

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“ANÁLISIS DE LA MIGRACIÓN DE UNA RED PRIVADA DE  
TRANSPORTE IP/RAN PARA LA TRANSMISIÓN DE SERVICIOS  
UMTS/LTE DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.”

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

Previa la Obtención del Título de:

**MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

**MARÍA DEL SOL PALMA NÚÑEZ**

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2025

## **DEDICATORIA**

Le dedico esta tesis a Dios, él me ha guiado en cada paso de mi vida y siempre ha querido lo mejor para mí.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mi mama Lola por estar siempre ahí.

A mis hermanos Andrés y Michael por ayudarme en los momentos más difíciles.

A Natasha por cuidarme en mis noches en vela.

## Declaración Expresa

---

Yo María del Sol Palma Núñez acuerdo y reconozco que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. El o los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 27 de enero de 2025

**Ing. María del Sol Palma**

Autor

## **Evaluadores**

---

**Ph.D. María Antonieta Álvarez**

Evaluador

---

**Mgtr. Eduardo Chancay**

Evaluador

## RESUMEN

El presente proyecto del componente práctico del examen complejo presenta un análisis sobre problemas que presenta la red IPRAN de una operadora móvil con respecto a fallas en la red de servicios móviles como son UMTS y LTE ya sea por problemas externos o internos de la empresa de acuerdo con las tecnologías desplegadas, luego se parte de esa situación para analizar la migración tanto de topología física como lógica, cambio de equipamientos y reconfiguración de equipos para la validación de mejoras tanto en las rutas que seleccionan los servicios móviles hasta la RNC para el vendor que usa esta empresa privada como de procesamiento de equipos y mejoras en conmutación de tráfico en casos de eventos externos como cortes de enlaces físicos o apagones.

Se habla de la arquitectura por jerarquías usada con la cantidad de nodos y routers y el comportamiento de estas capas mediante los anillos de agregación con una red de transporte MPLS. También este análisis incluye validar si esta es una solución IP-RAN adecuada de acuerdo con los requerimientos técnicos de la red para la correcta transmisión de estos servicios móviles junto con el costo final de los equipos usados, la mano de obra y la ingeniería de O&M para prolongar la vida útil de la red.

**Palabras Clave:** IPRAN, MPLS, Transporte, Hardware, Topología.

## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	6
ABREVIATURAS .....	9
ÍNDICE DE FIGURAS .....	10
ÍNDICE DE TABLAS .....	12
1. INTRODUCCIÓN .....	13
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	13
1.2 JUSTIFICACIÓN/PROPUESTA.....	2
1.3 OBJETIVOS .....	6
1.4 OBJETIVO GENERAL.....	6
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
1.6 MARCO TEÓRICO.....	7
1.7 REDES DE COMUNICACIONES MÓVILES .....	7
1.8 REDES DE BACKHAUL.....	8
1.9 BEARER NETWORK .....	9
1.10 RED IPRAN.....	12
1.11 PROTOCOLOS DE REDES IPRAN CONVERGENTES .....	13
2 DISEÑO .....	15
2.1 METODOLOGÍA.....	15
2.2 VISIÓN GENERAL DE LA RED ANTIGUA .....	18
2.3 VISIÓN GENERAL DE LA RED OBJETIVO Y PROCESO DE MIGRACIÓN ...	31
2.4 TOPOLOGÍA, CONFIGURACIÓN DE LOS ROUTERS Y CAMBIOS DE HARDWARE .....	34
2.5 MANEJO DE TRÁFICO DE SERVICIOS MÓVILES.....	41
3. ANALISIS DE RESULTADOS .....	45
3.1 ANÁLISIS DE PROTOCOLOS USADOS.....	45
3.2 ANÁLISIS DE CORRECCIÓN DE BUCLES .....	53
3.3 ANÁLISIS DE NUEVA TOPOLOGÍA.....	56
3.4 ANÁLISIS DE ELECCIÓN DE RUTAS MAS CORTAS .....	59
3.5 ANÁLISIS DE HARDWARE.....	64
3.6 Costos .....	67
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	77
4.1 CONCLUSIONES.....	77
4.2 RECOMENDACIONES .....	79

<b>5. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>2</b>
-----------------------------	----------

## **ABREVIATURAS**

IP	Protocolo de Internet
TCP	Protocolo de Control de Transmisión
UDP	Protocolo de Datagramas de Usuario
RAN	Radio Access Network
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
LTE	Long Term Evolution
RNC	Radio Network Controller
OSPF	Open Shortest Path First
ISIS	Intermediate System to intermediate System
LLDP	Link Layer Discovery Protocol
BFP	Bidirectional Forwarding Detection
VRF	Virtual Routing and Forwarding
BFD	Protocolo de detección de reenvío bidireccional
MPLS	Multiprotocol Label Switching

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Ilustración 1</b>	<b>Capa de CORE en red IPRAN. [1]</b> .....	4
<b>Ilustración 2</b>	<b>Arquitectura de red de transporte [4]</b> .....	11
<b>Ilustración 3</b>	<b>Capas de una red IPRAN [6]</b> .....	12
<b>Ilustración 4</b>	<b>Arquitectura de red usada [10]</b> .....	16
<b>Ilustración 5</b>	<b>Simulación en Packet Tracer de la red previa</b> .....	17
<b>Ilustración 6</b>	<b>Conexión lineal por microondas</b> .....	18
<b>Ilustración 7</b>	<b>Red previa</b> .....	18
<b>Ilustración 8</b>	<b>Ejemplo de saltos jerárquicos en una red IPRAN</b> .....	19
<b>Ilustración 9</b>	<b>Evidencia de conexión directa entre un router de acceso y core</b> .....	20
<b>Ilustración 10</b>	<b>Alarmas de los CSPF hacia el core</b> .....	20
<b>Ilustración 11</b>	<b>Configuración de vecinos IGBP</b> .....	21
<b>Ilustración 12</b>	<b>Configuración de BGP</b> .....	22
<b>Ilustración 13</b>	<b>Topología de Anillo Los Sauces con problema de loop</b> .....	22
<b>Ilustración 14</b>	<b>Lazo en anillo por interconexión de ISIS 2-3</b> .....	23
<b>Ilustración 15</b>	<b>RAM para GSC1</b> .....	24
<b>Ilustración 16</b>	<b>RAM para GSC2</b> .....	24
<b>Ilustración 17</b>	<b>RAM en GSD1</b> .....	25
<b>Ilustración 18</b>	<b>RAM en GSD2</b> .....	25
<b>Ilustración 19</b>	<b>Saturación de enlaces 1</b> .....	26
<b>Ilustración 20</b>	<b>Saturación de enlaces 2</b> .....	26
<b>Ilustración 21</b>	<b>Anillo de Kennedy</b> .....	27
<b>Ilustración 22</b>	<b>Conexión lineal entre GSDs y GSCs</b> .....	27
<b>Ilustración 23</b>	<b>Falta de enlace IGBP entre GSD2-GSD2</b> .....	28
<b>Ilustración 24</b>	<b>Anillo de acceso ORELLANA</b> .....	29
<b>Ilustración 25</b>	<b>Adyacencias IGP IS-IS de nivel 1 L1</b> .....	29
<b>Ilustración 26</b>	<b>Uso de protocolos en red previa</b> .....	30
<b>Ilustración 27</b>	<b>ISIS en procesos diferentes</b> .....	30
<b>Ilustración 28</b>	<b>Elección de mejor ruta por configuración de TE-TUNNEL</b> .....	31
<b>Ilustración 29</b>	<b>Red migrada</b> .....	32
<b>Ilustración 30</b>	<b>Arquitectura de la red objetiva</b> .....	33
<b>Ilustración 31</b>	<b>Topología lógica de red migrada con AN5, AN4 y AN3</b> .....	33
<b>Ilustración 32</b>	<b>Protocolos usados en red migrada</b> .....	34
<b>Ilustración 33</b>	<b>Uso de métricas en red ISIS</b> .....	36
<b>Ilustración 34</b>	<b>Uso de túneles explícitos y SPF de R1 a R6. [11]</b> .....	37
<b>Ilustración 35</b>	<b>Uso de ancho de banda durante 8 semanas en el Core</b> .....	42
<b>Ilustración 36</b>	<b>Uso de puertos de anillos de acceso</b> .....	43
<b>Ilustración 37</b>	<b>Tráfico de una RBS de FCO DE ORELLANA para 3g/4g</b> .....	43
<b>Ilustración 38</b>	<b>Velocidades reales de 3G y 4G</b> .....	44
<b>Ilustración 39</b>	<b>Adyacencia en ISIS antes</b> .....	45
<b>Ilustración 40</b>	<b>Adyacencia en ISIS ahora</b> .....	46
<b>Ilustración 41</b>	<b>Uptime antes y después</b> .....	46
<b>Ilustración 42</b>	<b>Métricas de ISIS antes</b> .....	47
<b>Ilustración 43</b>	<b>Direccionamiento de tráfico hacia controladoras</b> .....	48
<b>Ilustración 44</b>	<b>Métricas de ISIS ahora</b> .....	49
<b>Ilustración 45</b>	<b>Trace al GSC1 y 2 desde el AN4 de LA ALBORADA</b> .....	49
<b>Ilustración 46</b>	<b>Trace al GSC1 y 2 desde el AN4 de DURAN</b> .....	50
<b>Ilustración 47</b>	<b>Anillo de ORELLANA de red previa y migrada</b> .....	50
<b>Ilustración 48</b>	<b>Trace en anillo migrado antes y después al GW</b> .....	51
<b>Ilustración 49</b>	<b>Configuración enrutamiento al AN4 antes y después</b> .....	51

<b>Ilustración 50 Configuración de parámetros de enrutamientos.....</b>	<b>52</b>
<b>Ilustración 51 Configuración para eliminación de bucles. ....</b>	<b>53</b>
<b>Ilustración 52 Uptime de sesiones BGP antes y después. ....</b>	<b>54</b>
<b>Ilustración 53 Agregación de enlace de 10GE redundante. ....</b>	<b>58</b>
<b>Ilustración 54 Distribución equitativa de tráfico en smartgroup en AN4 de TARQUI.....</b>	<b>58</b>
<b>Ilustración 55 Alarmas al realizar un corte de FO.....</b>	<b>59</b>
<b>Ilustración 56 Alarmas que se borran al subir el enlace de FO.....</b>	<b>59</b>
<b>Ilustración 57 Horario de corte de luz en PROSPERINA.....</b>	<b>60</b>
<b>Ilustración 58 Tráfico de ipran PROSPERINA después.....</b>	<b>60</b>
<b>Ilustración 59 Sesiones iBGP AN5-AN4. ....</b>	<b>61</b>
<b>Ilustración 60 Sesiones iBGP AN4-AN5.....</b>	<b>61</b>
<b>Ilustración 61 Sesiones iBGP AN4-AN3. ....</b>	<b>62</b>
<b>Ilustración 62 Ruta por defecto en GSA.....</b>	<b>62</b>
<b>Ilustración 63 Ruta por defecto en AN5.....</b>	<b>62</b>
<b>Ilustración 64 Configuración de iBGP.....</b>	<b>63</b>
<b>Ilustración 65 Procesamiento de AN3 y AN4. ....</b>	<b>64</b>
<b>Ilustración 66 Alarmas previas. ....</b>	<b>69</b>
<b>Ilustración 67 Alarmas del 2024.....</b>	<b>69</b>
<b>Ilustración 68 Antes y después de RAM y CPU del AN4 de DURAN.....</b>	<b>70</b>
<b>Ilustración 69 Antes y después de AN3RAM y CPU.....</b>	<b>71</b>
<b>Ilustración 70 Uso de ancho de banda durante 8 semanas en el Core.....</b>	<b>72</b>
<b>Ilustración 71 Uso de ancho de banda durante 8 semanas en el Core.....</b>	<b>73</b>
<b>Ilustración 72 Tráfico RAN para tráfico de celda en UC_1. ....</b>	<b>74</b>
<b>Ilustración 73 Tráfico RAN para tráfico de celda en SAUCES_1.....</b>	<b>75</b>
<b>Ilustración 74 Tráfico RAN para tráfico de celda en DURAN_1.....</b>	<b>75</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Detalles de routers a usar.</i>	40
<i>Tabla 2 Monitoreo tráfico de TX y RX 1era-4ta semana.</i>	42
<i>Tabla 3 Monitoreo tráfico de TX y RX 5ta-8va semana.</i>	42
<i>Tabla 4 Comparación métricas antes y después.</i>	47
<i>Tabla 5 Métricas de ISIS actuales.</i>	48
<i>Tabla 6 Comparación de protocolos usados antes y después.</i>	54
<i>Tabla 7 Tiempos de convergencias nuevas.</i>	56
<i>Tabla 8 Tabla comparativa de cambios topológicos.</i>	57
<i>Tabla 9 Hardware antes.</i>	65
<i>Tabla 10 Hardware después.</i>	66
<i>Tabla 11 Costos de routers previos.</i>	67
<i>Tabla 12 Costo de routers después.</i>	68
<i>Tabla 13 Costos de personal.</i>	68
<i>Tabla 14 Comparación de costos.</i>	68
<i>Tabla 15 Monitoreo tráfico de TX y RX 1era-4ta semana.</i>	72
<i>Tabla 16 Monitoreo tráfico de TX y RX 5ta-8va semana.</i>	72
<i>Tabla 17 Monitoreo tráfico de TX y RX 15va-18va semana.</i>	73
<i>Tabla 18 Monitoreo tráfico de TX y RX 19va-22va semana.</i>	73

# CAPITULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Una empresa privada de telecomunicaciones de la ciudad de Guayaquil enfrenta el desafío de proporcionar una red de transporte de alta disponibilidad y rendimiento que pueda soportar la creciente demanda de servicios móviles UMTS/LTE (Universal Mobile Telecommunications System/ Long Term Evolution) y conmutación de tráfico de estos cuando existan cortes de luz o falla de equipos de acceso en radio-bases en su nivel de red de backhaul. [1]

Esta empresa presenta fallas en la redundancia de los enlaces e indisponibilidad del servicio durante todos los meses del año debido a fallas en el hardware y errores en la configuración en su red, por ende, no puede satisfacer las demandas de ancho de banda y latencia de los servicios modernos lo que resulta en una experiencia de servicio deficiente para los usuarios.

Se sabe que, en los últimos años, han existido transiciones en redes inalámbricas de donde se ha pasado de 2G a 3G y 4G debido la exponencial demanda de servicios móviles. Al mismo tiempo, las redes móviles de backhaul han tenido la necesidad de migrar de jerarquías digitales síncronas SDH (Synchronous Digital Hierarchy) a redes de acceso por radio IP IPRAN (Internet Protocol Radio Access Network) para adaptarse a estos nuevos requerimientos. [2]

La migración hacia tecnologías de fibra óptica es esencial en las redes de nueva generación. Estas redes se presentan como la solución óptima para satisfacer las crecientes demandas de las telecomunicaciones. [3] A medida que las redes se expanden exponencialmente, también aumentan los requisitos de ancho de banda y calidad debido a los nuevos servicios disponibles en el mercado. [4]

Por lo tanto, diversos actores involucrados en la interconexión de sistemas de comunicación (proveedores, empresas, académicos, organismos de normalización, etc.) han centrado sus esfuerzos en estructurar y estandarizar estas redes de nueva

generación, facilitando así la transición adecuada desde los sistemas tradicionales.  
[5]

## **1.2 JUSTIFICACIÓN/PROPUESTA**

La razón de esta migración se basa en que los equipos usados fueron instalados desde el 2017 con configuración desactualizada de routers sin redundancias físicas ni lógicas que causan bucles de enrutamiento y caídas de tráfico constantes en clientes corporativos para una operadora móvil del Ecuador.

Una de las principales causas de este desafío es el uso de un backhaul incorrecto para la red RAN (Radio Access Network). Este cambio a una tecnología IPRAN (Internet Protocol Radio Access Network), ofrece más estabilidad, escalabilidad de servicios y una mayor capacidad para multiservicios.

Específicamente, la migración que se analizará resolverá problemas de sesiones BFD (Bidirectional Forwarding Detection), que causan loops entre routers de distribución que generan pérdidas de paquetes en las sesiones BGP (Border Gateway Protocol) hacia los routers del core dentro de la red MPLS (Multiprotocol Label Switching). También se realizarán cambios en la red lógicos y físicos que generarán una red más redundante y por ende con menos probabilidad de fallas. Este análisis técnico y cambios mencionados en la migración servirán para futuras implementaciones con este tipo de tecnología, ya que tendrá el potencial de generar ahorros de costos en su redundancia y disponibilidad.

Al implementar una red más redundante, se reduce la probabilidad de fallas y caídas de servicios. Esto significa que los usuarios experimentarán menos interrupciones, lo que a su vez reduce los costos asociados con el tiempo de inactividad y la pérdida de productividad, lo que es crucial para empresas que dependen de aplicaciones críticas o servicios en línea. Con un menor tiempo de inactividad, significaría menos pérdida de ingresos y una mejor experiencia para los usuarios.

Debido a que se resolverán estos 2 problemas:

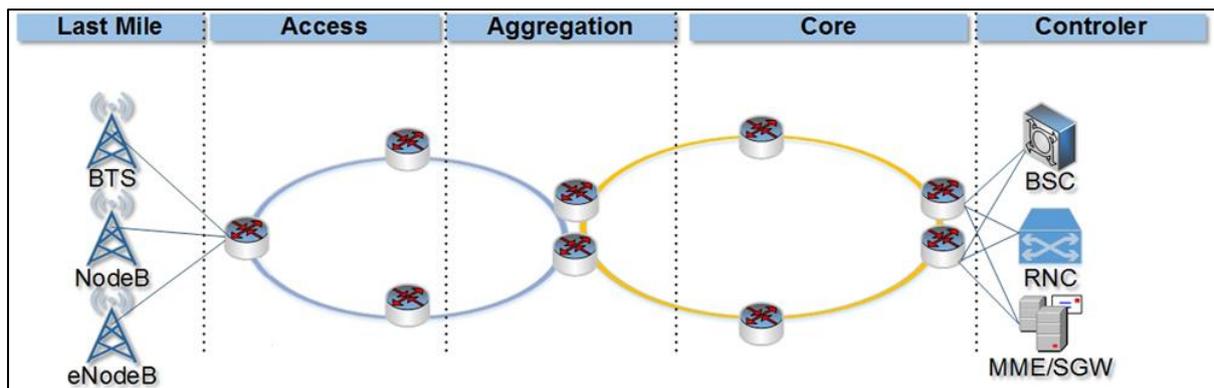
1. Problemas del protocolo BFD de detección de reenvío bidireccional en sesiones BGP cuando existen condiciones de red inestables que causaban que se revocaran las rutas BGP e interrupciones en el servicio

2. Problemas de loops entre routers de acceso debido al cálculo incorrecto de rutas CSPF (Constraint-Based Path Computation). Estos son causados por errores en la configuración de dos procesos ISIS diferentes en un mismo anillo, lo que llevaba a que el algoritmo de CSPF reciba información errónea sobre la topología de la red y se generaban interrupciones en el servicio. En este grupo de routers conectados en forma circular, la información que recibían era incorrecta de cómo están conectados todos los dispositivos. Esto llevaba a que el CSPF calcule rutas incorrectas y, en consecuencia, se formen loops.

Se reducirán las pérdidas de paquetes en las sesiones BGP, esto mejora la calidad del servicio y evita la necesidad de retransmitir paquetes perdidos, lo que puede ser costoso en términos de recursos de red y ancho de banda.

Debido a los enlaces existentes por microondas, se tiene inestabilidad de estas WAN (Wide Area Network) por microondas que existen a 1GE (Gigabit Ethernet) para conexiones lineales hacia nodos del mismo sector, estos suelen fallar cuando existen las constantes lluvias, inferencias, desalineación, etc. que generan que se desconecten de los anillos de acceso y por ende que los servicios de UMTS/LTE se vean afectados y que su tráfico no transite por la infraestructura IPRAN y no tengan acceso al núcleo de la red.

