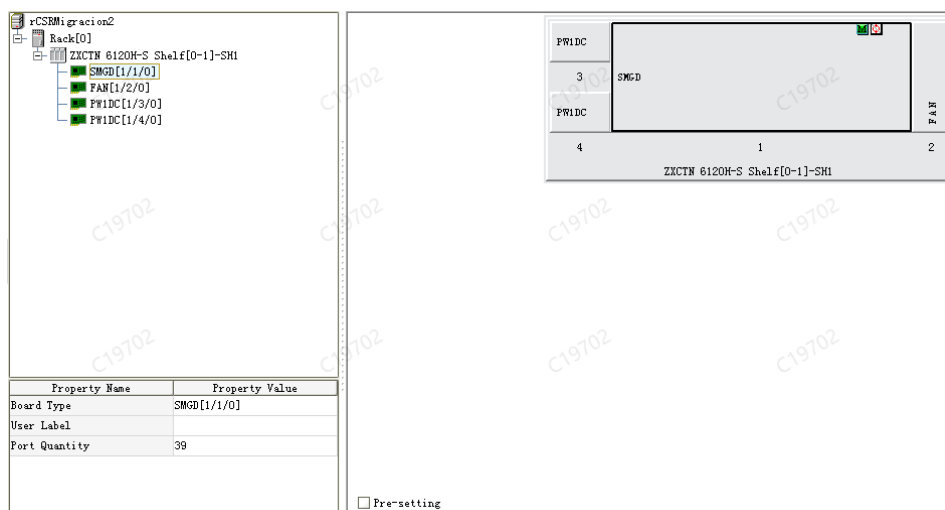


Figura 19. Visualización de la capacidad de un router a través del gestor

Fuente: "Elaboración propia"

3.7 Resultado de la actividad

Los resultados de la propuesta de una solución para la optimización de las redes actuales para el acceso de los servicios móviles e implementación realizada en el capítulo anterior, establecen mejoras con respecto al escenario que se requería optimizar en la red actual (Red MPLS).

3.7.1 Presentación de Resultados

La integración de la tecnología SRv6 a la red actual implicó la configuración de nuevos protocolos necesarios para la actualización de la arquitectura de red.

La validación de la configuración se realiza siguiendo el siguiente procedimiento:

Validación Enlaces Punto a Punto

Se revisa que las conexiones físicas de fibra óptica oscura con una velocidad de 10 Gbps se encuentren operativas y con niveles adecuados para la configuración inicial de los equipos.

```
rCSRMigracion2#show lldp neig br
Scope codes:
  NB    = Nearest Bridge
  NC    = Nearest Customer Bridge
  NTPMR = Nearest non-TPMR Bridge

Total neighbors: 1
Local Interface Scope Chassis ID Port ID Holdtime System Name
-----
xxvgei-1/1/0/32 NB 00d0.0000.081f xgei-0/1/0/7 102 ASG-TMB-Genera
lMorzan
rCSRMigracion2#
```

Figura 20. Visualización Protocolo LLDP Acces-Agregación

Fuente: “Elaboración propia”

Validación IGP IPv4

Se revisa que las rutas de la tabla global IPv4 sean reconocidas a través de OSPF de los vecinos y estén establecidos en el estado “Stablished” con la loopback0 IPv4 del rCSR.

```
rCSRMigracion2#show ip ospf neighbor
Codes: *: Multi-Area Interface

OSPF Router with ID (10.134.14.97) (Process ID 110)

Neighbor ID Pri State DeadTime Address Interface
10.140.128.130 1 FULL/-- 00:00:38 10.134.14.9 xxvgei-1/1/0/32
rCSRMigracion2#
```

```
rCSRMigracion2#show mpls ldp neig br instance 1
Codes: D:Direct, T:Targeted, D&T:Direct&Targeted
Total number of neighbors:1
Operational:1 (D:1,T:0,D&T:0) (IPv4:1,IPv6:0,IPv4&IPv6:0)
Not operational:0 (D:0,T:0,D&T:0) (IPv4:0,IPv6:0,IPv4&IPv6:0)
Peer-LDP-ID State Up-time Discovery GR Address IPv4/IPv6 Local-LDP-ID Type
10.140.128.1... oper 8d7h 1 N 14 1399/0 10.134.14.97:0 D
rCSRMigracion2#
```