Es importante mencionar que la red IPRAN actúa como un puente entre las radiobases (NodeB y eNodeB) y el núcleo de la red CORE (aquí se encuentran las controladoras de 3G y 4G conectadas directamente llamadas RNC y EPC: Radio Network Controller y Evolved Packet Core) que se encarga de resolver el tráfico de datos y de procesar los servicios a los usuarios finales. El núcleo de una red IPRAN es fundamental ya que es el encargado de dirigir los paquetes de datos desde un nodo a otro, seleccionando la ruta óptima y eficiente a medida que avanzan por la red como se observa en la siguiente imagen:



**Ilustración 1 Capa de CORE en red IPRAN. [1]**

Esta red de transporte IPRAN envía el tráfico de datos y señalización utilizando protocolos IP permitiendo la convergencia de las tecnologías 3G y 4G en una sola infraestructura.

Es por ello, que se realizó la transición y reemplazo de los routers de distribución y acceso a los nuevos modelos de los equipos GSA (Gateway Service Access) modelo 7150, GSD (Gateway Service Distribution) y GSC (Gateway Service Core) de modelo N6000S hacia los nuevos 7120 para el AN5 (Router de Alto Nivel 5), AN4 (Router de Alto Nivel 4) y AN3 (Router de Alto Nivel 3).

Al analizar y planificar cuidadosamente la migración y los cambios en la red, se pueden asignar recursos de manera más eficiente. Esto incluye dimensionar adecuadamente las instancias, optimizar el uso de discos y gestionar las copias de seguridad. La optimización de recursos reduce los costos operativos al evitar gastos innecesarios en hardware, almacenamiento y ancho de banda.

La relevancia de este proyecto radica en su contribución en la mejora de la distribución del tráfico en una IP-RAN que pueda reducir la congestión desde la capa de acceso a la red de core, y modernización de las redes de telecomunicaciones al diagnosticar y analizar los problemas existentes en la red actual, como la falta de redundancia y la incapacidad de satisfacer las crecientes demandas de los servicios móviles, se establece una base sólida para proponer una solución innovadora. La migración a una red IP RAN basada en fibra óptica, junto con la implementación de mecanismos de protección como el fast-rerouting, representa una mejora en la infraestructura de la red, permitiendo ofrecer un servicio de mayor calidad, más confiable y eficiente.

Al evaluar el desempeño de la nueva topología y comparar los resultados con la situación anterior en porcentajes de mejora e indicadores clave de desempeño (KPIs de CPU (%), RAM (%), velocidades promedias, máximas y mínimas de tráfico de recepción y transmisión (Mbps) para los servicios de 3G y 4G), se demuestra de manera tangible el impacto positivo de esta transformación en la experiencia del usuario y en la competitividad de la empresa. Este análisis puede servir para validar y estudiar otros modelos teóricos y simulaciones que se utilizan para predecir el comportamiento de las redes; ya que, al analizar un caso real, se contribuye a generar conocimiento específico sobre las particularidades de la migración de redes IPRAN en un contexto determinado, lo que puede ser de gran utilidad para otros investigadores y profesionales del sector.

Los resultados esperados incluyen un análisis que muestre la mejora en el rendimiento de la red se reflejará en una reducción significativa en el uso de CPU y RAM, gracias a la optimización de la topología y la actualización del hardware. Además, se espera un aumento en las velocidades de transmisión y recepción, tanto para los servicios UMTS como LTE, debido a la migración a una red IP RAN con MPLS y RSVP-TE. Y una mejor distribución del tráfico del uso de ancho de banda en diversos nodos de toda la ciudad de Guayaquil con respecto a los cuellos de botella que antes existían.

En cuanto a la eficiencia en el enrutamiento y la gestión del tráfico, se anticipa que las nuevas configuraciones permitirán rutas más cortas y tiempos de respuesta mejorados para las direcciones IP en cada salto. La reconfiguración de protocolos y la ingeniería de tráfico contribuirán a una mejor distribución del tráfico y una mayor eficiencia operativa del sistema.

Finalmente, se espera un aumento en la resiliencia y continuidad del servicio, con mecanismos de protección efectivos demostrados a través de pruebas controladas de cortes de fibra óptica desde diferentes routers de acceso de la ciudad de Guayaquil a través de los routers de distribución hacia los core respectivos. Estos mecanismos de fast-rerouting asegurarán la continuidad del servicio en caso de fallos, y la comparación de los KPIs antes y después de la migración mostrará una mejora en la capacidad de la red para manejar fallos y mantener la calidad del servicio mediante el gestor NMS de un operador móvil.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.4 OBJETIVO GENERAL**

- Analizar la migración de la infraestructura de una red privada de transporte IPRAN sobre cambios en configuración de parámetros de nuevos protocolos, cambios de topología física e interfaces de routers de acceso, distribución y core, y cambios de nuevo equipamiento para la transmisión de servicios UMTS/LTE para una empresa de telecomunicaciones de la ciudad de Guayaquil.

### **1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Plantear el escenario de la red previa usando el software de simulación Packet Tracer para representar gráficamente la topología de la red en un diagrama, y evidenciar los problemas existentes mediante indicadores clave de desempeño KPIs y gráficas de uso de CPU (%), RAM (%), velocidades promedias, máximas y mínimas de tráfico de recepción y transmisión (Mbps) para los servicios de 3G y 4G.
- Comparar el mecanismo de transporte de datos MPLS de la nueva red IP RAN con la red previa con respecto a las nuevas configuraciones, cambios de equipamiento, migración de la topología física, nuevos protocolos, redundancias en sesiones BGP e ingenierías de tráfico RSVP-TE de nodos de la ciudad de Guayaquil.
- Evaluar el enrutamiento entre los routers de acceso en la elección de la mejor ruta más mediante trazados de ruta para los túneles CSPF desde los routers de acceso, hacia los routers de distribución y core con sus tiempos de respuesta para cada salto en la mejora en la distribución del tráfico en comparación con la red IPRAN original.
- Comprobar la redundancia lógica de los mecanismos de protección creados por rutas de respaldo con técnicas de fast-rerouting a través de pruebas controladas de cortes de fibra óptica en los anillos de acceso para la correcta continuidad de los servicios de red.

## **1.6 MARCO TEÓRICO**

### **1.7 REDES DE COMUNICACIONES MÓVILES**

Con respecto al marco teórico se explicarán los términos necesarios para comprender las definiciones técnicas a usar en este análisis con el propósito de tener una base teórica y un mejor entendimiento. Primero, se inicia planteando los conceptos de red de transporte, fibra óptica, de red IPRAN y de redes de backhaul ya que son conocimientos básicos que se deben tener para plantear el escenario a analizar. Luego se continúa con la definición de los protocolos que manejan este tipo de redes, como OSPF, ISIS, LLDP VRFs, ingenierías de tráfico, MPLS, etcétera. A continuación de esto, se explica el funcionamiento del software y del hardware a implementar en la migración de la red IPRAN. Después, se explican los diferentes tipos de tráfico, como son los de capa dos y los de capa 3, con el fin de entender cómo está estructurada la topología de la red existente. Y finalmente, se explica cómo está conformada la topología física de una red de backhaul con sus capas de acceso de distribución y de core.

Las redes de comunicaciones móviles se refieren al medio de comunicación que implementa la comunicación entre usuarios móviles y usuarios de puntos fijos o entre usuarios móviles. En el ámbito de las comunicaciones modernas, es uno de los tres métodos de comunicación importantes, junto con las comunicaciones por satélite y las comunicaciones ópticas. Las redes móviles se refieren a la infraestructura técnica necesaria para la comunicación entre teléfonos móviles. Sólo las redes de telefonía móvil permiten establecer una conversación o transferencia de datos entre dos dispositivos móviles. La transmisión real se divide en dos áreas. Por un lado, existe una conexión inalámbrica entre el respectivo dispositivo de telefonía móvil y la torre de transmisión más cercana. Por otro lado, existe una transmisión por cable entre los accesos a la red que llama al acceso de los participantes.

La elección del diseño de red en el caso de las redes inalámbricas más adecuado es fundamental para el funcionamiento eficiente de cualquier sistema ya que está estrechamente vinculado a factores como la latencia, la potencia, la velocidad y la redundancia. Las redes modernas están formadas por muchos dispositivos diferentes de distintos tipos ya sea un router, un teléfono inteligente, auriculares Bluetooth o

bombillas inteligentes, cada dispositivo de una red se conoce como "nodo". La topología de red describe cómo los diferentes nodos de una red se conectan entre sí y se comunican.

Las conexiones por fibra óptica (FO) implican usar una tecnología de transmisión por cable que utiliza pulsos de luz para transmitir datos que es más rápida y confiable disponible, y puede proporcionar anchos de banda de hasta 100 gigabits por segundo o más. Sin embargo, la fibra óptica es también la tecnología de transmisión más costosa de instalar y mantener.

En cambio, las conexiones por microonda (MO) implican usar una tecnología de transmisión inalámbrica que utiliza ondas de radio de alta frecuencia para transmitir datos que son menos costosas de instalar y mantener que la fibra óptica, pero también tienen un alcance y ancho de banda más limitados.

Ahora, las redes IPRAN típicamente utilizan una combinación de FO y MO para proporcionar la mejor combinación de rendimiento, costo y confiabilidad. La FO se utiliza generalmente para la red troncal de la red IPRAN, que es la parte central de la red que conecta los nodos principales. Las MO se utilizan generalmente para la red de acceso, que es la parte de la red que conecta los nodos principales a los usuarios finales.

## **1.8 REDES DE BACKHAUL**

Una red de backbone proporciona conectividad de gran ancho de banda entre redes grandes, interconectadas estratégicamente y enrutadores centrales en un área extensa. Si bien las redes de backbone y las redes de retorno son conceptos distintos, están relacionados entre sí. La red troncal se puede utilizar para transportar el tráfico de retorno entre las redes de acceso locales y la infraestructura de red más amplia, y el tráfico de retorno se puede enrutar a través de la red troncal para llegar a su destino final.

La Red de acceso refiere a la red de acceso inalámbrico, también conocida comúnmente como RAN (Radio Access Network). La función de conectar todos los terminales de telefonía móvil a una red es una red de acceso inalámbrico. Las siglas estación base (base-station) hacen referencia a la red de acceso radioeléctrico (RAN).

Una red de backhaul o de retorno, se refiere típicamente al transporte de tráfico de datos entre una red de acceso local (como una torre celular o una RBS radio-base station) y una red más grande y centralizada como Internet o una red corporativa. Estos tipos de redes agregan y transportan tráfico de voz/datos desde estaciones base a redes centrales.

El backhaul puede ser proporcionado por una variedad de tecnologías, incluidos cables de fibra óptica, enlaces de microondas o conexiones satelitales, y está diseñado para proporcionar conectividad de alta velocidad entre la red de acceso local y la infraestructura de red más amplia. A diferencia de las líneas troncales dedicadas de larga distancia, los backhails utilizan una variedad de medios de transporte que incluyen cobre, microondas y fibra óptica. Todos los backhails más nuevos solo se construyen sobre fibra óptica, que tiene la primera opción y la segunda son los backhails inalámbricos fijos. [2]

## **1.9 BEARER NETWORK**

Una Bearer network, red portadora o red de transporte es la red que se utiliza para transportar datos para diversos servicios, que puede ser la red troncal del operador o la red interna de la empresa. La tarea principal de la red portadora es proporcionar servicios de transmisión de datos estables, confiables y eficientes para diversos servicios. Es una estructura de red que se utiliza para transmitir y transportar información. [3]

Según el medio de transmisión, la red portadora se puede dividir en las siguientes tres categorías.

- Redes portadoras de fibra óptica: Utilizando fibra óptica como medio de transmisión, proporciona transmisión de datos de gran ancho de banda y baja latencia.
- Redes portadoras de cobre: utilizan cables de cobre como medio de transmisión y son adecuadas para la transmisión de datos de corta distancia y baja velocidad.
- Red portadora inalámbrica: utiliza tecnología de comunicación inalámbrica (por ejemplo, microondas, satélite, etc.) para la transmisión de datos, adecuada

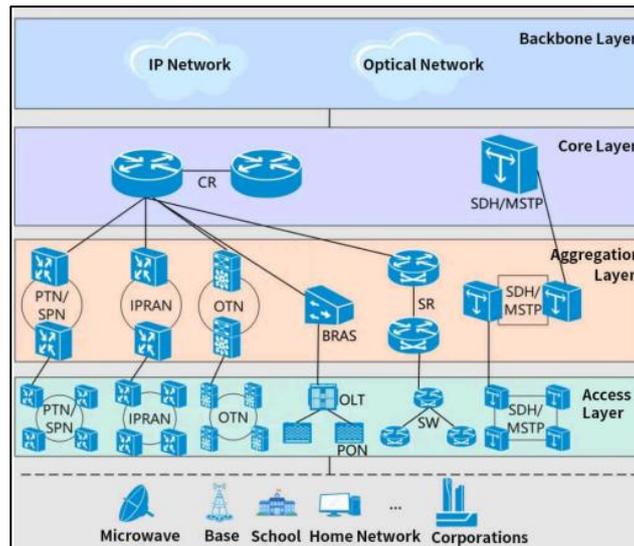
para escenarios donde el cableado no es fácil o se requiere una implementación flexible.

Otra categoría que existe para la red de transporte es por tipo de negocio, la red portadora se puede dividir en las siguientes tres categorías.

- Red portadora fija: transporta principalmente servicios fijos como telefonía fija e Internet de banda ancha.
- Red portadora móvil: transporta principalmente servicios móviles como teléfonos celulares y datos móviles.
- Red portadora multimedia: capaz de transportar múltiples servicios multimedia como voz, video y datos al mismo tiempo.

Por tipo de infraestructura tecnológica, la red portadora se puede dividir en las siguientes tres categorías.

- Red portadora conmutada por circuitos (CSCN): basada en tecnología de conmutación de circuitos, proporciona conectividad estable y ancho de banda fijo.
- Red portadora conmutada por paquetes (PSBN): basada en tecnología de conmutación de paquetes (por ejemplo, IP), proporciona transmisión de datos flexible y asignación de ancho de banda.
- La arquitectura de una red portadora puede variar según diferentes estándares técnicos y escenarios de aplicación. Estas suelen clasificarse en capas de acceso, agregación, núcleo y red troncal. Estas capas son funcionalmente distintas y trabajan juntas para realizar la transmisión de datos y la prestación de servicios como se observa en la siguiente ilustración conformada por la capa de acceso con RBS y antenas, siguiendo por la capa de acceso, capa de agregación, capa de core y finalmente la capa de backbone.



**Ilustración 2 Arquitectura de red de transporte [4].**

En la capa de acceso, la red portadora está lo más cercana al usuario y es responsable de conectar la estación base y otros dispositivos de acceso asegurando la transmisión estable de la señal cableada. La tasa de la capa de acceso suele ser baja y es principalmente responsable de la conexión con los dispositivos del usuario, incluidos WiFi, redes celulares, banda ancha doméstica y otros métodos de acceso. La capa de agregación tiene una tasa más alta que la capa de acceso y es responsable de agregar y reenviar el tráfico de datos desde la capa de acceso proporcionando conectividad de red para las interfaces entre algunos de los elementos de red principales.

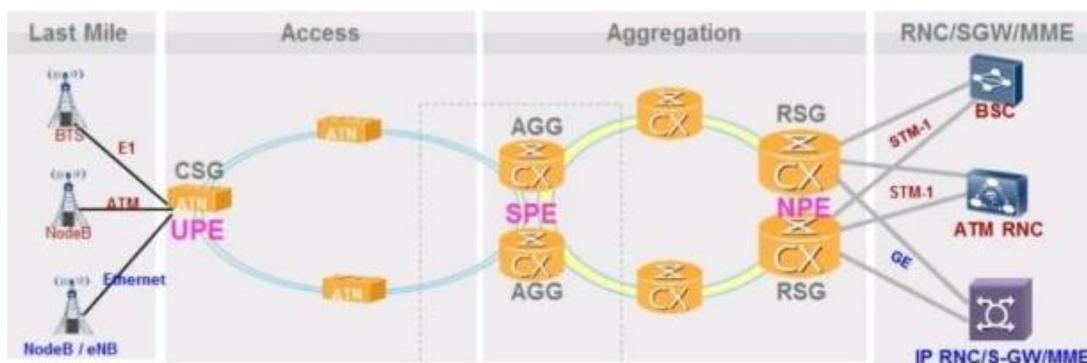
La capa central es responsable del control, la transmisión y el procesamiento de datos de la red de servicios móviles, incluido el plano de control de la red central y el plano de usuario. Y la capa de backbone es responsable de conectar varias capas centrales y realizar la transmisión de datos entre regiones y operadores, proporciona principalmente conectividad de red para las interfaces entre algunos elementos de la red central. [5]

Existen varias tecnologías de transmisión para redes portadoras, incluidas MSTP, PTN, IPRAN, OTN, ASON, WASON, Metro E, DCN, etc. De donde la empresa a analizar posee las tecnologías MSTP, PTN, IPRAN y OTN, pero el análisis se limitará para la red IPRAN cuya definición se explica a continuación.

## 1.10 RED IPRAN

La tecnología IPRAN (IP Radio Access Network) es un tipo de red móvil basada en IP formada de enrutadores como herramientas de transmisión basada en protocolos IP/MPLS, está orientada principalmente al portador de servicios móviles y también tiene en cuenta la provisión de portadores de servicios de canal de Capa 2 y Capa 3. Tiene la capacidad de emulación de circuitos, lo que permite que los servicios TDM se transmitan sin problemas en la red basada en IP; tiene alta confiabilidad y capacidad de protección, que siempre está lista para hacer frente a todo tipo de fallas de red; y puede monitorear el estado de la red en tiempo real, lo cual es muy inteligente y confiable.

Como se puede observar en la siguiente ilustración, se tienen las diferentes capas de una red IPRAN que se explicarán a continuación:



*Ilustración 3 Capas de una red IPRAN [6].*

La red IPRAN por analizar se divide en tres capas lógicas como se describen a continuación:

- La capa de acceso que consiste en GSAs (Gateway Site Aggregation) que son routers de acceso en donde la topología de red puede ser en forma de anillo o en forma lineal dependiendo de las conexiones de fibra entre los equipos instalados y de sus adecuaciones.
- La capa de agregación que consiste en GSDs (Gateway Site Distribution) que son routers de distribución donde se agrega tráfico desde las capas de acceso, aquí, se asignan pares de GSDs para cada área de acceso para mejorar la confiabilidad de los nodos de agregación.

- Y la última capa de core que consiste en GSCs (Gateway Site Core) que son routers de core que se asignan en pares los cuales conectan las controladoras de estación base BSC y las controladoras de radio RNC mediante IPCore.

Una red IP RAN se construye con routers conmutados por paquetes que pueden proporcionar un alto ancho de banda, alta confiabilidad, bajo retardo, bajo costo, servicios completos y calidad de servicio E2E. La tecnología de redes IPRAN se ha convertido en una solución de red convencional para el backhaul móvil. Se utiliza para transportar servicios móviles de voz, multiservicios de banda ancha para satisfacer la necesidad de acceso a estaciones base 2G, 3G y LTE, también servicios de red empresarial y gubernamental de clase portadora para satisfacer las necesidades de los operadores de servicios fijos y móviles.

En comparación con las redes tradicionales conmutadas por paquetes, una red IP RAN introduce BFD, FRR, protección de túneles y tecnologías de convergencia de ruta rápida para garantizar una confiabilidad de nivel de milisegundos y cumplir con el requisito de sincronización de reloj de las estaciones base y el tráfico TDM. La red IP RAN también simplifica la implementación del servicio a través de un sistema gráfico de administración de red E2E. Esto garantiza la red a gran escala y reduce los costos de operación y mantenimiento. [7]

En una red IPRAN (IP Radio Access Network) jerárquica, los anillos de redundancia física son esenciales para asegurar la disponibilidad y la resiliencia de la red. La conformación de los anillos de redundancia para las 3 jerarquías existentes tiene la misma lógica ya que los dispositivos en estas capas están conectados a los nodos de sus capas superiores mediante enlaces redundantes interconectados en un anillo, proporcionando múltiples rutas para el tráfico de datos asegurando así que el tráfico pueda ser redirigido en caso de fallos por su ruta de respaldo.

## **1.11 PROTOCOLOS DE REDES IPRAN CONVERGENTES**

En una red IPRAN (IP Radio Access Network) de transporte MPLS (Multiprotocol Label Switching) convergente, las métricas de enrutamiento son cruciales para

determinar la eficiencia y la calidad del servicio, estas métricas se utilizan para optimizar el enrutamiento y asegurar que los datos viajen de manera eficiente y confiable. La convergencia de MPLS permite una gestión más efectiva del tráfico, mejorando la calidad del servicio y la utilización de los recursos de la red. [8]

Aquí, el Hop Count mide el número de routers que un paquete debe atravesar desde el origen hasta el destino, proporcionando una indicación directa de la distancia en términos de saltos, mientras que el Path Cost es un valor arbitrario asignado a los enlaces por el administrador de la red, permitiendo una mayor flexibilidad en el enrutamiento al considerar factores como el ancho de banda y la latencia; la suma de estos costos a lo largo de un camino se conoce como path length, y ayuda a seleccionar rutas óptimas para asegurar una transmisión eficiente y confiable de los datos. [9]

# CAPITULO 2

## 2 DISEÑO

### 2.1 METODOLOGÍA

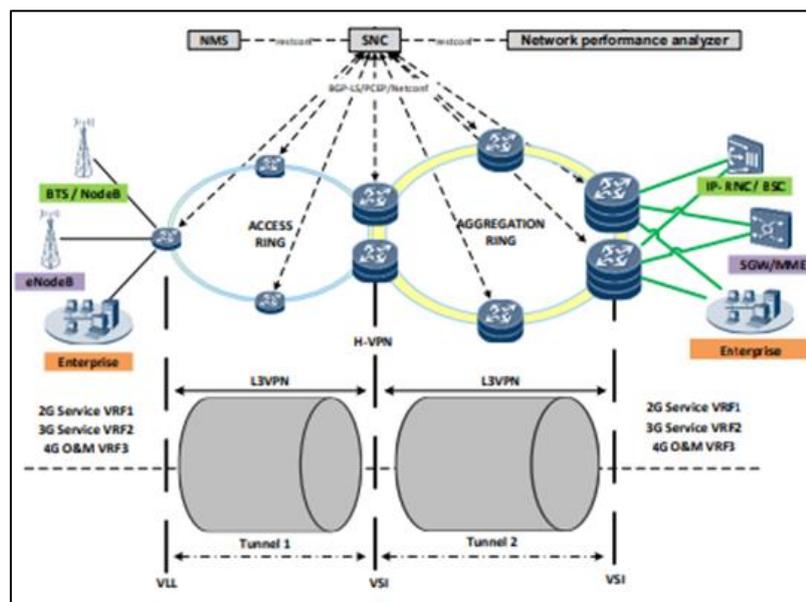
Con respecto a la MET9, se utilizarán conocimientos de la materia registrada de Nuevas Tecnologías de Internet. De acuerdo con el diagrama de bloques de la siguiente ilustración 4, para realizar el análisis correcto se debe tener ya el funcionamiento completo de la red IPRAN de un proveedor de servicios de telecomunicaciones que ofrece servicios de telefonía móvil con su respectiva información documentada de la situación actual, luego de esto se puede proceder a su análisis migratorio en su configuración de parámetros de nuevos protocolos, cambios de topología física e interfaces de routers de acceso, distribución y core, y cambios de nuevo equipamiento para la transmisión de servicios UMTS/LTE

Primero se planteará una visión general de la red existente con los problemas que presenta antes de la migración. También se explicará aquí las limitantes que existen antes de la migración.

Luego se explicará generalmente la visión de la red objetivo que se migrará con sus funcionalidades nuevas considerando los cambios en configuración de parámetros de nuevos protocolos, cambios de topología física e interfaces de routers de acceso, distribución y core, y cambios de nuevo equipamiento, y su respectivo análisis sobre el desempeño de la nueva red IP RAN, que utiliza el protocolo MPLS para transportar datos, en comparación con la red anterior. Para ello, se analizarán diversos indicadores clave como el uso de recursos de los equipos (CPU y RAM), las velocidades de tráfico y los tiempos de respuesta. Además, se evaluará la elección de rutas óptimas entre los routers y la eficacia de los mecanismos de redundancia ante fallas en la red. En concreto, se buscará determinar si las nuevas configuraciones, el cambio de equipos y la implementación de protocolos como RSVP-TE han mejorado la distribución del tráfico, la continuidad de los servicios y la capacidad de respuesta de la red.

Existen desafíos que presenta implementar una red IPRAN en un ambiente multi vendedor, para este tipo de escenarios, el enfoque se realizará para un vendedor específico a nivel de backhaul con routers de acceso, distribución y core. Esta red tiene su propio NMS para su red O&M como se observa en la siguiente figura donde se observa una red IPRAN que conecta las antenas de telefonía móvil con el resto del internet, permitiendo una gestión más eficiente y flexible del tráfico.

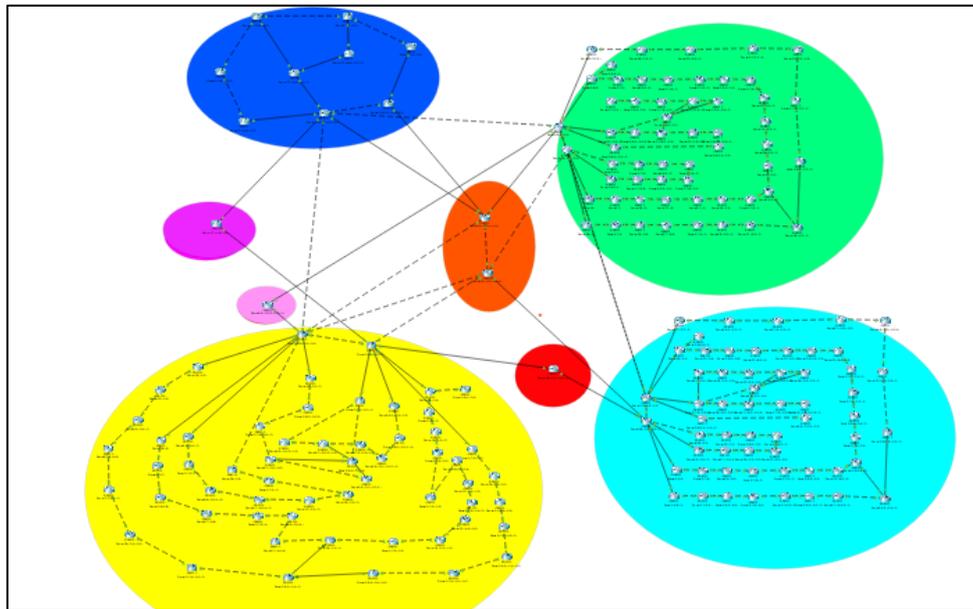
Está compuesta por elementos como nodos de radio base, que se encargan de la comunicación con los dispositivos móviles, y equipos de transporte IP, que enrutan el tráfico a través de la red. Estos equipos utilizan tecnologías como MPLS para garantizar la calidad de servicio y la eficiencia en el transporte de datos. Al utilizar IP, las IPRAN permiten una mayor integración con otras redes IP, facilitando la implementación de nuevos servicios y aplicaciones.



**Ilustración 4 Arquitectura de red usada [10].**

Esta empresa de telecomunicaciones tiene cobertura en todas las parroquias de la ciudad de Guayaquil, sectores como BRAHMA, 25 Y PORTETE, MALL EL FORTIN, BARRIO GARAY, ATARZANA, etc. para las cuales se cuenta con 2 sectores definidos como EL\_SOL, EL\_JORDAN y DURAN estos a su vez cuentan con alrededor de 50 nodos esparcidos estratégicamente para su correcta cobertura de la ciudad. Estos 2 sectores ya definidos a su vez tienen su salida hacia los sectores de VIA A LA COSTA 1 y VIA A LA COSTA 2. Todas estas estaciones están interconectadas entre sí

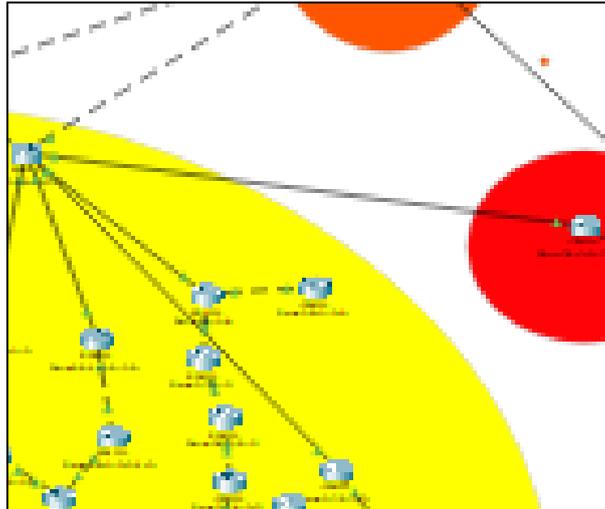
mediante anillos redundantes mallados por fibra óptica dependiendo de su disponibilidad de puertos y tipo de conexión preferida como se observa en la siguiente simulación realizada en el software de Packet Tracer.



***Ilustración 5 Simulación en Packet Tracer de la red previa.***

Se puede observar que se tiene 2 router del core de color anaranjado y 4 anillos con 2 cabeceras para cada uno para la capa de agregación y varios routers de colores celeste, amarillo, verde y azul para la capa de acceso. También se observa que se tienen routers de acceso que se conectan directamente entre routers de agregación interconectando así 2 anillos diferentes y faltando a la jerarquía de la arquitectura de una red IPRAN, los problemas que genera este tipo de conexión se explicarán más adelante.

En esta red, la fibra óptica es el medio de transmisión preferido debido a su ancho de banda superior y su menor atenuación. Los enlaces de microondas se utilizaron donde la instalación de cables de fibra óptica fue difícil o costosa, como en las zonas rurales o para las conexiones temporales. En la ilustración 5 se puede observar estos enlaces de microondas en el anillo amarillo como se observa en la siguiente imagen.



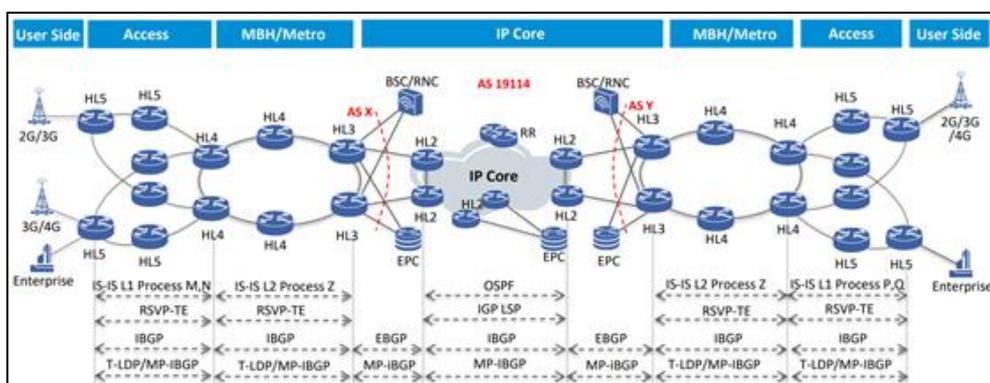
**Ilustración 6 Conexión lineal por microondas.**

También están las conexiones por fibra óptica, cada interconexión de fibra óptica tiene una capacidad de ancho de banda de 10Gbps y las interconexiones por enlace de microonda tiene una capacidad de ancho de banda de 1Gbps.

Esta empresa de telecomunicaciones enfrenta el desafío de proporcionar una red de transporte de alta disponibilidad y rendimiento que soporte la creciente demanda de servicios móviles UMTS/LTE y conmutación cuando existan cortes de luz en radio-bases en su nivel de red de backhaul en los últimos meses con la crisis energética del país.

## 2.2 VISIÓN GENERAL DE LA RED ANTIGUA

La red anteriormente explicada se puede resumir en el siguiente diagrama:

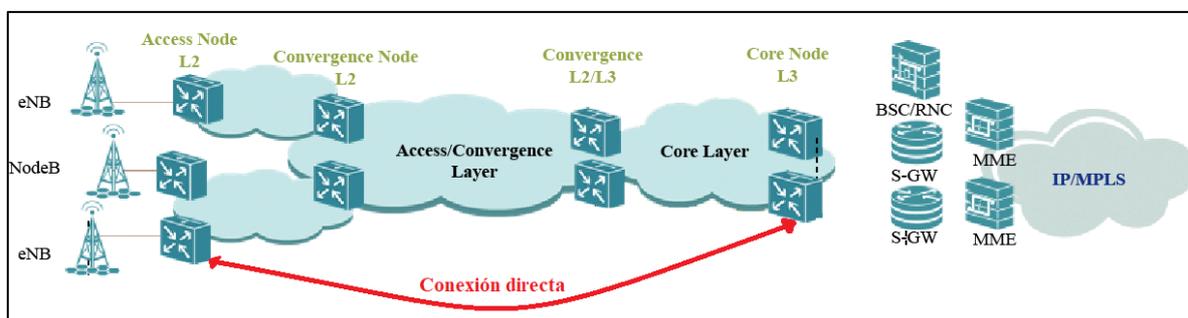


**Ilustración 7 Red previa.**

Los anillos de acceso son principalmente anillos pequeños con un ancho de banda de GE/10GE. El ancho de banda de la capa de distribución es de 10GE. La arquitectura proporciona una red fusionada y unificada para servicios móviles. En los extremos de los routers de core se tiene la conexión directa a los RNC respectivos para UMTS y de LTE, y conexión directa con la red IP CORE de otro proveedor.

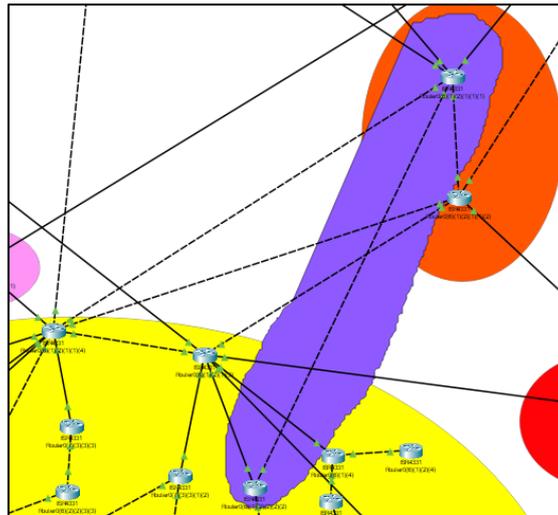
El diseño antiguo de la red incluye los protocolos de IS-IS y RSVP-TE. El nivel 1 de IS-IS esta implementado para anillos de acceso y el nivel 2 de IS-IS se implementa en la capa de metro/distribución para crear un área troncal. RSVP-TE se implementa para el LSP de túnel. Las sesiones entre dos pares de IBGP se establece entre GSA-GSD y GSD-GSC

A continuación, se detallan los siguientes errores por ejecución de malas prácticas en la red, como por ejemplo la violación de la arquitectura jerárquica que se trata de una conexión directa no autorizada que se salta la jerarquía de una red IPRAN de la capa de distribución como se observa en la siguiente ilustración.



**Ilustración 8 Ejemplo de saltos jerárquicos en una red IPRAN.**

Aquí, se tiene una topología que no cumple con la jerarquía de una red IPRAN ya que se salta la capa de distribución cuando se realizan conexiones directas entre los routers de acceso con los routers core como se observa a continuación en la red previa en las zonas resaltadas en rosado y rojo.



**Ilustración 9 Evidencia de conexión directa entre un router de acceso y core.**

Al conectar directamente un router de acceso con uno core, se pierde la redundancia proporcionada por los routers de distribución, lo que podría afectar la disponibilidad de la red. Los routers de distribución permiten segmentar la red y aplicar políticas de seguridad. Al omitirlos, se reduce la capacidad de aplicar políticas de control de acceso y segmentación adecuadas.

Cuando existen estas faltas de energía, los GSA suelen reiniciarse y buscan llenar su tabla de enrutamiento con las rutas que aprenden de los demás routers, pero se encuentran con 2 rutas BGP con la misma prioridad a la misma cantidad de saltos y las rutas BGP se tienden a revocar. Esto se puede observar en las alarmas que presentan los equipos que escogen por CSPF su ruta más corta hacia ese GSC:

```
%BFD% SessionInfo : [Session Down For FTM_UP_DOWN]Ld:20038/Rd:106, Protocol BGP, multiHop, VpnId:0, Local/Peer:10.0.0.X/10.0.1.X
%BFD% SessionInfo : [Session Down For FTM_UP_DOWN]Ld:20049/Rd:57, Protocol: BGP,multiHop, VpnId: 0, Local/Peer:10.0.0.X/10.0.1.X
%BFD% SessionInfo : [Session Down For FTM_UP_DOWN]Ld:20047/Rd:39, Protocol: BGP, multiHop, VpnId:0, Local/Peer:10.0.0.X/10.0.1.X
```

**Ilustración 10 Alarmas de los CSPF hacia el core.**

Desde el momento en que se produce la alarma y el momento en que se borra, la alarma BGP BFD es una alarma de apagado instantáneo cada  $100\text{ms} \times 3$ , sin embargo, el mecanismo BGP BFD es que cuando la sesión BGP BFD está inactiva, no solo el vecino BGP está inactivo, sino que también las rutas BGP relacionadas serán revocadas, hasta que la sesión BGP se restablezca y las rutas relacionadas se redistribuyan nuevamente. Al verificar el path LSP principal del GSD cuando se tiene

una red inestable por apagado de equipos, el LSP principal se interrumpe y cambia al LSP slave. Y durante el encendido de este equipo, se produce una pérdida de paquetes BGP BFD y luego se desencadena la interrupción de la sesión BGP BFD.

El tiempo de negociación del túnel LSP BFD es de 10 ms\*3, que es mucho más corto que el tiempo de espera del BGP BFD. El túnel debería haber cambiado al LSP de reserva activa antes de que el BGP BFD detectara alguna pérdida de paquetes, como se esperaba. Aunque el cambio del túnel LSP de reserva activa es rápido, aún causa pérdida de paquetes BFD, lo que genera una alta probabilidad de provocar la caída de la sesión BFD y la caída del vecino BGP, lo que provoca la caída de los servicios.

Esta situación de usar BFD sobre BGP representa un riesgo mayor ya que está configurado en toda la red y existe el riesgo de que cuando se produzca un cambio de red inesperado, la sesión BGP BFD posiblemente se interrumpa antes de la convergencia de rutas y el cambio HSB del túnel. Y la interrupción de la sesión BGP provocará que se revoquen las rutas BGP relacionadas, lo que afectará a los servicios móviles (L3VPN).