Figura 21. Visualización Protocolo IPv4 OSPF-MPLS LDP Acceso-Agregación

Fuente: “Elaboración propia”

Validación IGP IPv6

Se revisa que las rutas de la tabla global IPv6 sean reconocidas a través de IS-IS y establecidas con la loopback0 IPv6 del rCSR.

```
rCSRMigracion2#show isis adj
Process ID: 110
Interface      System id      State      Lev      Holds      SNPA(802.2)  Pri      MT      NSF      AF
xxvgei-1/1/0/32 ASG-TMB-Gener... UP          L2        26          PPP        -        M        Disable IPv6
rCSRMigracion2#
```

```
rCSRMigracion2#show isis circuits
Process ID: 110
Interface      State      Lev      CirID      Level1-DR      Level2-DR      Pri(L1/L2)
xxvgei-1/1/0/32 Up          L2        1          P to P        P to P        -/-
loopback0      Up          L2        0          P to P        P to P        -/-
rCSRMigracion2#
```

```
rCSRMigracion2#show isis database
Process ID: 110
IS-IS Level-2 Link State Database:
LSPID          LSP Seq Num      LSP Checksum      LSP Holdtime      ATT/P/OL
rCSRMigracion2.00-00* 0x4435f          0xaa2a            1135              0/0/0
rCSRAGuasVerdes2.00-0 0x30ae1          0x8a0e            1099              0/0/0
rCSRGeneralMorzan2.00-00 0x3ab8b          0xda9c            1179              0/0/0
rCSRCaletaGrau2.00-00 0x5dd9e          0x6cc0            1190              0/0/0
rCSRElMariscal2.00-00 0x55e3           0x122b            1189              0/0/0
rCSRHospitalJamo2.00-0 0x2be4b          0xa17             1128              0/0/0
rCSRDeliciasTumbes.00-00 0x37e19          0xc9f             1180              0/0/0
ASG-TMB-GeneralMorzan 0x14bfe6          0x86ac            1192              0/0/0
rCSRMigracion2#
```

```
rCSRMigracion2#show isis hostname
Process ID: 110
Total(L1/L2): 0/8
Level          System id          Hostname dynamic
L2             0101.3401.4097     rCSRMigracion2
L2             0101.3401.4098     rCSRAGuasVerdes2
L2             0101.3412.8096     rCSRGeneralMorzan2
L2             0101.3412.8097     rCSRCaletaGrau2
L2             0101.3412.8099     rCSRElMariscal2
L2             0101.3412.8100     rCSRHospitalJamo2
L2             0101.3412.8101     rCSRDeliciasTumbes
L2             0101.4012.8130     ASG-TMB-GeneralMorzan
rCSRMigracion2#
```

Figura 22. Visualización Protocolo IPv6 ISIS Acceso - Agregación

Fuente: "Elaboración propia"

Validación BGP Segment Routing

Se revisa que los peer hacia los equipos de agregación y core sean establecidas tanto con la arquitectura actual como con la arquitectura SRv6

```
rCSRMigracion2#show isis segment-routing pr
rCSRMigracion2#show isis segment-routing prefix-sid-map
Process ID: 110
rCSRMigracion2#
```

```
rCSRMigracion2#show segment-routing srv6 adjacency-sid loc
[1]  Local-Router-ID: 2800:200:4:2410:107::
     Local-Description: 2800:200:4:2412:107::1
     Remote-Router-ID: 2800:200:4:2410:100::
     Remote-Description: 2800:200:4:2412:107::
     SID: 2800:200:4:2411:107:0:1001:0,
     Proto: ISIS, weight: 0, Flavor: PSP
```

```
rCSRMigracion2#show segment-routing srv6 adjacency-sid remo
[1]  Local-Router-ID: 2800:200:4:2410:100::
     Local-Description: 2800:200:4:2412:101::
     Remote-Router-ID: 2800:200:4:2410:101::
     Remote-Description: 2800:200:4:2412:101::1
     SID: 2800:200:4:2411:100:0:1002:0,
     Proto: ISIS, weight: 0, Flavor: PSP

[2]  Local-Router-ID: 2800:200:4:2410:101::
     Local-Description: 2800:200:4:2412:101::1
     Remote-Router-ID: 2800:200:4:2410:100::
     Remote-Description: 2800:200:4:2412:101::
     SID: 2800:200:4:2411:101:0:1065:0,
     Proto: ISIS, weight: 0, Flavor: PSP

[3]  Local-Router-ID: 2800:200:4:2410:100::
     Local-Description: 2800:200:4:2412:102::
     Remote-Router-ID: 2800:200:4:2410:102::
     Remote-Description: 2800:200:4:2412:102::1
     SID: 2800:200:4:2411:100:0:1005:0,
     Proto: ISIS, weight: 0, Flavor: PSP
```

```
rCSRMigracion2#show segment-routing srv6 global-status
SRV6 global status: Enable
rCSRMigracion2#
```

Figura 23. Visualización Protocolo Segment Routing v6

Fuente: "Elaboración propia"

Validación Preferencias eVPNs

Se revisa que la preferencia en la creación de las VRF asociados a la red movil sea a través de la tecnología SRv6, para que en caso se requiere realizar una optimización posterior se pueda regresar al estado inicial MPLS. Se usará como referencia la eVPNS 10091 asociado al servicio 4G.

```
rCSRMigracion2#show segment-routing srv6 local-sid
SID:2800:200:4:2411:107:0:1000:0/112
  Locator: 1
  FuncType: END                               Owner: ISIS_L2
  Flavor: PSP
SID:2800:200:4:2411:107:0:1001:0/112
  Locator: 1
  FuncType: END.X                             Owner: ISIS_L2
  Flavor: PSP
  NextHop: fe80::2d0:ff:fe00:81f
  OutInterface: xxvgei-1/1/0/32
SID:2800:200:4:2411:107:0:1064:0/112
  Locator: 1
  FuncType: L3VPN.DT46                         Owner: L3VPN
SID:2800:200:4:2411:107:0:1065:0/112
  Locator: 1
  VrfName: 10050
  FuncType: L3VPN.DT46                         Owner: L3VPN
SID:2800:200:4:2411:107:0:1066:0/112
  Locator: 1
  VrfName: 10090
  FuncType: L3VPN.DT46                         Owner: L3VPN
SID:2800:200:4:2411:107:0:1067:0/112
  Locator: 1
  VrfName: 10091
  FuncType: L3VPN.DT46                         Owner: L3VPN
SID:2800:200:4:2411:107:0:1068:0/112
  Locator: 1
  VrfName: 10092
  FuncType: L3VPN.DT46                         Owner: L3VPN
SID:2800:200:4:2411:107:0:1069:0/112
  Locator: 1
  VrfName: 10093
  FuncType: L3VPN.DT46                         Owner: L3VPN
SID:2800:200:4:2411:107:0:106a:0/112
  Locator: 1
  VrfName: 10095
  FuncType: L3VPN.DT46                         Owner: L3VPN
SID:2800:200:4:2411:107:0:106b:0/112
  Locator: 1
  VrfName: 250
  FuncType: L3VPN.DT46                         Owner: L3VPN
SID:2800:200:4:2411:107:0:106c:0/112
  Locator: 1
```

```

rCSRMigracion2#show segment-routing srv6 locator
Codes: BL - Block length, NL - Node length, FL - Function length
LocatorName: 1
Prefix/Length: 2800:200:4:2411:107::/80
StaticLength: 12
ArgsLength: 16
CompressTarget: 32
BL/NL/FL(Compress): 64/16/16
StaticLength(Compress): 16
AutoSIDBegin(Compress): N/A
AutoSIDEnd(Compress): N/A
BL/NL/FL: 0/80/32
AutoSIDBegin: 2800:200:4:2411:107:0:1000:0