Una solución a esto es usar la función de PEER BFD para reemplazar BGP BFD ya que este último es menos seguro. La protección PEER BFD puede lograr un efecto similar, a diferencia es que cuando la sesión BFD está inactiva por alguna detección de falla, el estado del vecino BGP se mantendrá y solo activará el cambio Fast Re-routing en vez de revocar las rutas IBGP principal y backup, en cuyo caso el servicio no se verá afectado. Para este caso, la solución implicará borrar las configuraciones de BFD BGP ipv4 en el GSD y GSA en los equipos respectivos que incluyen borrar los comandos:

```
neighbor GWA fall-over bfd interval 100 min-rx 100 multiplier 3
neighbor 10.0.0.x fall-over bfd interval 100 min-rx 100 multiplier 3
neighbor 10.0.0.x fall-over bfd interval 100 min-rx 100 multiplier 3
```

### ***Ilustración 11 Configuración de vecinos IBGP.***

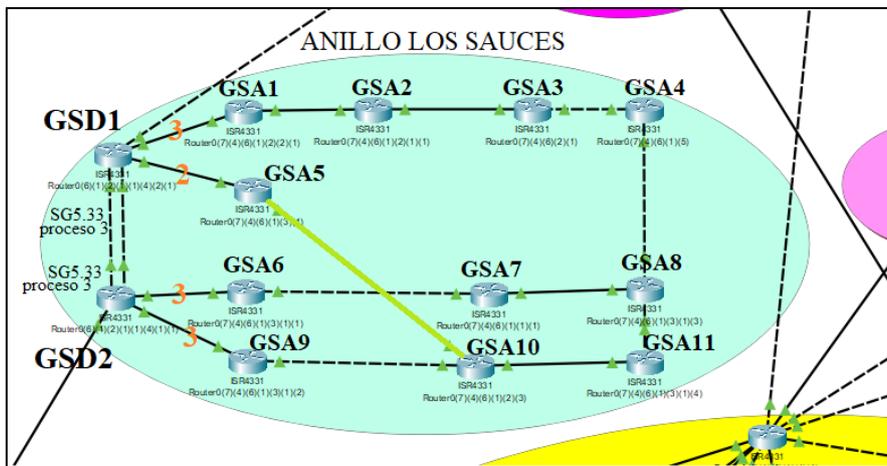
Luego configurar el nuevo protocolo PEER BFD en ambos equipos que incluyen los comandos:

<pre> On GSA configure terminal bfd session TO_GSD1 peer-bfd ipv4 &lt;local loopback ip&gt;&lt;remote loopback ip&gt; time-negotiation interval 150 min-rx 150 multiplier 3 exit session TO_GSD2 peer-bfd ipv4 &lt;local loopback ip&gt;&lt;remote loopback ip&gt; time-negotiation interval 150 min-rx 150 multiplier 3 exit exit </pre>	<pre> On GSD bfd session PeerBFD_2230 peer-bfd ipv4 &lt;local loopback ip&gt;&lt;remote loopback ip&gt; time-negotiation interval 150 min-rx 150 multiplier 3 exit session PeerBFD_109 peer-bfd ipv4 &lt;local loopback ip&gt;&lt;remote loopback ip&gt; time-negotiation interval 150 min-rx 150 multiplier 3 exit exit </pre>
---	---

**Ilustración 12 Configuración de BGP.**

Y finalmente verificar que la sesión BGP quede como “establecida” y que la sesión PEER BFD este UP, y validar llegada de servicios móviles desde sus VRFs hacia el core.

Otro problema de la red previa es la formación de lazos dentro del proceso de IGP para 2 anillos L1 interconectados entre sí generando pérdida de paquetes. Esto se debe por fallas en los cálculos de ruta de los túneles MPLS-TE y rutas CSPF desde el GSD1 hacia los GSA del anillo de LOS SAUCES como se observa en la siguiente ilustración.

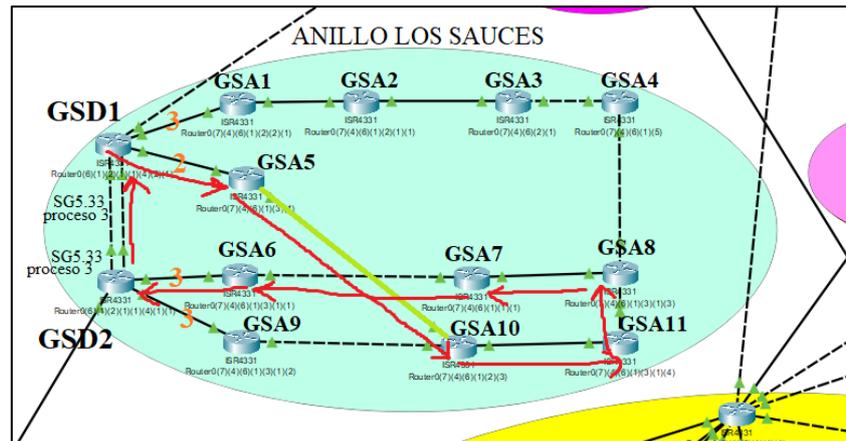


**Ilustración 13 Topología de Anillo Los Sauces con problema de loop.**

Aquí se puede descubrir que el túnel TE desde el nodo principal GSD1 al dispositivo GSA1 se calcula a partir del proceso ISIS 2 ya que el proceso de IGP se decide por el menor ID de su proceso ISIS que son 2 y 3. Se puede observar que entonces el camino calculado por CSPF para ir del GSD1-GSA1 no se escoge la ruta más cercana, sino que su salida al GSA1 se ve obligada a través del GSA5 cuyo puerto pertenece al proceso ID 2.

Al llegar al GSA5 se topa con la conexión de color verde que pertenece al proceso ID 3, esta genera problemas al interconectar 2 anillos que deberían estar aislados lógicamente ya que poseen IDs diferentes dentro del mismo nivel L1 y sus rutas para cada proceso no están importadas una con la otra.

El camino que sigue es el siguiente como se observa en la siguiente ilustración.



**Ilustración 14 Lazo en anillo por interconexión de ISIS 2-3.**

Al ordenar la ruta TE de acuerdo con la información anterior, la ruta del túnel TE pasa por las líneas rojas desde el GSD1, la primera línea roja entre GSD1-GSA5 es instancia 2, la segunda línea roja entre GSA5-GSA10 es instancia 3 y luego vuelve a su inicio en GSD1 generándose así un lazo lógico.

Durante la caída de servicios, el GSD1 aprende 2 rutas iguales hacia GSA1 por diferentes procesos. Durante el cálculo de la ruta CSPF, se prefiere el proceso con un ID de proceso ISIS más pequeño. En el proceso ISIS 2, en ese momento, el protocolo MPLS-TE verifica que el nodo principal de la ruta del túnel sea la loopback del GSD1y la ruta pasa nuevamente por el nodo GSD1. Como resultado, falla la detección de bucles y el túnel no puede estar en funcionamiento. La ruta se vuelve a calcular a GSD1, lo que provoca un bucle en el cálculo de la ruta. Como resultado, el túnel TE deja de funcionar, lo que afecta a los servicios. Como solución a este problema se plantea la rectificación de proceso mixto de ISIS ya que el camino original debe ser escogido por el GSA1 que tiene el ISIS PROCESS ID 3 que puede ser de dos maneras:

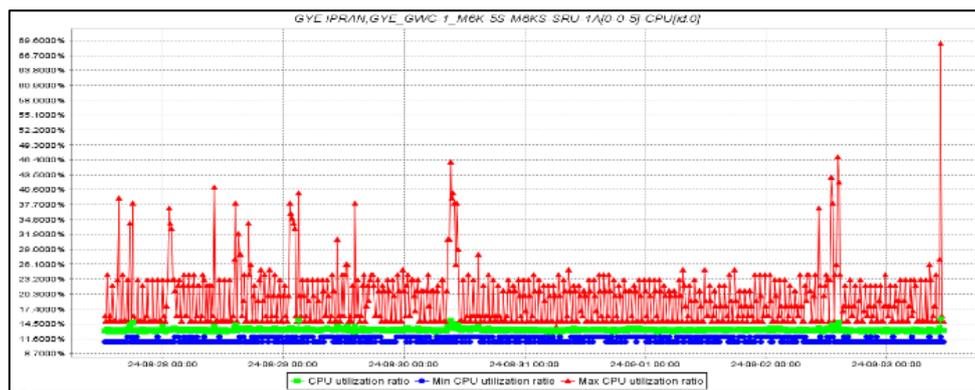
- 1.- Borrar el link entre el GSA5-GSA10

2.- Añadir el GSA5 al proceso ISIS 3 incluyendo el nuevo link entre GSA5-GSA10 a ese nuevo proceso 3.

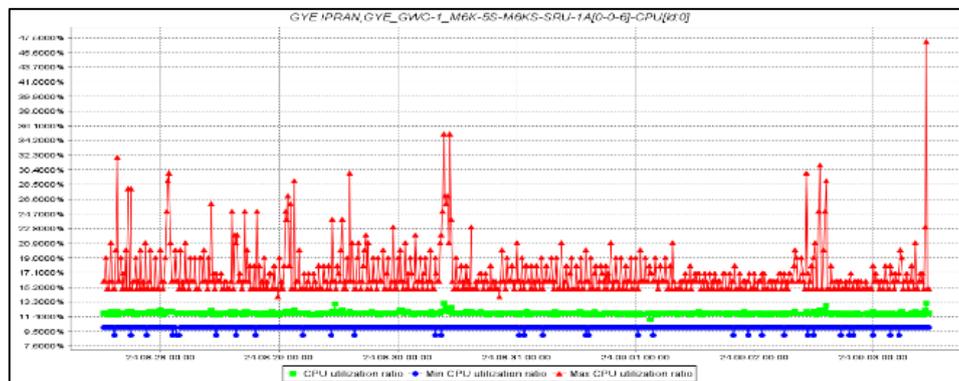
De esta manera se tendrán los anillos aislados y el proceso de cálculo de CSPF puede seguir con éxito a su destino.

En la red antigua existían problemas de duplicidad de IPs en donde un mismo paquete de datos con una dirección ip específica está siendo enviado varias veces a través de la transmisión de la red MPLS debido a la falta de conocimientos de los ingenieros de la red. Aquí el protocolo MPLS tenía dificultades para rastrear y enrutar los paquetes en toda la red ya que no se tenía un direccionamiento único. En este contexto, al haber múltiples paquetes con la misma dirección IP y la misma etiqueta, se tienden a descartar algunos de ellos, lo que resulta en pérdida de paquetes.

A continuación, se validó el consumo de RAM en un periodo de 6 meses en las 2 cabeceras GSC1 y 2 como se observa en la siguiente imagen:



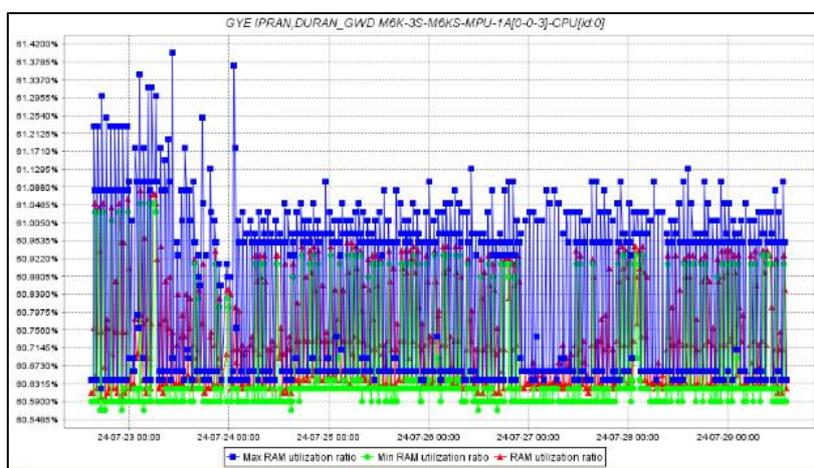
**Ilustración 15 RAM para GSC1**



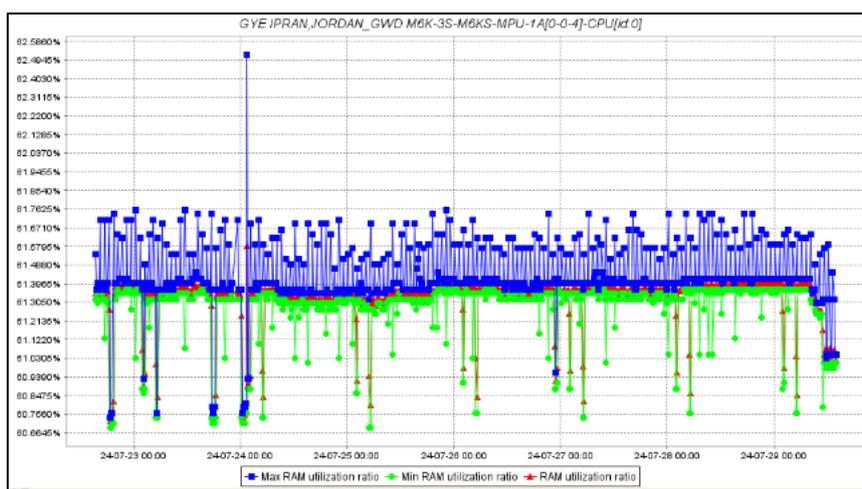
**Ilustración 16 RAM para GSC2.**

En donde se observa que los rangos del consumo de CPU van desde un mínimo de 16% a un máximo de 47% teniendo un promedio de 11% en un rango de 1 semana para el GSC1. Y para el GSC2 se observa que los rangos del consumo de CPU van desde un mínimo de 14.5% a un máximo de 69.6% teniendo un promedio de 11.6% en un rango de 1 semana.

También se tiene una gráfica del uso de RAM para 2 cabeceras de nodos grandes antes de la migración de los GSD1 y 2 como se observa a continuación.



**Ilustración 17 RAM en GSD1.**

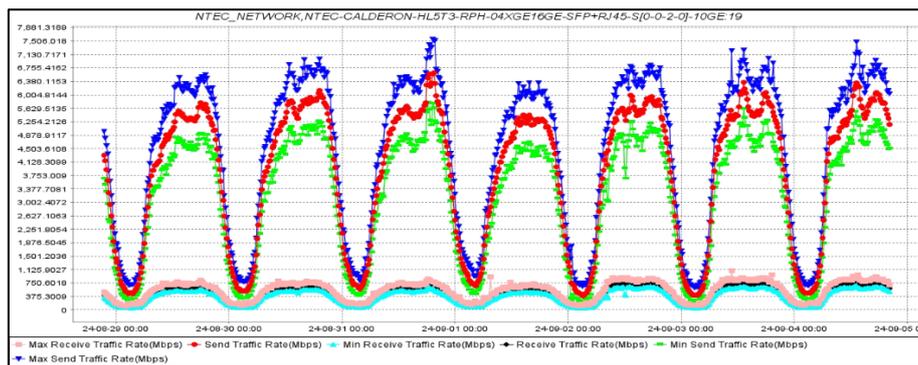


**Ilustración 18 RAM en GSD2.**

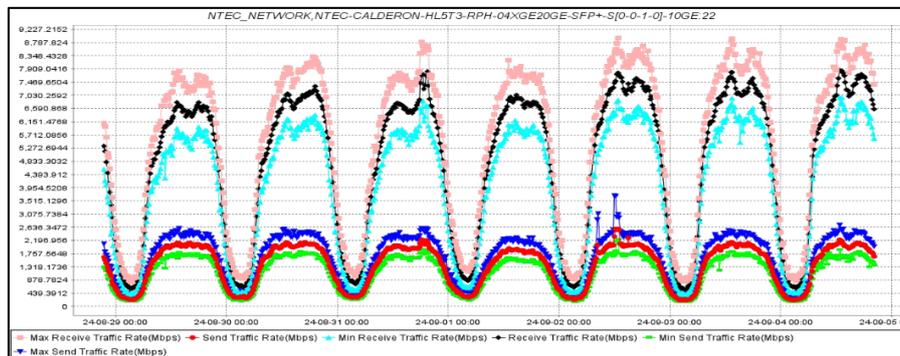
En donde se observa que los rangos del consumo de RAM van desde un mínimo de 60.57% a un máximo de 61.42% teniendo un promedio de 60.83% en un rango de 1

semana para el GSD1. Y para el GSD2 se observa que los rangos del consumo de RAM van desde un mínimo de 60.66% a un máximo de 62.58% teniendo un promedio de 61.39% en un rango de 1 semana.

Existen diversos problemas de red actual como saturación de enlaces WAN entre centrales en determinados momentos del día o de la semana lo que indica que la configuración tanto física como lógica no permite el manejo del tráfico como se observa en la siguiente imagen.



**Ilustración 19 Saturación de enlaces 1**

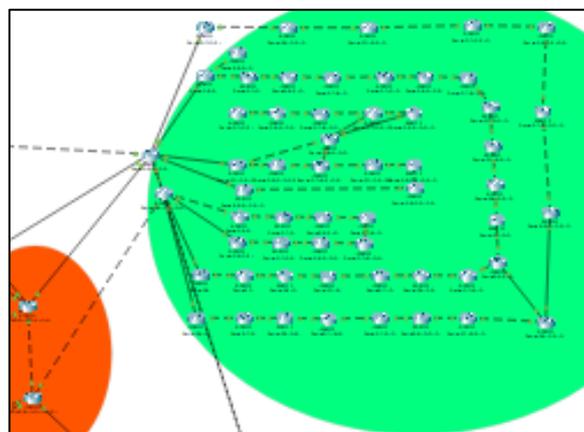


**Ilustración 20 Saturación de enlaces 2.**

Se observan dos gráficas con el tráfico medido en Mbps de un tráfico saliente y entrante, para la primera gráfica de un GSD2 de un anillo llamado Guasmo se tiene un tráfico mínimo de 375Mbps y máximo de 7881Mbps con un promedio de 4878Mbps, luego en el segundo gráfico de otro anillo llamado Guayaquil Sur se tiene un tráfico mínimo de 439Mbps y un máximo de 9227Mbps con un promedio de 5712Mbps.

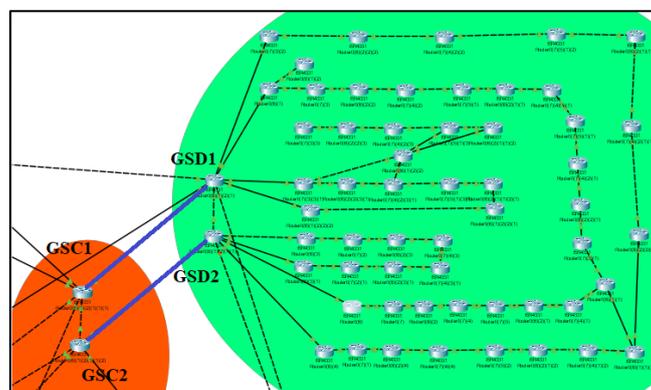
En ambas gráficas se observan cuellos de botellas ya que el ancho de banda que se tiene para su enlace es de 10GE y los valores de los tráficos de tx y rx para esa semana se acercan a este valor.

En la red previa se tienen problemas de faltas de creación de enlaces redundantes lógicos para sesiones del protocolo IBGP dentro del mismo AS entre routers de distribución y core, por ejemplo, en la siguiente ilustración se tiene el anillo de La Kennedy que tiene 2 cabeceras GSD1 y GSD2 con 57 GSAs, los 2 routers cabeceras tienen a su vez conexiones con otros GSDs de otros anillos y 2 conexiones directas con los GSC1 y 2 como se observa a continuación.



**Ilustración 21 Anillo de Kennedy.**

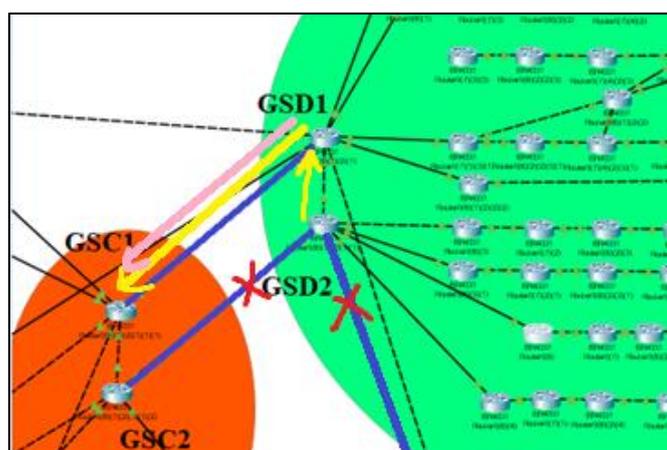
En este caso en específico, la conexión entre los GSD1 y GSD2 conforman un enlace entre ellos donde, en un escenario ideal, se debería enrutar el tráfico de cada uno independientemente al GSC1 y 2 ya que cada uno debe tener configurada su propia salida al core como se observa a continuación.



**Ilustración 22 Conexión lineal entre GSDs y GSCs.**

En este escenario, el GSD2 a pesar de tener una conexión física al GSC2, lógicamente sí existe un túnel MPLS-TE pero no tiene ninguna sesión BGP apuntando hacia su loopback por lo que no va a poder enviar su tráfico de 3G Y 4G por su conexión directa al core sino que mediante su enlace entre su otra cabecera llamada GSD1 enviar el tráfico al GSC1, es decir la ruta elegida será GSD2-GSD1-GSC1.

También se puede observar que a pesar de que el GSD2 tiene otras salidas a otros anillos y estos sí tienen conexiones lógicas con el core, estas tendrían más saltos hasta llegar al GSC y el CSPF no va a tener otra opción que buscar su ruta más corta que es hacia su colateral del mismo anillo Kennedy GSD1, causando así una saturación del enlace GSD1-GSC1 como se ilustra en la siguiente imagen.

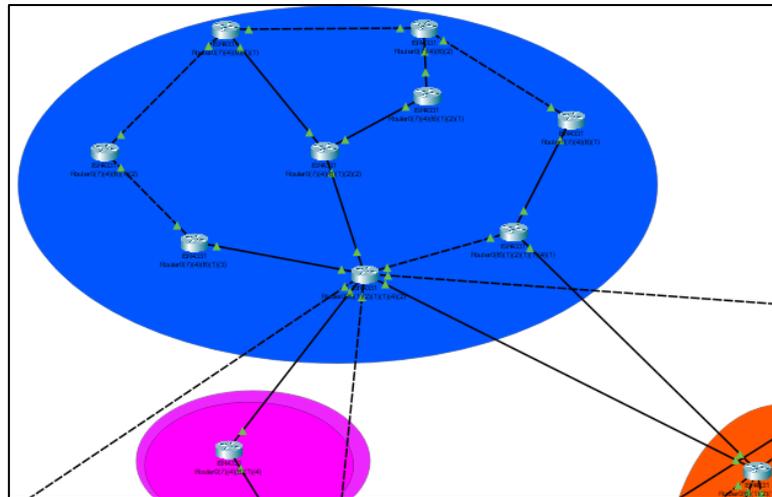


**Ilustración 23 Falta de enlace IBGP entre GSD2-GSD2.**

Acá se puede observar que el GSD2 tiene 2 posibles rutas de las cuales la primera no tiene sesión BGP y la segunda no es su mejor ruta hacia el core por lo que el algoritmo CSPF elige que el tráfico que llega al GSD2 de los 57 GSAs salga por GSD1-GSC1 dentro del mismo sistema autónomo.

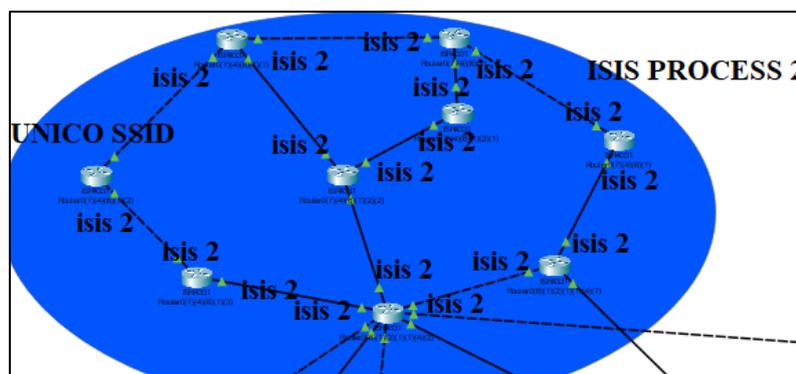
La solución que se plantea es que existan sesiones IBGP para cada GSD con los GSC1 Y 2 y que así exista una red convergente para que nos cuellos de botella se disminuyan.

Este mismo comportamiento sobre falta de sesiones IGP redundantes se puede observar en las redes de los sub-anillos pero en la capa de acceso como se observa a continuación:



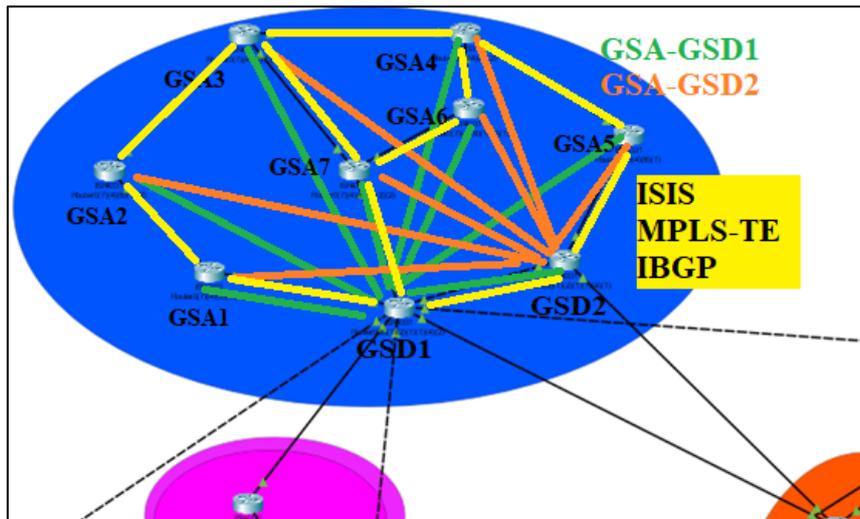
**Ilustración 24 Anillo de acceso ORELLANA.**

Se puede observar el anillo llamado Orellana con 2 cabeceras GSD1 y GSD2 con 8 GSAs interconectados entre si en una red mallada, entre los GSAs de nivel 1 debe existir sesiones ISIS L1 según la jerarquía de una red IPRAN con cada uno con un único SSID y un mismo PROCESS ID como se observa en la siguiente ilustración.



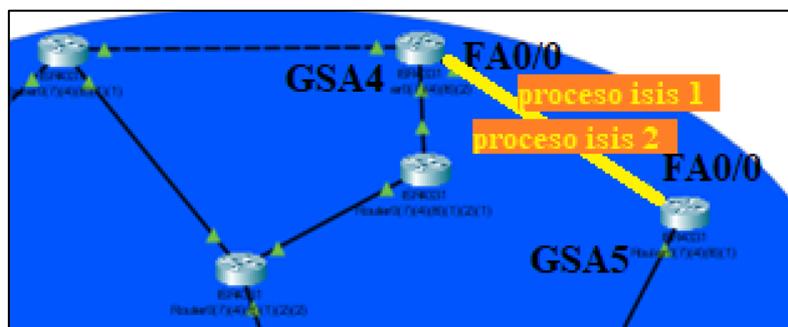
**Ilustración 25 Adyacencias IGP IS-IS de nivel 1 L1.**

En un escenario ideal cada GSA tiene la información de estado de link de su propia área para toda la topología dentro del área en donde se realizan cálculos de SPF hacia otros routers L1 con el fin de formar adyacencias en ISIS, también tienen túneles MPLS-TE y sesiones IBGP cada uno con los GSD1 Y GSD2 como se observa a continuación.



**Ilustración 26** Uso de protocolos en red previa.

En este caso, a pesar de que exista una red física mallada, lógicamente el anillo no está cerrado ya que al validar la tabla de enrutamiento de los routers GSA4-GSA5 estos tienen su sesión IGP establecida pero los puertos entre ellos se encuentran en diferentes procesos como se observa a continuación.



**Ilustración 27** ISIS en procesos diferentes.

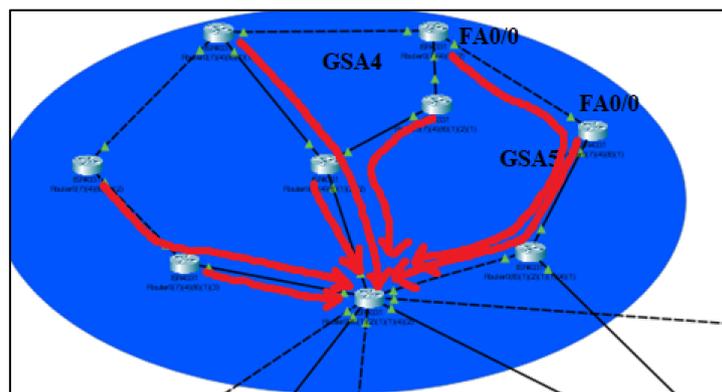
Al estar los puertos fa0/0 en los dos GSA en procesos diferentes, se tiene el anillo abierto y por ende no se tiene redundancia lógica ese camino en caso de fallas.

Al solo tener un camino este GSA hacia sus 2 cabeceras GSD1 y GSD2, ambos túneles salen por la misma interfaz tendiendo así que ambos túneles principal y backup salen por el mismo camino mediante sus rutas estáticas por los túneles MPLS-TE, por lo que los túneles hot-standby dinámicamente no tiene otra salida por donde llegar a los GSD.

La solución implica corregir el puerto fa0/0 en el GSA4 desde el proceso 1 al proceso 2 y la mejora de ingenierías de tráfico para que la ruta CSPF mediante MPLS-TE tenga una ruta explícita para llegar a los GSD.

Para el caso de nuevos enlaces de 10GE entre dos GSA para el proceso de despliegue, por ejemplo, creación de un cuarto enlace entre GSA4 y GSA7 como se observa en la ilustración 22, se crearía la adyacencia ISIS con preferencia mayor a 10 ya que ese es el valor por defecto de su métrica.

En el mismo anillo se tienen 2 casos para la elección de la ruta más corta, aquí se puede realizar la creación de un explicit path mediante ingenierías de tráfico. La mezcla de la ruta más óptima y el uso de explicit paths deberán proporcionar garantías de rutas muy estrictas a través de un explicit path entre dos routers definiendo explícitamente el camino más corto como se observa en la siguiente imagen:



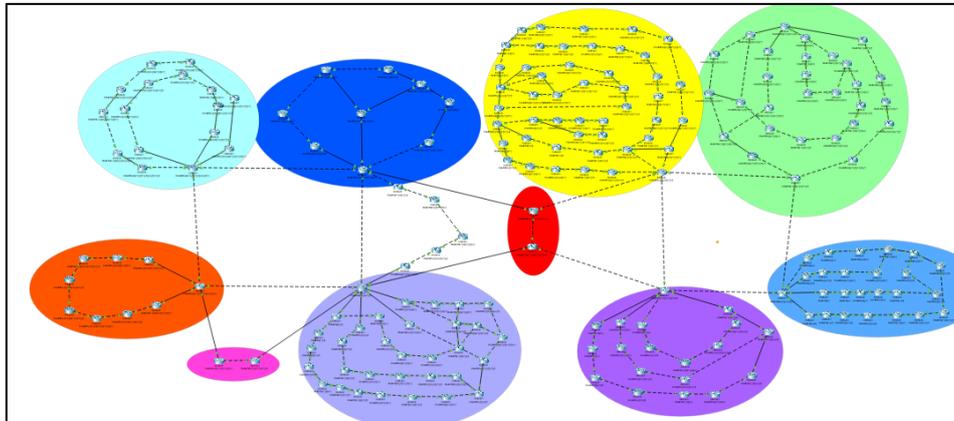
**Ilustración 28 Elección de mejor ruta por configuración de TE-TUNNEL.**

Como en este caso se observan las mejores rutas configuradas con ingenierías de tráfico mediante configuración de siguientes saltos IP que apuntan a las loopbacks de los GSD respectivamente.

## **2.3 VISIÓN GENERAL DE LA RED OBJETIVO Y PROCESO DE MIGRACIÓN**

Después de la migración se tendrán los equipos reemplazados tanto en su parte de acceso y distribución y core con elección de ruta para su ingeniería de tráfico con la ruta más corta y la mejor hacia los dispositivos de CORE, mejor manejo de tráfico y

redundancias en caso de cortes y calidad de servicio para su servicio de UMTLS y LTE quedó una topología como se muestra a continuación.

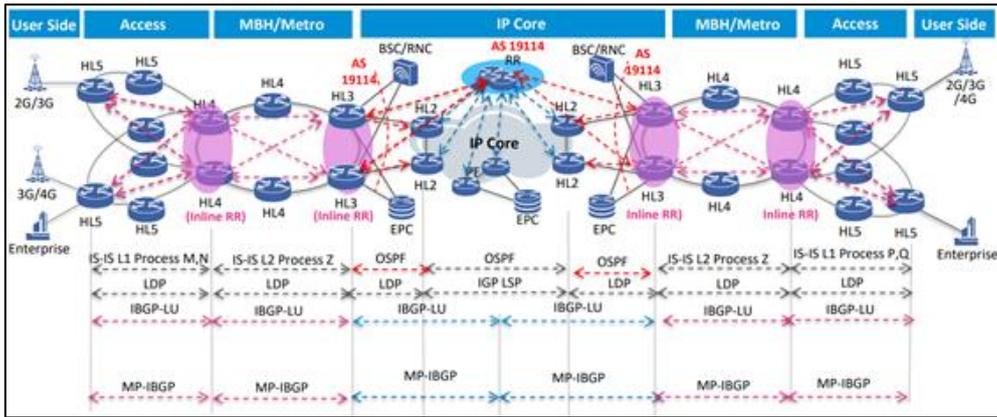


**Ilustración 29 Red migrada.**

De donde se armó la topología de tal manera que exista una redundancia física para los 8 anillos que conforman la red migrada con cada anillo conectado entre así mediante enlaces de 100GE para el nivel de agregación y core, enlaces de 10GE para los enlaces de los AN5 de cada anillo. En el anillo central de color rojo se puede observar los AN3 que tienen la salida para los AN2 hacia la red de datos, también se observa el anillo de color fucsia que incluye los GSC1 y 2 de la red previa donde están las controladoras.

También para los puertos que conectan a las RBS, se los expandirá a 10g en donde se unirán servicios UMTS y LTE.

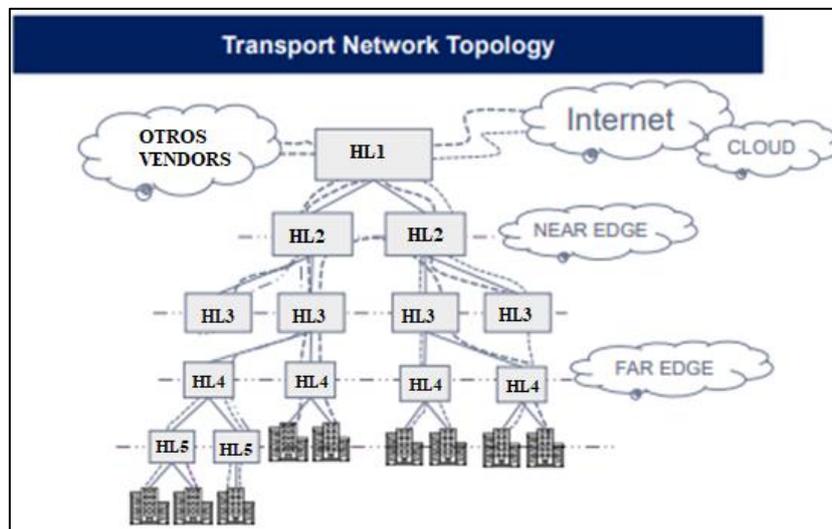
La red objetivo se tienen cambios como la capacidad de los anchos de banda expandida a 10GE para los anillos de acceso y 100GE para la capa de distribución, tanto la red IPRAN como para la red IP CORE usarán un valor diferente para el AS para BGP para todos los niveles de GSA, GSD y GSC.



**Ilustración 30 Arquitectura de la red objetiva.**

La migración consiste en cambios de hardware en los anillos de acceso y distribución en donde los nuevos enlaces para la red de distribución serán de 100G y se realizarán nuevas conexiones a nivel de distribución y acceso para aumentar la redundancia de la red.

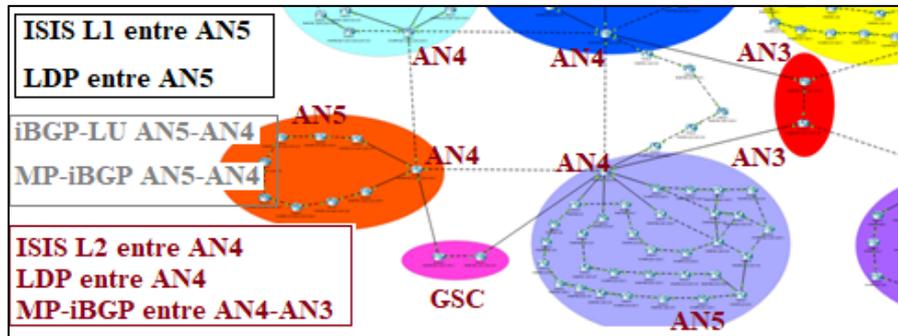
La topología seguirá la misma jerarquía planteada en el marco teórico sobre redes IPRAN la cual se observa a continuación:



**Ilustración 31 Topología lógca de red migrada con AN5, AN4 y AN3.**

Dentro de IPRAN, el diseño IS-IS sigue siendo de nivel 1 para los anillos de acceso y de nivel 2 para la capa de distribución. OSPF se implementa en el borde de IPRAN e IP Core para completar la conexión IGP para toda la red en el mismo dominio AS con

el uso de jerarquías ISIS en nivel 1 y 2, los niveles 1 corresponde a OSPF y el nivel 2 corresponde a la red de backbone.



**Ilustración 32 Protocolos usados en red migrada.**

Este protocolo LDP funcionará en el descubrimiento dinámico de nuevas redes entre los routers AN5 de acceso y AN4 de agregación, esto permitirá a los routers intercambiar información rápidamente sobre las etiquetas MPLS mediante adyacencias LDP en instancia 1.

En la solución IP-RAN existente, todos los NE están distribuidos con su plano de control y reenvío. Por tanto, el cálculo del camino es local con el NE y la solución es distributiva. Todo el cálculo de la ruta más corta desde el nodo de origen al nodo receptor se basa en una ruta explícita estricta o flexible, que se especifica manualmente con restricciones de ruta.

Generalmente, para las migraciones de redes de backhaul se deben realizar planificaciones de los trabajos tanto de ingeniería como de infraestructura, las ventanas de mantenimientos, información a los clientes para falta de servicio en el horario establecido, monitoreo de servicios de los nodos, etc.

## **2.4 TOPOLOGÍA, CONFIGURACIÓN DE LOS ROUTERS Y CAMBIOS DE HARDWARE**

Con respecto al cambio de topología, para expandir los enlaces que existían por MO de 1GE hacia enlaces de FO de 10GE se deben tener en cuenta la cantidad de SFPs disponibles a 10km y 80km a 10GE, cantidad de patchcords y odfs instalados en las RBS, valores ópticos dentro del rango, etc.

Como mecanismo de protección de las tarjetas de línea, para los anillos que tienen más de 20 equipos AN5 se usará otra tarjeta de línea de 10GE para las nuevas conexiones entre los AN5 y AN4 con el propósito de que si existen fallas en uno de los slots de los AN4, no se caiga el anillo entero que tiene como entrada y salida a un único AN4, sino que pueda conmutar con la 2da tarjeta y los servicios no se vean afectados.