```

```

rCSRMigracion2#show bgp vpnv6 unicast neighbor
BGP neighbor is 10.140.128.130, remote AS 12252, IBGP link
Member of peer-group to_IPRAN_AGG_MPLS for session parameters
Description: to_ASG-TMB-GeneralMorzan
BGP version 4, remote router ID 10.140.128.130
SRV6 L2 service type is 6
SRV6 L3 service type is 5
Transport(tcp) path-mtu-discovery is disabled
Transport(tcp) maximum segment size is not set
Password using MD5 is enabled
Update source interface is loopback0
BGP state = Established, up for 1w1d 07:58:32
Hold time is 180 seconds, keepalive interval is 60 seconds
Neighbor capabilities
  Route refresh: advertised and received
  Enhanced route refresh: advertised and received
  New ASN Capability: advertised and received
  Graceful Restart Capability: advertised and received
  Address families advertised by peer :
    IPv4 Multicast
    VPNv4 Mcast
  Address families preserved by peer :
    IPv4 Unicast
    IPv4 MPLS Label
    VPNv4 Unicast
    IPv6 Unicast
    IPv6 MPLS Label
    VPNv6 Unicast

```

Figura 24. Visualización Segmentos SID, Locator, ENDx, L3 VPN

DT46

Fuente: "Elaboración propia"

```

rCSRMigracion2#show ip forwarding route vrf 10091
Routes: 6791      Route-paths: 6791
IPv4 Routing Table:
Headers: Dest: Destination, Gw: Gateway, Pri: Priority;
Codes : BROADCAST: Broadcast, USER-I: User-ipaddr, USER-S: User-special,
MULTIC: Multicast, USER-N: User-network, DHCP-D: DHCP-DFT,
ASBR-V: ASBR-VPN, STAT-V: Static-VRF, DHCP-S: DHCP-static,
GW-FWD: PS-BUSI, NAT64: Stateless-NAT64, LDP-A: LDP-area,
GW-UE: PS-USER, P-VRF: Per-VRF-label, TE: RSVP-TE, NAT-M : NAT-mask
BP: BRAS-pool, HAGP: Hybrid-access-gateway-protocol;
Status codes: *valid, >best, R: Relay;

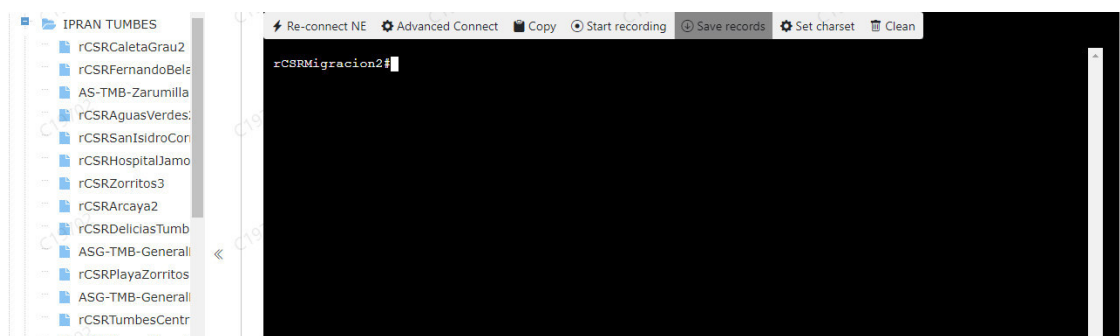
```

Dest	Gw	Interface	Owner	Pri	Metric
*> 10.96.90.136/32	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	1
*> 10.96.90.137/32	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	1
*> 10.96.90.145/32	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	1
*> 10.96.90.146/32	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	1
*> 10.98.228.0/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.4/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.8/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.12/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.16/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.20/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.24/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.28/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.32/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.36/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.40/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.44/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.48/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.52/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.56/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.60/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.64/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.68/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.72/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0
*> 10.98.228.76/30	2800:200:4:2...	xxvgei-1/1/0/32	BGP-EVPN	200	0

*Figura 25. Visualización Rutas Aprendidas a través de Segment
Routing asociado al servicio 4G
Fuente: "Elaboración propia"*

Validación Conexión Gestor y pruebas

Se revisa la correcta visualización de los equipos y revisión de comandos directamente desde el gestor.