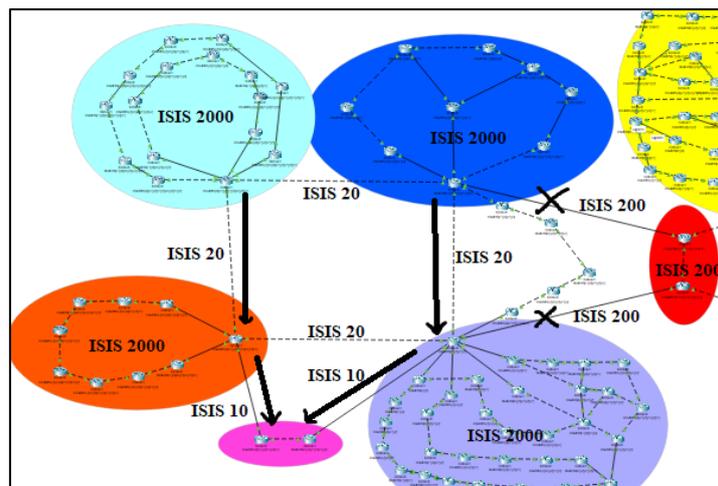
A continuación, se realizará una descripción técnica detallada para el diseño, la dimensión y la configuración de la red IPRAN incluida la topología planificada, el hardware, la VLAN, IP, los protocolos de enrutamiento, los servicios, la confiabilidad, la solución de sincronización y la seguridad.

Para el caso de esta tesis a analizar, la red por analizar tendrá como topología física posee 4 anillos interconectados a través de enlaces de fibra Giga Ethernet y Ten Giga Ethernet de 1GE y 10GE hasta el extremo de la red del Core donde se encuentran la RNC y la EPC para UMTS y LTE respectivamente.

Se añadirán varias interfaces físicas a smartgroups utilizando la técnica de agregación de enlaces para aumentar el ancho de banda y la confiabilidad como un grupo inteligente. Aquí se realizarán cambios de topología para que los enlaces posean más redundancias físicas y lógicas para que los algoritmos de CSPF calcule la mejor ruta para LSP considerando los anchos de banda expandidos, los nuevos saltos entre routers y ajustes de la nueva configuración; también se harán cambios de los enlaces de 1GE a 10GE para los anillos de acceso que pasan por microondas ya que estos se solían usar para redundancias como ruta de protección pero por su baja capacidad de 100M para el gran tráfico de los anillos, se suelen saturar, lo que provoca lentitud, interrupciones en el servicio y una calidad de experiencia deficiente para los usuarios.

En la capa de acceso se usan enlaces de 10GE para transportar servicios de capa de enlaces de datos como clientes fijos L2 y L3, y servicios móviles L3VPN, y en las capas de distribución y core se usan links de 100GE ya que se necesita enrutar tráfico de los anteriores 2 GSDs para los anillos de la ciudad de Guayaquil. Además, múltiples interfaces físicas están bundled en un enlace de smartgroup usando un LACP para así incrementar el ancho de banda y la confiabilidad. A pesar de que el tráfico sobre la red IPRAN tiene tanto tráfico de voz como de datos.

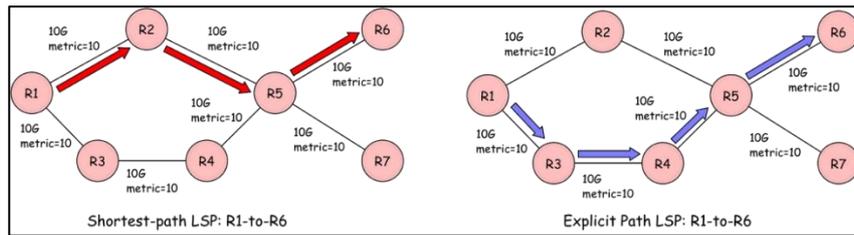
Debido a que los AN3 tienen salida para los servicios de datos y no para los servicios móviles, los AN4 deben ser capaces de redirigir su tráfico hacia los GSC, para esto la solución plantea reconsiderar las métricas de las sesiones de los enlaces ISIS. Debido a que la métrica por defecto tiene un valor de 10, para la conexión del AN4 directa con el AN3 se usará una métrica de 200 como se observa en la siguiente imagen con el tráfico redistribuido. Entre los AN5 se usará una métrica de 2000, entre los AN4 una métrica de 20 y entre los AN4 de Guasmo que conectan directamente a los GSC una métrica de 10.



**Ilustración 33 Uso de métricas en red ISIS.**

Con respecto a la ingeniería de tráfico, se ha planteado el problema de que la ruta seleccionada puede no ser una ruta optimizada globalmente. En este caso no se considera el equilibrio de carga de la red. La IP-RAN tradicional resuelve este problema mediante intervención manual al especificar las rutas explícitas a través del LSP especificado dividiendo equitativamente los nodos de tráfico en sus dispositivos de distribución, como se observa en la siguiente imagen de elección de rutas más cortas para un GSA, esto se ha logrado implementando el Protocolo de distribución de etiquetas (LDP) y el Protocolo de reserva de recursos con extensiones de ingeniería de tráfico (RSVP-TE) en paralelo de manera explícita.

Juntos estos protocolos crean una tunelización de LDP a través de SR-TE en esta red IS-IS que trabajan buscando dinámicamente su mejor ruta LSP-RSVP para lograr una red convergente redundante mediante ingenierías de tráfico, aseguramiento de capacidad de transmisión para el ancho de banda y capacidades de redundancias.



**Ilustración 34 Uso de túneles explícitos y SPF de R1 a R6. [11]**

Estos cambios mencionados se hicieron durante varios meses en ventanas de mantenimiento, en donde los MOPs se desarrollaron y antes de su ejecución se guardaron los backups, carga de configuración de los routers correspondientes, se validan los tráficos y su normalidad, y finalmente se realizan pruebas de conectividad desde la red IPRAN hacia una laptop de prueba ubicada en el nodo B a migrar.

Para la parte de UMTS/LTE que existían en puertos independientes de 1GE forzados a 100M, estos se fusionarán en un solo puerto de 10GE para unirlos para ambos servicios en un solo SRAN y para en un futuro implementar en esa misma conexión a la RBS a 5G.

Se realizó la transición y reemplazo de los routers de distribución y acceso a los nuevos modelos de los equipos GSA, GSD y GSC de hacia los nuevos AN5, AN4 y AN3 de donde su configuración actual incluye las siguientes secciones.

Para la migración de los AN5 se tiene un ISIS-L1 y se utilizará el protocolo LDP para el descubrimiento de nuevas rutas, es decir, que para los niveles de ISIS para los nuevos anillos de acceso fueron de 1 y para anillos de distribución fueron de nivel 2 y uso del protocolo IBGP a los AN4. Se configurará la misma IP de interfaz y el mismo proceso IS-IS en el nuevo AN4 y se agregará la configuración LDP en AN5 y el nuevo AN4, se agregará el BGP-LU AS nuevo en AN5 y configurará el nuevo AN4 como vecino IPV4 y VPNV4.

Para la migración de los AN4 se tiene un ISIS-L2, sesiones SR-LDP y uso del protocolo IBGP a los AN3. Para los AN4 del anillo de GUASMO, estos estarán interconectados a los GSC1 y GSC2 de la red previa ya que ahí se encuentran aún las controladoras BSC, el NMS para la gestión de equipos y la RNC. El EPC estará del lado del IPCORE junto con los AN2.

Para el cambio de cableado se empezó por migrar el enlace físico del antiguo GSD al nuevo AN4, se reutilizó la misma IP P2P de interfaz y el mismo proceso IS-IS en el nuevo AN4, se agregó la configuración LDP en AN5 y el AN4. Finalmente se agregó el nuevo protocolo BGP con el valor del AS en AN5 y se configuró al AN4 como vecino BGP IPV4 y VPNV4 y se verificó que el nuevo AN4 aún anuncie la ruta predeterminada a AN5 mediante una ruta por default 0.0.0.0. También se configuró una extensión del protocolo BGP-LU (BGP Labeled Unicast), es decir, para este protocolo es más fácil de configurar ya que solo se debe de usar las VRFs donde solamente se necesiten en los AN5 ya que se requiere menos rutas en las tablas de enrutamiento para los enlaces entre AN5 y AN4.

Para la migración de los AN3 que tienen salida al IPCORE de un vendor externo, se utilizarán sesiones OSPF y LDP con los AN2 y RouteReflectors de la red externa dentro del mismo AS que servirán para la salida de clientes de datos fijos.

Para la comunicación entre la nueva red de agregación de los AN4 y los GSC1 y 2 que es donde están las controladoras, se configuraron sesiones ISIS y LDP.

También para que todo el tráfico se dirija desde los AN4 hacia los GSC1 y 2 y no hacia los AN3 para los servicios móviles, se aumentó la métrica de los AN4-AN3 para que ese camino sea el preferido. También debido a que los GSC aún siguen con el AS previo y la red migrada tiene el AS nuevo, se va a utilizar la extensión del protocolo BGP Inter-AS opción A para el BGP multiprotocolo con el propósito de comunicar diferentes AS y que así se puedan enrutar las vrf de los servicios móviles MPLS L3VPN hacia las controladoras. En esta instancia, en el nuevo AN4 y en el GSD, se crearon subinterfaces en el enlace y se las vinculó con diferentes instancias de VRF con nuevas IPs en las subinterfaces.

Los valores de RD y RT de las VPNs de routing y forwarding de las rutas que los GSC deben importar y exportar se mantuvieron porque los valores de los distinguidores de ruta deben ser únicos en la red y estos ya estaban establecidos, y los valores de las rutas que se deben importar son los mismos de las VPNs.

Para la parte de posicionamiento de los equipos, los routers previos se mantendrán en su misma ubicación debido a su zona de cobertura de la RBS ya asignada, ya que la ubicación actual fue elegida para maximizar la cobertura y minimizar las interferencias. Cambiar la ubicación podría afectar negativamente la calidad de la

señal, también por su infraestructura ya existente, la instalación de cables y conexiones ya está configurada en esa ubicación. Mover el router podría requerir cambios significativos en la infraestructura, lo cual puede ser costoso y complicado. Otra razón sería por la accesibilidad y permisos del nodo.

La unidad de red de conmutación AN3 conmuta datos para todo el sistema a una velocidad de línea de 640 Gbit/s (320 Gbit/s para el tráfico ascendente y 320 Gbit/s para el tráfico descendente). Esto garantiza una red de conmutación sin bloqueos.

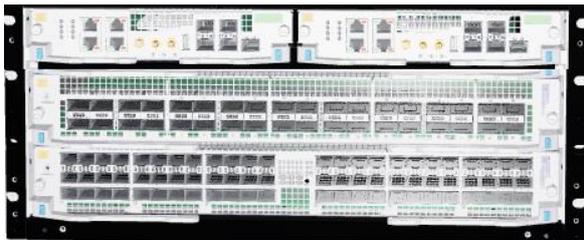
Tiene cuatro SFU que funcionan en modo de equilibrio de carga 3+1. Todo el sistema proporciona una capacidad de conmutación a una velocidad de cable de 2,56 Tbit/s. Para la unidad de procesamiento principal (MPU), la MPU consta de la unidad de control principal, la unidad de reloj del sistema y la unidad de mantenimiento del sistema. La MPU consta de una placa base y tres placas de circuito impreso.

La MPU controla y gestiona el sistema. Como fuente de reloj del sistema y unidad de gestión y mantenimiento, la MPU proporciona las funciones del plano de control, el plano de conmutación y el plano de mantenimiento.

La razón principal del cambio de los routers de acceso se debe a que en el inicio de despliegue de la red se tenía planificado que los routers 6150 solamente abarcasen servicios móviles, pero poco a poco se ha ido integrando servicios fijos con lo que la capacidad de estos se vio disminuida por la mayor cantidad de VRFs y sucursales de estos clientes corporativos, he de ahí el cambio de hardware con mayores capacidades físicas que soporten más memoria y más capacidad de switching.

A continuación, se mencionan los cambios del hardware con detalles de los routers AN3, AN4 y AN5.

**Tabla 1 Detalles de routers a usar.**

Routers a usar	Detalles
 <p style="text-align: center;">AN5</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo ZXCTN6120H-S ZTE</li> <li>• Capacidad de conmutación 1 Tbps</li> <li>• Tipo de interfaz 100 GE/50 GE/25 GE/10 GE/GE</li> <li>• Consumo de energía típico &lt;260W</li> <li>• 1 slot</li> <li>• Peso &lt;5kg</li> </ul>
 <p style="text-align: center;">AN4</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo ZXCTNM6000-2S8 ZTE</li> <li>• Capacidad de conmutación 2,4 Tbps</li> <li>• Tipo de interfaz 100 GE/50 GE/25 GE/10 GE/GE</li> <li>• 12 slots</li> <li>• Consumo de energía típico &lt;1000W</li> <li>• Peso &lt;30 kilos</li> </ul>
 <p style="text-align: center;">AN3</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo ZXCTNM6000-3S PLUS ZTE</li> <li>• Capacidad de conmutación 3 Tbps</li> <li>• Tipo de interfaz 100 GE/50 GE/25 GE/10 GE/GE</li> <li>• 6 slots</li> <li>• Consumo de energía típico &lt;1660W</li> <li>• Peso &lt;25 kilos</li> </ul>

Con respecto a los protocolos, para los parámetros de las VRFs de UMS y LTE se realizarán cambios en el RD y RT para que estos valores sean únicos dentro del nuevo SA para los valores del import y el export, y las VRFs ya configuradas se configuraran en los AN4 para que tengan salida a los GSC1, GSC2 y AN2. La nueva red tendrá otro valor de SA para hacer un match con los propios parámetros del IPCORE.

Uno de los parámetros importantes de las vrf a usar son los valores de community value, de donde en vez de utilizar una standard-community que tiene un rango de 1-65535 que puede limitar el valor a usar en la red para los vecinos vpnv4, se utilizará el extended-community que soporta valores más altos desde 65535 para el match de filtros desde el core y envíos desde los routers AN5.

Tanto los equipos de acceso anteriores como los nuevos que se usarán en la migración. Tienen limitantes con respecto a las características de los puertos que usan para sus conexiones a 10 gigas hacia sus colaterales por fibra óptica, ya que los routers de acceso 6150 solamente soportan un máximo de 3 puertos a 10 gigas, es decir, solamente pueden tener 3 equipos colaterales como máximo.

Y en cambio, para los nuevos equipos de acceso 6120, estos tienen más puertos disponibles de 10 gigas, pero cada uno trabaja para diferentes distancias, ya sean 10 km, 50 km y 80 km. Entonces, para realizar las conexiones nuevas se deben considerar las distancias entre nodos y la velocidad es que estos usarán.

También, para todas estas migraciones se debe tener en cuenta que todos los anillos se deben dejar funcionando correctamente tanto en su parte de configuración lógica como en su parte del hardware, es decir, que los anillos estén cerrados y que exista la redundancia en la conmutación correcta del tráfico en casos de incidentes.

## **2.5 MANEJO DE TRÁFICO DE SERVICIOS MÓVILES**

El tráfico entrante y saliente de los equipos de core fue monitoreado en un rango de seis meses, comprendidos entre los meses de enero a junio del 2024, el cual se muestra a continuación donde se tienen equipos GSC de modelo M6000 con sus puertos de bundle ethernet de 3 puertos ópticos de 10GE con un total de capacidad

de ancho de banda de 30GE, cabe recalcar que el análisis fue de 24 semanas, pero solo se muestran 8 por el tamaño de los datos.

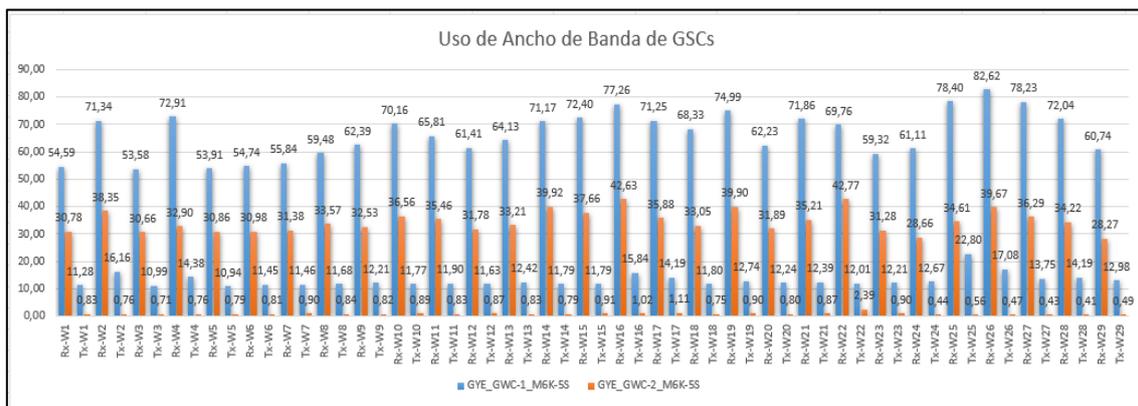
**Tabla 2 Monitoreo tráfico de TX y RX 1era-4ta semana.**

Node	Rx-W1	Tx-W1	Rx-W2	Tx-W2	Rx-W3	Tx-W3	Rx-W4	Tx-W4
GUAYAQUIL_1	16.375,82	3.382,52	21.402,89	4.849,49	16.075,24	3.296,57	21.873,73	4.313,68
GUAYAQUIL_2	9.234,53	248,68	11.504,31	226,70	9.198,07	213,57	9.869,54	228,75

**Tabla 3 Monitoreo tráfico de TX y RX 5ta-8va semana.**

Rx-W5	Tx-W5	Rx-W6	Tx-W6	Rx-W7	Tx-W7	Rx-W8	Tx-W8
16.174,41	3.282,37	16.420,60	3.435,29	16.753,22	3.439,09	17.843,94	3.504,72
9.258,72	237,07	9.293,45	243,35	9.413,58	269,36	10.069,63	250,58

Los valores de uso de las capacidades de cada TX y RX en valores porcentuales se muestran a continuación.



**Ilustración 35 Uso de ancho de banda durante 8 semanas en el Core.**

Se observa que los picos de estos tráficos tienen valores de 82.62%, 78.40% y 78.23% los cuales superan la mitad de la capacidad, esto significa que se están utilizando aproximadamente 24.6 gigabits por segundo de ese ancho de banda total. Al no aprovechar todo el ancho de banda disponible, se está desperdiciando parte de la capacidad de la red. Esto puede ser especialmente problemático en entornos donde el espacio físico y la energía son limitados.

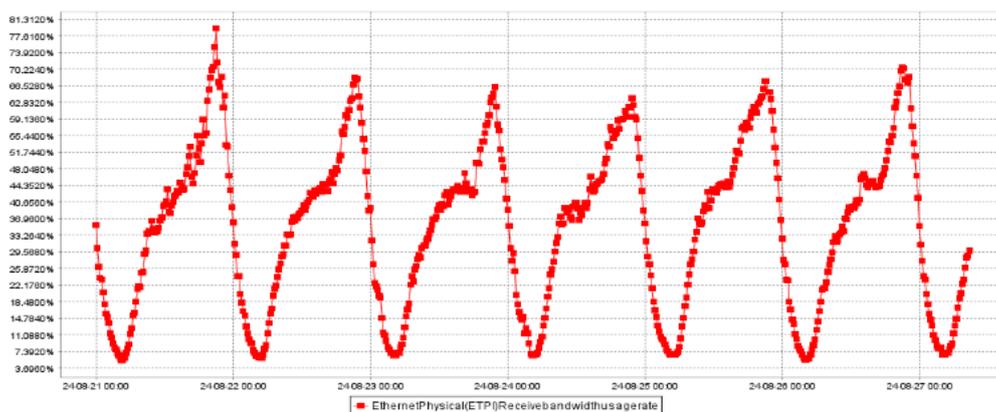
También se monitoreó el tráfico en interfaces de 10G para los anillos de acceso y se validó que, debido a las faltas de redundancias lógicas, el tráfico estaba

acumulándose entre dos GSAs del anillo de Guasmo como se observa en la siguiente imagen en el porcentaje de uso del puerto de recepción del 98,4%.

BW	RxW25	TxW25	%RX	%TX
10000	4200,0300	3023,3000	42,0%	30,3%
10000	4210,6912	4191,0728	42,1%	41,9%
10000	4221,968	3299,1504	42,2%	33,0%
10000	4360,3144	2711,68	43,6%	27,1%
1000	444,012	183,222	44,4%	18,3%
1000	470,572	113,6808	47,1%	11,4%
1000	475,9136	131,967	47,6%	13,2%
10000	4764,1672	1308,2	47,6%	13,1%
10000	4792,3736	1944,5328	47,9%	19,4%
10000	4832,3048	2725,3336	48,3%	27,3%
10000	5215,7568	3265,1944	52,2%	32,7%
10000	5810,9504	1079,208	58,1%	10,8%
10000	6373,892	1670,7368	63,7%	16,7%
1000	649,3872	182,5664	64,9%	18,3%
10000	6585,748	2359,5648	65,9%	23,6%
1000	666,5112	152,4096	66,7%	15,2%
1000	679,98	188,1688	68,0%	18,8%
10000	7751,1008	2947,408	77,5%	29,5%
10000	8100,284	1651,0184	81,0%	16,5%
10000	8370,4752	2457,8544	83,7%	24,6%
10000	8988,8472	4012,904	89,9%	40,1%
10000	9276,644	2049,7952	92,8%	20,5%
10000	9840,2296	4567,7312	98,4%	45,7%

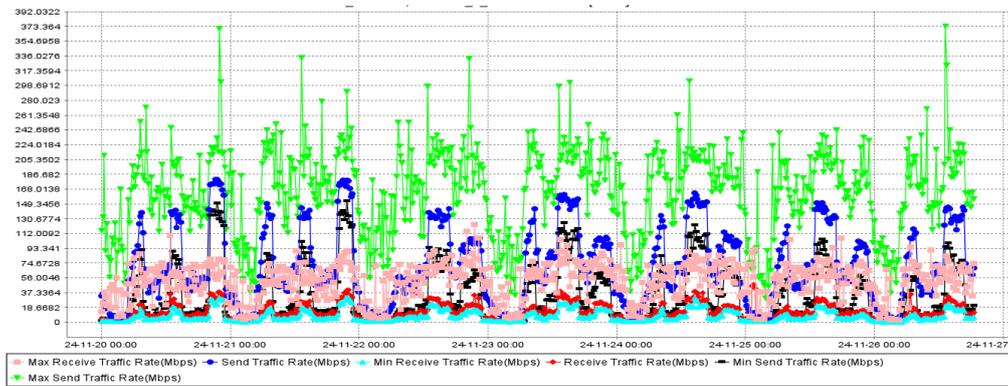
**Ilustración 36 Uso de puertos de anillos de acceso.**

El rendimiento de cada estación base se evaluó en términos de rendimiento máximo promedio por día y las pérdidas de paquetes en el rendimiento del tráfico.



**Ilustración 37 Tráfico de una RBS de FCO DE ORELLANA para 3g/4g.**

De donde los valores teóricos para el vendedor que usa esta empresa privada son los siguientes para los servicios móviles, para 3G se puede tener un tráfico de hasta 21 Mbps y para LTE de hasta 150 Mbps, por lo que si estas dos tecnologías se unen en un mismo puerto pueden llegar hasta 200Mbps, esto se puede evidenciar en los puertos de 10GE.



**Ilustración 38 Velocidades reales de 3G y 4G.**

# CAPITULO 3

## 3. ANALISIS DE RESULTADOS

### 3.1 ANÁLISIS DE PROTOCOLOS USADOS

A continuación, se muestran las adyacencias del protocolo ISIS entre los routers de acceso, distribución y core, y de cómo estos se encuentran aislados.

```
Process ID: 1
Interface      System id      State  Lev
smartgroup1   CRM_GWD_M6K-3S UP     L2
smartgroup4   ELS_GWD_M6K-3S UP     L2
smartgroup6   DRN_GWD2_M6K-3S UP     L2

Process ID: 2
Interface      System id      State  Lev
xgei-0/0/1/18 CDLA_PEDRO_ME... UP     L1

Process ID: 3
Interface      System id      State  Lev
xgei-0/0/1/17  CDLA_RECREO_D... UP     L1
xgei-0/0/0/12.31 DURAN_INDISTR... UP     L1
smartgroup6.32 DRN_GWD2_M6K-3S UP     L1

Process ID: 3
Interface      System id      State  Lev
gei-1/1/0/2    EL_TRIUNFO_6150 UP     L2
gei-1/1/0/1.31 EL_TRIUNFO_6150 UP     L2
EL_TRIUNFO_CENTRO_6150#
```

*Ilustración 39 Adyacencia en ISIS antes.*

En la ilustración se puede observar las adyacencias formadas para el IGP con niveles L1 entre GSDs como se observa en el proceso ID 3 del smartgroup6.32 sin embargo en este mismo router sí se tienen niveles L1 y L2 correctamente establecidos entre GSD-GSA y GSA-GSA como se observa en los procesos 1 y 2. En cambio en la ilustración se observa dentro del proceso ID 5 una adyacencia de nivel 2 entre 2 GSA-GSA lo cual afecta en la redistribución de rutas ya que el nivel 1 se encarga del enrutamiento dentro de una misma área de un mismo dominio de broadcast y el nivel 2 del enrutamiento entre áreas. También se puede observar que ambos routers de la izquierda y derecha usan el mismo proceso de ISIS 3 lo cual genera un conflicto de procesos que genera revocamiento de sesiones BGP. Esto se observa corregido en la siguiente ilustración de la red migrada.

Process ID: 1				Process ID: 100			
Interface	System id	State	Lev	Interface	System id	State	Lev
cggei-0/0/1/5	IPTZHL4ESOL01	UP	L2	xxvgei-1/1/0/2...	TERMINAL_TERR...	UP	L1
cggei-0/1/0/5	IPTZHL4JRDN01	UP	L2	xxvgei-1/1/0/2...	CDLA_SIMON_BO...	UP	L1
xgei-0/2/0/20	DRM_GWD2_M6K-3S	UP	L2				

**Ilustración 40 Adyacencia en ISIS ahora.**

En la ilustración se puede observar adyacencias ISIS que sí siguen la organización de enrutamiento del IGP, en el router izquierdo se observan adyacencias nivel 2 desde un AN4 hacia demás AN4 y un nivel 1 en la imagen derecha adyacencias nivel 1 entre AN5s. Además, se observa que los ID de los procesos son diferentes por lo que no se tendrán caídas de sesiones BGP.

Ya que BGP se basa en ISIS para realizar su enrutamiento de las VRFs, el funcionamiento correcto de los procesos aislados de ISIS se puede comprobar con el uptime de los equipos con mismos y diferentes ID.

Process ID: 2					Process ID: 1				
Interface	System id	State	Lev	Time	Interface	System id	State	Lev	Time
xgei-1/5/0/1.31	PARQUE_GYE	UP	L1	000:07:31:50	smartgroup1	CRM_GWD_M6K-3S	UP	L2	009:07:29:47
xgei-1/6/0/1.31	GRY_URD_6150	UP	L1	000:07:31:49	smartgroup4	PLS_GWD_M6K-3S	UP	L2	009:07:29:47
					smartgroup6	DRM_GWD2_M6K-3	UP	L2	009:07:29:47

**Ilustración 41 Uptime antes y después.**

En la ilustración se observa que los valores de uptime en un mismo router con la topología de la red previa con conflicto de sesiones ISIS con uptime de 000:07:31:49 es decir que hubo una caída de sesión hace 7 horas y 31 minutos, aquí se confirman las intermitencias por conflicto de procesos. Y en la imagen de la derecha se observa que el uptime es de 009:07:29:47 es decir que las sesiones IGP llevan arriba 9 días, 7 horas y 29 minutos, este valor no es muy alto ya que al momento de la captura se tenían problemas de cortes de luz en esas zonas.

Se observan que existen procesos L2/L2 de la de distribución y solo L1/L1 con equipos de acceso. Se puede observar que, para estas capas de acceso, se observan los niveles 1 y 2 de IS-IS para aislar estrictamente las rutas y simplificar la configuración en el tipo de enlace de la red que es P2P para ISIS.

**Tabla 4 Comparación métricas antes y después.**

Característica	Valor Antes	Valor Después
AN4-AN3 IS-IS Level	Level 1	Level 2
AN5-AN4 IS-IS Level	Level 1	Level 1

En la tabla se puede observar los niveles de IGP de la red previa y actual. Al usar en la red migrada un ISIS nivel 2 + nivel 1, se está implementando la división de área y reducción de las entradas de la tabla de enrutamiento, lo que ayuda a reducir los requisitos de memoria y permite que los enrutadores en el área solo mantengan estados de enlace más pequeños. Además, la división de áreas ayuda a localizar fallas y reducir el alcance del impacto cuando ocurren fallas.

Al comparar las métricas de la red antigua del anillo de Mapasingue, se pueden observar cambios de estos valores al tener diferente topología con cada salto con la métrica por default de 10 en redes de acceso, métrica de 20 entre los equipos de distribución, 200 entre los colaterales de los equipos de core y 10 hacia las controladoras.

Para el diseño de las métricas por salto se tiene el valor de default que es 10 en donde la referencia de ancho de banda del costo se establecerá en 100 Mbps, que es el valor predeterminado. A continuación, se mostrará las métricas por enlace total que tiene cada adyacencia en ISIS antes y después de la migración.

EL_TRIUNFO_CENTRO_6150#sho isis topology			DRN_GWD_M6K-3S#sho isis topology		
System id	Metric	Next-Hop	System id	Metric	Next-Hop
IS-IS paths to Level-2 routers			IS-IS paths to Level-2 routers		
MARANJAL_6150	20	EL_TRIUNFO_6150	CALDERON_GWC-1_M6K-5S	60	DRN_GWD2_M6K-3S
	20	EL_TRIUNFO_6150	CALDERON_GWC-2_M6K-5S	80	DRN_GWD2_M6K-3S
EL_TRIUNFO_6150	10	EL_TRIUNFO_6150	GYE_GWC-1_M6K-5S	40	DRN_GWD2_M6K-3S
	10	EL_TRIUNFO_6150	GYE_GWC-2_M6K-5S	100	DRN_GWD2_M6K-3S
EL_TRIUNFO_CEN_TRO_6150	--		CHG_GWD-1_M6K-3S	60	DRN_GWD2_M6K-3S
CAMILO_PONCE_6150	30	EL_TRIUNFO_6150	CHG_GWD-2_M6K-3S	80	DRN_GWD2_M6K-3S
	30	EL_TRIUNFO_6150	PLS_GWD_M6K-3S	80	DRN_GWD2_M6K-3S
CRM_GWD2_M6K-3S	30	EL_TRIUNFO_6150	PHN_GWD_M6K-3S	100	DRN_GWD2_M6K-3S
	30	EL_TRIUNFO_6150	DRN_GWD_M6K-3S	--	
			ALB_GWD_M6K-3S	120	DRN_GWD2_M6K-3S

**Ilustración 42 Métricas de ISIS antes.**

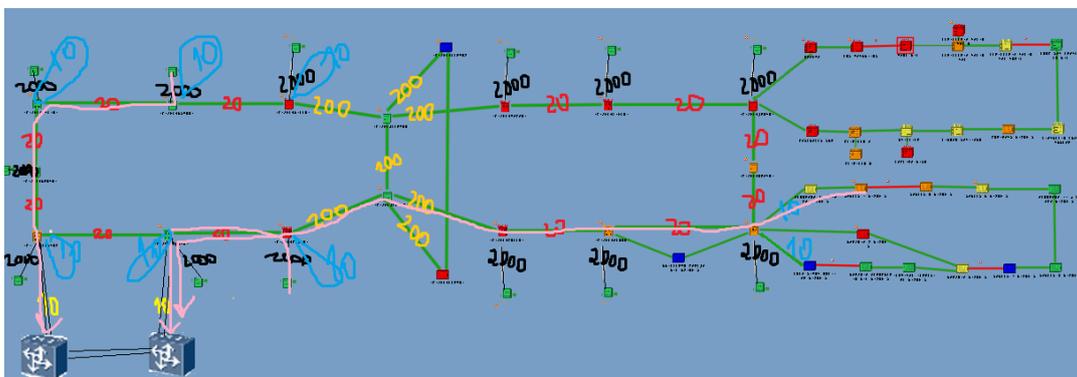
En la red previa se observan métricas más bajas que en la red migrada debido a que solo se utilizaban los valores por default en ISIS que es 10 por lo que se tienen valores en el router de la imagen izquierda de 10, 20 y 30 ya que el anillo al que pertenece ese router tiene 1, 2 y 3 rutas a los demás routers para la red de acceso, esto va a cambiar en la red migrada por el cambio de topología. Y en la imagen de la derecha se observan métricas de 40, 60, 80 y 100 que representan los saltos que tiene ese routers hacia otros dentro de su mismo nivel L2 para la red de agregación.

En la red migrada se tienen métricas ya definidas para cada tipo de enlace las cuales se observan en la siguiente tabla.

**Tabla 5 Métricas de ISIS actuales.**

Enlace	Métrica
AN3 – AN3	200
AN4 - AN3	200
AN4 - AN4	20
AN5 - AN4	10
AN5 – AN5	10

Esta tabla se la diseño con el fin de que el tráfico se fuera por la ruta LSP indicada desde los AN5 pasando por los AN4 luego los AN3 para finalmente mediante los AN4 de la izquierda lleguen a los AN4 de GUASMO que es donde se encuentran las controladoras RNC y EPC como se observa en la siguiente imagen.



**Ilustración 43 Direccionamiento de tráfico hacia controladoras.**

Se observa que el uso de métricas que se utilizaron para evitar que el tráfico vaya en la dirección equivocada y que se redirija hacia el GSC1 y 2 como se puede observar en la tabla de enrutamiento de los router del core y en el trazado de rutas desde los AN4 en la siguiente ilustración.

IPTZHL3CCRM07	260	IPTZHL4ESOL01	cgei-0/0/1/5	GARZOTA_6120H- 20	TERMINAL_TERRE xxvgei-1/1/0/25
IPTZHL3CCRM08	260	IPTZHL4JRDN01	cgei-0/1/0/5	S	STRE_6120
IPTZHL4CCRM01	460	IPTZHL4ESOL01	cgei-0/0/1/5	SAUCES_7_6120H 30	TERMINAL_TERRE xxvgei-1/1/0/25
IPTZHL4CCRM02	460	IPTZHL4JRDN01	cgei-0/1/0/5	-S	STRE_6120
IPTZHL4PLST01	460	IPTZHL4ESOL01	cgei-0/0/1/5	SAUCES_9_6120H 40	TERMINAL_TERRE xxvgei-1/1/0/25
IPTZHL4CHGN01	480	IPTZHL4ESOL01	cgei-0/0/1/5	-S	STRE_6120
IPTZHL4CHGN02	500	IPTZHL4ESOL01	cgei-0/0/1/5	SAUCES_6_6120H 60	TERMINAL_TERRE xxvgei-1/1/0/25
IPTZHL4URDN01	520	IPTZHL4JRDN01	cgei-0/1/0/5	-S	STRE_6120
	520	IPTZHL4ESOL01	cgei-0/0/1/5	SAUCES_8_6120H 60	CDLA_SIMON_BOL xxvgei-1/1/0/26
IPTZHL4HNCV01	500	IPTZHL4JRDN01	cgei-0/1/0/5	-S	IVAR_GYE_6120H
IPTZHL4GSMO01	480	IPTZHL4JRDN01	cgei-0/1/0/5	SAUCES_6120H-S 50	CDLA_SIMON_BOL xxvgei-1/1/0/26
IPTZHL4GYEC01	460	IPTZHL4JRDN01	cgei-0/1/0/5	-S	IVAR_GYE_6120H
IPTZHL4POLC01	60	IPTZHL4ESOL01	cgei-0/0/1/5	-S	CDLA_SIMON_BOL xxvgei-1/1/0/26
IPTZHL4ALBO01	40	IPTZHL4ESOL01	cgei-0/0/1/5	GARZOTA_2_6120 30	IVAR_GYE_6120H
IPTZHL4ESOL01	20	IPTZHL4ESOL01	cgei-0/0/1/5	H-S	STRE_6120
				30	TERMINAL_TERRE xxvgei-1/1/0/25

**Ilustración 44 Métricas de ISIS ahora.**

En la ilustración se observan la cantidad de métricas calculadas desde el AN4 hacia los demás AN4, se tienen estas adyacencias por las 2 interfaces de los colaterales 0/1/0/5 y 0/0/1/5.

Y en la imagen derecha se ven la cantidad de métricas calculadas desde el AN5 hacia demás AN5 con sus cantidades de saltos, se tienen valores desde 20 a 40 de donde se prefieren los saltos con menor métrica es decir mayor ancho de banda.

Este incremento de métricas para IGP se debe al cambio de topología y al aumento de métricas para el flujo de tráfico hacia las controladoras.

<pre> IPTZHL4ALBO01#trace 10.0.0.3 Tracing the route to 10.0.0.3 over a maximum of 30 hop(s): [output interface: cgei-0/1/0/5][next hop: 172.17.96.47][MPLS 1 172.17.96.47 MPLS Label= 23008 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms MPLS Label= 23008 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms MPLS Label= 23008 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms 2 172.17.96.49 MPLS Label= 23003 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms MPLS Label= 23003 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms MPLS Label= 23003 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms 3 172.17.96.13 MPLS Label= 24204 Exp= 0 TTL= 1 S=1 3ms MPLS Label= 24204 Exp= 0 TTL= 1 S=1 3ms MPLS Label= 24204 Exp= 0 TTL= 1 S=1 3ms 4 172.17.96.15 MPLS Label= 23003 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms MPLS Label= 23003 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms MPLS Label= 23003 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms 5 172.17.96.18 6ms 3ms 4ms [finished] </pre>	<pre> IPTZHL4ALBO01#trace 10.0.0.4 Tracing the route to 10.0.0.4 over a maximum of 30 hop(s): [output interface: cgei-0/1/0/5][next hop: 172.17.96.47][MPLS 1 172.17.96.47 MPLS Label= 23004 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms MPLS Label= 23004 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms MPLS Label= 23004 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms 2 172.17.96.49 MPLS Label= 23006 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms MPLS Label= 23006 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms MPLS Label= 23006 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms 3 172.17.96.13 MPLS Label= 24207 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms MPLS Label= 24207 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms MPLS Label= 24207 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms 4 172.17.96.15 MPLS Label= 23006 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms MPLS Label= 23006 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms MPLS Label= 23006 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms 5 172.17.96.17 MPLS Label= 24207 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms MPLS Label= 24207 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms MPLS Label= 24207 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms 6 172.17.96.20 7ms 3ms 3ms [finished] </pre>
--	---

**Ilustración 45 Trace al GSC1 y 2 desde el AN4 de LA ALBORADA.**

Se puede comprobar el uso correcto de las metricas el realizar un trace desde el AN4 de LA ALBORADA hacia los dos GSC1 y 2 donde se visualiza en el primer trace 5 saltos los cuales corresponden al camino desde ese AN4 por la misma capa de distribución hacia el cuarto salto que es el AN4 de GUASMO y finalmente el 5to salto que es el GSC1.

```

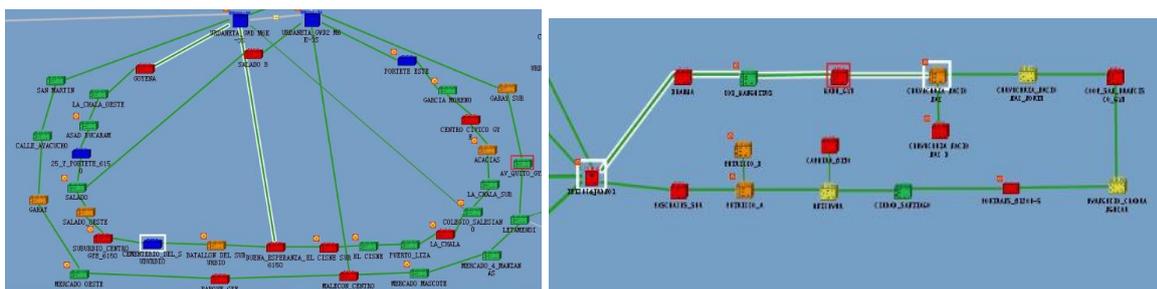
GYE_GWC-1_M6K-5S#trace 172.17.112.14
Tracing the route to 172.17.112.14 over a maximum of 30 hop(s)
[output interface: smartgroup20][next hop: 172.17.96.19][MPLS
1 172.17.96.19
  MPLS Label= 23206 Exp= 0 TTL= 1 S=1 6ms
  MPLS Label= 23206 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 23206 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms
2 172.17.96.14
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
3 172.17.96.12
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
4 172.17.96.48
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 4ms
5 172.17.112.14 5ms 5ms 4ms
[finished]

GYE_GWC-2_M6K-5S#trace 172.17.112.14
Tracing the route to 172.17.112.14 over a maximum of 30 hop(s)
[output interface: smartgroup20][next hop: 172.17.96.21][MPLS
1 172.17.96.21
  MPLS Label= 24402 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 24402 Exp= 0 TTL= 1 S=1 6ms
  MPLS Label= 24402 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
2 172.17.96.16
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 6ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
3 172.17.96.14
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
4 172.17.96.12
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 6ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
5 172.17.96.48
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 6ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
  MPLS Label= 21014 Exp= 0 TTL= 1 S=1 5ms
6 172.17.112.14 5ms 5ms 5ms
[finished]

```

**Ilustración 46 Trace al GSC1 y 2 desde el AN4 de DURAN.**

El mismo comportamiento se observa desde el AN4 de DURAN donde se tiene salida a las controladoras con 5 y 6 saltos.