Last One Day [Condition Template](#)

Querying Info Occurrence Time: Last 1 days 2023-10-31 10:59:00 - Current time Query By Related ME: No Time Zone: Client time zone ... [View All](#) [Hide](#)

[Export](#) [Ack](#) [Comment](#) [More](#) [Condition Query](#) [III](#) [C](#)

No.	Relevancy	Alarm Sev...	ME	Position	Alarm Code Name	Clear	Operation
1		Critical	TJ5090_CHA...	SOSCB[1/3/0]	Board removal	2038-0	✓ ✗ 📄 ...
2		Major	TJ5090_CHA...	SEOBA2220[1/8/0]_OMS_CTP_S...	E-Amplifier Port Input Optical Power(dBm) threshold cr...	2038-0	✓ ✗ 📄 ...
3		Critical	TJ5090_CHA...	SEOBA2220[1/8/0]_OMS_CTP_S...	E-Amplifier Port LOS Alarm	2038-0	✓ ✗ 📄 ...
4		Major	TJ5090_CHA...	SEOBA2220[1/8/0]_OMS_CTP_S...	E-Amplifier Port Input Optical Power(dBm) threshold cr...	2038-0	✓ ✗ 📄 ...
5		Critical	TJ5090_CHA...	SEOBA2220[1/8/0]_OMS_CTP_S...	E-Amplifier Port LOS Alarm	2038-0	✓ ✗ 📄 ...
6		Major	TJ5090_CHA...	SEOBA2220[1/7/0]_OMS_CTP_S...	E-Amplifier Port Input Optical Power(dBm) threshold cr...	2038-0	✓ ✗ 📄 ...
7		Critical	TJ5090_CHA...	SEOBA2220[1/7/0]_OMS_CTP_S...	E-Amplifier Port LOS Alarm	2038-0	✓ ✗ 📄 ...
8		Major	TJ5090_CHA...	SEOBA2220[1/7/0]_OMS_CTP_S...	E-Amplifier Port Input Optical Power(dBm) threshold cr...	2038-0	✓ ✗ 📄 ...
9		Critical	TJ5090_CHA...	SEOBA2220[1/7/0]_OMS_CTP_S...	E-Amplifier Port LOS Alarm	2038-0	✓ ✗ 📄 ...
10		Major	TJ5090_CHA...	SOSCB[1/3/0]_utcClk:1	GPS Port Loss of 1PPS pulse and unavailable	2038-0	✓ ✗ 📄 ...
11		Critical	TJ5090_CHA...	SOSCB[1/3/0]	PTP Node time unlock	2038-0	✓ ✗ 📄 ...
12		Critical	TJ5090_CHA...	SOSCB[1/3/0]_OSC_Bi:3(CT/CR)	Control Port(Optical) Pluggable Transceiver Dismount ...	2038-0	✓ ✗ 📄 ...

```
rCSRMigracion2#show netconf sessions
```

SessionID	SessionType	UserName	IPAddress	LoginTime
1	SSH	USRZENICON	10.95.251.75	2023-12-19 03:13:30
2	SSH	USRZENICON	10.95.251.75	2023-12-19 03:13:49

Figura 26. Visualización de alarmas y acceso al router a través del gestor

Fuente: "Elaboración propia"

```
rCSRMigracion2#show performance-measurement interface detail
Interface xxvgei-1/1/0/32:
Delay measurement:
TWAMP light:
Session ID: 5
Diff-ratio threshold: 20%
Period: 60 s
Measure result:
Link delay: 128 us
Min link delay: 128 us
Max link delay: 128 us
Delay variation: 0 us
Packet loss ratio measurement:
TWAMP light:
Session ID: 5
Diff-ratio threshold: 10%
Period: 60 s
Measure result:
Packet loss ratio: 0(0.000001%)
utilized bandwidth measurement:
Diff-ratio threshold: 10%
Measure result:
utilized bandwidth: 2518002 byte/s
rCSRMigracion2#
```

Figura 27. Monitoreo del packet loss, delay y capacidad de la interfaz de salida.

Fuente: "Elaboración propia"

3.7.2 *Discusión de Resultados*

Con los resultados obtenidos se realiza la verificación de las mejoras obtenidas con respecto a la arquitectura actual.

El beneficio mas sobresaliente es la utilización de IPv6 en el tramo acceso-agregacion debido a la que las direcciones IPv4 se encuentran escasas para la asignación de recursos lógicos en una red ISP. A nivel de protocolos la utilización de una tecnología con respecto a otra no tuvo mayor influencia en la reducción de packet loss o delay, debido principalmente a que la cabecera IPv6 aumento la tasa de transmisión requerida de 32 bits de una dirección IPv4 a una de 128 bits en una dirección IPv6.

La configuración SRv6 en los router sobre la configuración actual MPLS requiere que el personal encargado de la operación y mantenimiento tenga conocimientos especificos de los protocolos usados y del escenario establecido para un correcto descarte de problemas en los servicios en producción.

Los comandos requeridos para la validación de conectividad de acuerdo al diseño permiten observar la topología desde CLI, sin embargo, la mayor fortaleza de este nuevo escenario es la gestión y configuración a través del gestor SDN.

Al implementar esta tecnología se requirió principalmente realizar el dimensionamiento del equipo requerido para poder poner en funcionamiento servicios móviles en producción de la red MPLS. Se planteo equipos con una RAM adecuado, un packe switching de por lo menos 300Gbps además de contar con puertos 1Gbps, 10Gbps para la atención de servicios de última milla.

Los protocolos establecidos para la habilitación de esta arquitectura permiten la convivencia entre las tecnologías SRv6 y MPLS ayudando a

establecer en principio por el planificador de red que preferencias manejar para cada una. La conexión al Core requiere por el momento que aun sean paquetes IPv4 por lo que la implementación de esta red es netamente en el tramo Acceso-Agregacion.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES

4.1 Justificación

El diseño de este proyecto se basa en la optimización de una red de datos para la convergencia de los servicios móviles de alta capacidad (4G/5G) así como la masificación de las redes SDN para la operación y mantenimiento de la capa de acceso de una red ISP.

Esto permite una mejora en la parte técnica hacia una red IPv6 nativa así como la mejora de soluciones ante un KPI específico requerido para un servicio especial, sea latencia, packet loss o respaldos ante caídas de servicio.

Es requerido previamente la adecuación de la red para el reemplazo de los equipos actuales debido a que en la mayor parte los router tiene los chipsets asociados solo para la red MPLS.

4.1.1 Evaluación económica

En la tabla 4 se presenta el consolidado de los costos, divididos en equipos, implementación y puesta en servicio de la nueva arquitectura SRv6.

Tabla 4: Evaluación Económica

DESCRIPCION	SUBTOTAL COSTO UNITARIO	SUBTOTAL
Router Acceso SRv6	\$ 1,500.00	\$ 27,000.00
Router Agregación SRv6	\$ 4,500.00	\$ 18,000.00
Instalación equipos	\$ 2,000.00	\$ 44,000.00
TOTAL	-	\$ 89,000.00

4.2 Conclusiones

- El planteamiento de una red SRv6 dentro de una red en producción IPv4 requiere del diseño a pequeña escala para la revisión de factores que pueden influir en la convergencia y escalabilidad de la red.
- La implementación de una red SRv6 requiere la planificación en primera instancia del equipamiento requerido, el método de integración hacia las redes Core en producción, así como la verificación de que este diseño no conlleve posibles conflictos con los servicios que cursan por la arquitectura actual.
- La transición de IPv4 a IPv6 en los ISP es requerido en un corto plazo, para lo cual se requiere de un dimensionamiento acorde a la arquitectura a implementar. Gradualmente se deberá realizar el cambio de protocolos de red para la convergencia de servicios que cursen por la infraestructura de los ISP. Los servicios FFTH, redes móviles 3G/4G y en especial 5G se deben ver beneficiados con esta transición.
- Con el despliegue de SRv6, el servicio SDN debe ser de uso obligatorio para el control y operación de la red debido a los beneficios que logra tener en la reducción de tiempo para las validaciones de protocolos, estado del equipo y posibles alarmas en la operación. La adición de nuevos protocolos así como de nuevas arquitecturas convierte la red actual en una red más compleja por lo que realizar validaciones directamente desde el equipo requerirá un mayor tiempo de análisis.

CAPITULO V: RECOMENDACIONES

- La implementación de la tecnología SRv6 se puede basar en 2 clases: Best Effort o TE-Policy. La base para la transición es Best Effort, sin embargo, para poder aplicar configuración específicas y personalizar la red de acuerdo a parámetros establecidos se requiere de un escenario TE-Policy.
- Se propone la implementación a nivel de una macro región con la tecnología SRv6 para verificar los casos en los cuales se implementen los servicios de acceso a través de IPv6.
- Realizar la configuración solo en la red de acceso es en principio una fase para la transición hacia una red IPv6, sin embargo, un complemento es realizar el cambio en la red Core a IPv6 así como la masificación de los equipos de última milla y controladores con solo configuración IPv6.
- Con la primera fase concluida se puede comenzar el despliegue de una arquitectura SRv6 pura, eliminando la tecnología MPLS de la configuración actual de los routers, con la experiencia obtenida de este proyecto en la cual no se observó ningún impedimento en el despliegue.

CAPITULO VI: BIBLIOGRAFIA

1. Sarvesh, B., & Gumaste, A. G. P. (2015). *Scalable segment routing - A new paradigm for efficient service provider networking using carrier ethernet advances. Opt. Commun. Netw.*, 7(5).
2. Filsfils, C., & Camarillo, P. (2021). *Segment Routing over IPv6 (SRv6) Network Programming. RFC 8986.*
3. Guo, F., & Liu, Y. (2022). *IP network Ebook Series: MPLS to SR-V6 evolution guide.*
4. Luo, L. (2021). *IP network Ebook series: SRV6.*
5. Ventre, P. L., & Salsano, S. (2021). *Segment Routing: A comprehensive survey of research activities, standardization effort, and implementation results. IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 23(1).

CAPITULO VII: ANEXOS

ANEXO N° 01

A. RFC 8754

La presente recomendación describe el encabezado para el enrutamiento de un segmento en Segment Routing v6 y como se utiliza en los nodos. El encabezado de enrutamiento por segmento tiene una forma de enrutar moderno, esta basado en una lista de segmentos que se compartirán entre los nodos. La lista de segmentos son direcciones IPv6 de 128 bits que representan el n-enesimo segmento de la lista de segmentos.

Se define también los tipos de nodos que pueden estar involucrados en las redes de enrutamiento de segmentos: nodos de origen SR que originan paquetes con un segmento en la dirección de destino del encabezado IPv6, nodos de transito que reenvían paquetes destinados a un segmento remoto y nodos de punto final del segmento SR que procesan un segmento local en la dirección de destino de encabezado IPv6.

Se define al nodo de origen a cualquier nodo que origina un paquete IPv6 con un segmento (SRv6 SID) en la dirección de destino del encabezado IPv6. El paquete que sale del nodo fuente de SR puede o contener un SRH. Incluye un host que origina un paquete IPv6 o un enrutador de ingreso de dominio SR que encapsula el paquete recibido en un encabezado IPv6 externo.

Se define al nodo de transito a cualquier nodo que reenvia un paquete IPv6 donde la dirección de destino de ese paquete no esta configurada

localmente como un segmento o una interfaz local. No es necesario que un nodo de transito sea capaz de procesar un segmento o SRH.

Se define como nodo de punto final del segmento SR a cualquier nodo que recibe un paquete IPv6 donde la dirección de destino de ese paquete esta configurado localmente como un segmento o interfaz local.

La Recomendación RFC 8754 fue publicada en marzo del 2020 por el IETF. Es un documento asociado al seguimiento de estándares de internet.

B. RFC 9352

La presente recomendación describe la arquitectura de enrutamiento de segmentos. Se puede implementar a través del plano de datos MPLS o IPv6. Esta recomendación describe adicionalmente las extensiones IS-IS necesarias para admitir SR sobre el plano de datos IPv6.

El tipo MSD (maximum segments left) señala el valor máximo del campo “Segmentos restantes” en el SRH de un paquete recibido antes de aplicar el comportamiento del punto final asociado con un SID.

El MSD End POP indica el número máximo de SID en el SRH a los que el enrutador puede aplicar el comportamiento “Penultimo Segmento”.

El MSD H. Encaps indica el número máximo de SID que puede agregar a la lista de segmentos de un SRH como parte del comportamiento “H. Encaps”.

La Recomendación RFC 9352 fue publicada en febrero del 2023 por el IETF. Es un documento asociado al seguimiento de estándares de internet.