**Ilustración 47 Anillo de ORELLANA de red previa y migrada**

En la ilustración se puede observar la topología de la red antes y después para el anillo de Orellana en donde se tiene una mejor distribución de la topología, pero manteniendo el tipo anillo. También al tomar como inicio al ipran AN5 llamado cementerio, se puede observar un cambio en la elección de su mejor ruta al elegir la

más corta con mejor uso de ancho de banda. Antes se utilizó el protocolo MPLS-TE para LSP hacia su gateway que es el AN4 de ese anillo, ahora este enrutamiento dinámico lo hace el LDP.

```

CEMENTERIO_SUBURBIO_6150#trace mpls traffic-eng te_tunnel13
Tracing MPLS Label Switched to te_tunnel13, timeout is 3 sec
Codes: '!' - success, 'Q' - request not seen
'L' - labeled output interface, 'B' - unlabeled output interface
'D' - DS Map mismatch, 'F' - no FEC mapping, 'M' - malformed request, 'm' - unsupported tlv
'P' - no rx intf label prot, 'p' - premature termination
'R' - transit router, 'I' - unknown upstream interface
'x' - return code 0, 'd' - DDMAP,

0 172.0.22.237 MTU 8978 [label: 222541]
R 1 172.0.22.238 MTU 8978 [label: 223331] 14ms
R 2 172.0.20.109 MTU 8978 [label: 219661] 10ms
R 3 172.0.19.214 MTU 8978 [label: 218145] 200ms
R 4 172.0.19.131 MTU 8978 [label: 219180] 20ms
R 5 172.0.19.198 MTU 8978 [label: 219561] 39ms
R 6 172.0.19.254 MTU 8978 [label: 222207] 20ms
R 7 172.0.19.202 MTU 8978 [label: 3] 59ms
! 8 172.0.19.206 30ms
[finished]

Tracing the route to 172.17.112.17 over a maximum of 30 hop(s):
[output interface: gei-1/2/0/3.100][next hop: 172.17.106.126][MPLS Label: 205836]
1 172.17.106.126
MPLS Label= 205836 Exp= 0 TTL= 1 S=1 10ms
MPLS Label= 205836 Exp= 0 TTL= 1 S=1 10ms
MPLS Label= 205836 Exp= 0 TTL= 1 S=1 10ms
2 172.17.106.124
MPLS Label= 205855 Exp= 0 TTL= 1 S=1 10ms
MPLS Label= 205855 Exp= 0 TTL= 1 S=1 10ms
MPLS Label= 205855 Exp= 0 TTL= 1 S=1 10ms
3 172.17.106.122
MPLS Label= 205846 Exp= 0 TTL= 1 S=1 10ms
MPLS Label= 205846 Exp= 0 TTL= 1 S=1 10ms
MPLS Label= 205846 Exp= 0 TTL= 1 S=1 10ms
4 172.17.112.17 10ms 10ms 10ms
[finished]

```

**Ilustración 48 Trace en anillo migrado antes y después al GW.**

Se puede observar el cambio en la elección de la ruta más corta en la cantidad de saltos hacia el mismo destino desde el mismo origen, pero antes y después de la red migrada, la configuración se puede observar en la siguiente ilustración antes y después.

Se observa la implementación de la interfaz loopback como primer salto en la ruta, lo cual proporciona un alto nivel de redundancia y seguridad en la red. La dirección IP de loopback, al ser virtual y no depender de hardware, garantiza una disponibilidad continua, incluso en caso de fallos en los enlaces físicos.

```

mpls traffic-eng
 cspf delay link-up 30
 cspf delay switch-over 30
 router-id 10.0.3.18
 reoptimize events link-up
 reoptimize timers delay installation-delay-time 60
 reoptimize timers frequency 3600
 unactive timer 30
 explicit-path
  index 1 exclude-address router-id 10.0.3.26
 $
 tunnel te_tunnel103
  tunnel destination ipv4 10.0.0.24
  tunnel mpls traffic-eng bfd interval 10 min-rx 10 multiplier 3
  tunnel mpls traffic-eng record-route
  tunnel mpls traffic-eng path-option 1 explicit-path
  tunnel mpls traffic-eng hot-standby protect 1 dynamic prefer
  tunnel mpls traffic-eng reference hot-standby
 $

!<ldp>
 mpls ldp instance 1
  access-fec ip-prefix host-route-only
  interface xgei-1/6/0/1.100
  $
  interface xgei-1/7/0/1.100
  $
  router-id loopback0
 $
!</ldp>

```

**Ilustración 49 Configuración enrutamiento al AN4 antes y después.**

En la configuración de la red previa usando MPLS-SE TE observa el uso de explicit paths y enrutamiento estático para llegar al gateway con la excepción de la loopback de otro ipran, en cambio en la red migrada se observa la configuración del protocolo MPLS LDP dinámico sin la necesidad de uso de ingenierías ni explicit paths sino las subinterfaces que llevan hacia el AN4 basándose en las sesiones IGP descritas en la siguiente sección.

```
MPLS-TE: Enabled      Protocol version: 1
TE SD: Disabled       Session holdtime: 180 sec; Keep alive interval: 60 sec
TE SD interval: 10s  Discovery hello: holdtime: 15 sec; interval: 5 sec
                    Discovery targeted hello: holdtime: 45 sec; interval: 15 sec
                    LDP IGP sync delay: 5 sec
```

***Ilustración 50 Configuración de parámetros de enrutamientos.***

En la primera ilustración se observa el uso del protocolo MPLS-TE habilitado con un Stateful Discovery con un intervalo de tiempo de 10 segundos lo que indicaba que cada 10 segundos, los routers involucrados en un túnel LSP intercambiarán mensajes de los otros equipos y sus rutas.

En cambio, en la red migrada se utiliza en vez de ingeniería de túneles se utiliza el protocolo LDP dinámico versión 1 y un valor de sincronización de 5 segundos que es el retraso en segundos antes de que LDP sincronice su información de enrutamiento con el IGP.

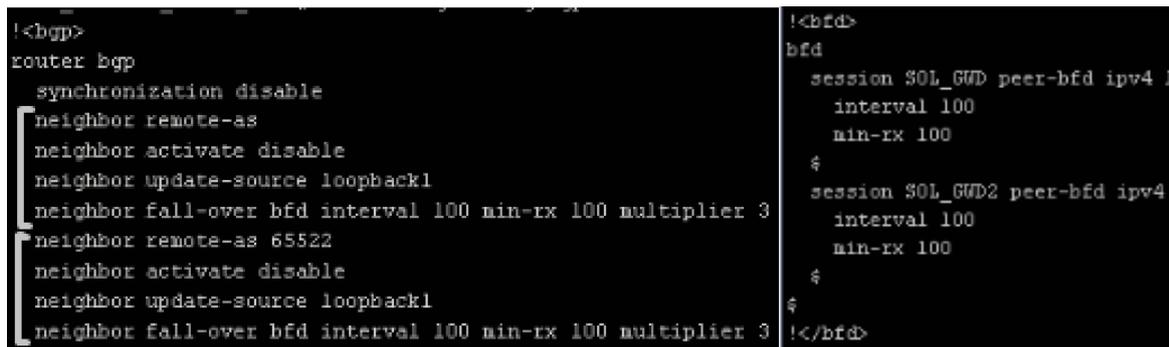
AN4 con los AN5 hace sesiones LDP que hablan peer LDP que se basa en subinterfaces que pertenecen al ISIS. En comparación con la red previa no se tienen ingenierías de tráfico para túneles MPLS-TE.

En esta elección de mejor ruta se tiene en cuenta la reserva de recursos en la elección de la mejor ruta para lo cual en ambos la red previa y la migrada se usa el protocolo RSVP en ambas redes MPLS solo que la primera se usaba en conjunto con TE y la segunda se usa en conjunto con LDP ya que cada combinación se usó dependiendo de las necesidades de cada escenario. En la red Migrada es mucho más fácil implementar el Protocolo dinámico LDP Ya que es más simple de configurar y gestionar que los túneles de ingeniería. En la red previa, la función principal del protocolo MPLSTE Era de establecer rutas explícitas para los LSP, en cambio, ahora

con LDP Se tiene una distribución de etiquetas más dinámica y no configurada a mano por ingenieros que pueden generar problemas de configuración.

## 3.2 ANÁLISIS DE CORRECCIÓN DE BUCLES

Como se detalló en el diseño de la solución para la eliminación de bucles se reemplazó BFD BGP con PEER BFD como se observa en la ilustración siguiente.



```
!<bgp>
router bgp
  synchronization disable
  neighbor remote-as
  neighbor activate disable
  neighbor update-source loopback1
  neighbor fall-over bfd interval 100 min-rx 100 multiplier 3
  neighbor remote-as 65522
  neighbor activate disable
  neighbor update-source loopback1
  neighbor fall-over bfd interval 100 min-rx 100 multiplier 3
!</bgp>

!<bfd>
bfd
  session SOL_GWD peer-bfd ipv4
  interval 100
  min-rx 100
  $
  session SOL_GWD2 peer-bfd ipv4
  interval 100
  min-rx 100
  $
!</bfd>
```

**Ilustración 51 Configuración para eliminación de bucles.**

En la ilustración del router izquierda se observa la configuración de las 2 sesiones de BFD sobre BGP para los 2 GSD1 y 2 en donde el comando que se relaciona en BGP es “neighbor fall-over bfd interval 100 min-tx 100 multiplier 3” el cual se quitó de ambas configuraciones en BGP, y para el router de la derecha se tiene la configuración realizada sobre PEER BFD para los nuevos AN4 que son las cabeceras del anillo migrado.

Al comparar ambas configuraciones, se observa que en la red previa la configuración permitía monitorear mediante BFD la sesión BGP de los GSD 1 y 2, su configuración permitió detectar rápidamente si las conexiones con los routers de agregación están caídas o no y que si no se recibe una respuesta en 300 milisegundos (3 \* 100 ms), se declaraba una falla. En la configuración de la red migrada sobre PEER BFD no se realiza sobre un protocolo de enrutamiento en específico por ende si este llega a detectar algún inconveniente con la red, ninguna sesión BGP va a revocarse. Esta nueva configuración tiene un alcance más amplio y puede utilizarse para monitorear cualquier tipo de conexión IP como se puede observar en la siguiente ilustración del uptime de las sesiones BFD antes y después.

```
DURAN#sho bgp all summary
```

Neighbor	Ver	MsgRcvd	MsgSend	Up/Down	State	Neighbor	Ver	MsgRcvd	MsgSend	Up/Down	State
10.0.0.0	4	137	7	01:51:15	Established	10.0.0.0	4	21436	4	1w6d	Established
10.0.0.0	4	11422	7	01:51:15	Established	10.0.0.0	4	21486	4	1w6d	Established

**Ilustración 52 Uptime de sesiones BGP antes y después.**

Ambas capturas de uptime se obtuvieron del mismo router antes y después de la migración donde se observa que antes se tenía un uptime de 1 hora 51 minutos en las 2 sesiones BGP establecidas hacia los GSD 1 y 2 debido al uso de BFD sobre BGP y caída constante de sesiones BGP, y en la segunda imagen se observa un uptime de 1 semana 6 días debido al uso de PEER BFD. Este último valor de uptime no es mayor a 1 semana debido a los cortes de energía en las radiobases y fallas en las baterías de las mismas.

Finalmente se realizó el cambio de configuración en donde en la siguiente tabla se observa un resumen de los protocolos de antes y después.

**Tabla 6 Comparación de protocolos usados antes y después.**

MIGRACIÓN	CONFIGURACIÓN ANTES	CONFIGURACIÓN DESPUES
<b>Protocolo IGP</b>	ISIS L2	ISIS L1 L2
<b>Protocolo de Transporte L3 MPLS</b>	RSVP-TE	LDP túnel LSP
<b>Protección de LSP para 3G/4G</b>	BFD BGP	PEER BFD y VPN FRR
<b>Protocolo EGP</b>	BGP	BGP LU
<b>VPNs</b>	HOVPN 6150v3	H-VPN + IBGP-LU 6120

La tabla detalla los cambios en los protocolos de red antes y después de la migración, lo que implica una transformación en la forma en que se enruta y gestiona el tráfico de datos en una infraestructura de red.

Antes de la migración, la red utilizaba principalmente el protocolo ISIS en su capa de enlace de datos (L2) para el enrutamiento interior. Para la ingeniería de tráfico (TE, Traffic Engineering) y la provisión de servicios MPLS (Multiprotocol Label Switching), se empleaba el protocolo RSVP-TE (Resource Reservation Protocol - Traffic

Engineering). La protección de los LSP (Label Switched Paths) en redes 3G y 4G se basaba en BFD (Bidirectional Forwarding Detection) y BGP (Border Gateway Protocol). En cuanto a la interconexión entre dominios de routing, se utilizaba BGP, y para las VPNs (Redes Privadas Virtuales) se empleaba HoVPN (Hierarchical Overlay VPN) en la plataforma 6150v3.

Después de la migración, se observan varios cambios significativos. En primer lugar, se mantiene ISIS L2 en la capa de enlace de datos, pero se introduce ISIS L1 para complementar el enrutamiento. En cuanto al protocolo de transporte L3 para MPLS, se migra a LDP (Label Distribution Protocol), lo que simplifica la configuración y gestión de los túneles LSP. Para la protección de los LSP en redes 3G y 4G, se utiliza ahora BFD en los peers y VPN FRR (Fast Reroute), lo que proporciona una mayor redundancia y recuperación más rápida en caso de fallos. En el ámbito del EGP (Exterior Gateway Protocol), se adopta BGP LU (Label Unicast), que mejora la escalabilidad y eficiencia en el intercambio de rutas entre dominios de routing. Finalmente, en lo que respecta a las VPNs, se migra a H-VPN (Hierarchical VPN) en la plataforma 6120, combinada con IBGP-LU (Interior Border Gateway Protocol - Label Unicast), lo que ofrece una mayor granularidad en la segmentación de la red y un mejor control sobre el tráfico.

Las ventajas de estos cambios incluyen a la introducción de ISIS L1 que permite una mayor flexibilidad en la configuración de la red y una mejor escalabilidad. La migración a LDP simplifica la gestión de los túneles MPLS y reduce la complejidad de la configuración. La combinación de BFD y VPN FRR mejora la disponibilidad y la recuperación de los servicios en caso de fallos. BGP LU proporciona una mayor eficiencia en el intercambio de rutas y una mejor escalabilidad. Por último, la migración a H-VPN con IBGP-LU ofrece una mayor granularidad en la segmentación de la red y un mejor control sobre el tráfico, lo que es fundamental en entornos empresariales complejos. En resumen, esta migración ha permitido modernizar la infraestructura de red, mejorando su rendimiento, fiabilidad y capacidad de adaptación a las demandas cambiantes del negocio.

### 3.3 ANÁLISIS DE NUEVA TOPOLOGÍA

Se verificó que los tiempos de convergencia de todos los protocolos de la red MPLS se usen de acuerdo con la siguiente tabla.

**Tabla 7 Tiempos de convergencias nuevas.**

Característica	Valor
LSP Regenerating Interval	Maximum waiting time: 1s Initial waiting time: 50s
SPF Topology Calculation Interval	Maximum waiting time: 1s Initial waiting time: 50s
BGP Keepalive Timer	30s
BGP Hold Timer	90s

Se observa la tabla de la red migrada MPLS que indica que se han configurado diversos parámetros de temporización para garantizar la estabilidad y eficiencia de los protocolos de enrutamiento y señalización. Estos valores determinan la frecuencia con la que se realizan ciertas operaciones y el tiempo que el equipo espera una respuesta para seguir con las sesiones.

Para ambos parámetros de SPF Topology Calculation y LSP Regenerating Interval tienen como tiempo mínimo de espera de 1 segundo que indica que cuando existen cambios en la topología de la red, el router responderá de manera rápida para actualizar las rutas. Y el valor del hold timer de 90 segundos que indica que, si se pasa de ese valor, el router asumirá que el vecino está fuera de servicio y tomará las medidas correspondientes.

Luego se analizó el cambio de topología el cual se puede resumir en la siguiente tabla con la capacidad de los enlaces previos y migrados.

**Tabla 8 Tabla comparativa de cambios topológicos.**

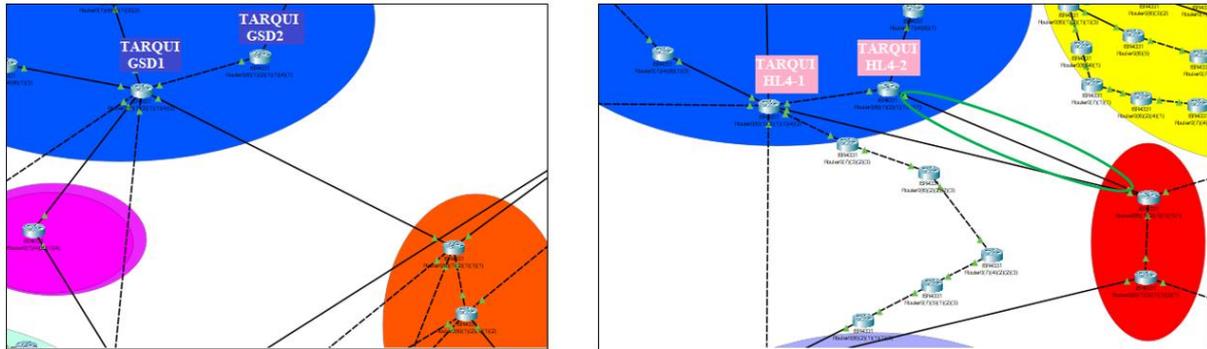
Topología	TOPOLOGIA ANTES	TOPOLOGÍA DESPUES
<b>ACCESS LAYER</b>	1GE o 10GE	10GE
<b>DISTRIBUTION LAYER</b>	10GE	10GE o 100GE
<b>CORE LAYER</b>	10GE	20GE
<b>ISIS</b>	L2 para acceso y distribución  repetición ISIS Process ID	L1 para acceso L2 para distribución y core  diferentes procesos ISIS por anillo

La tabla muestra una evolución en la topología de una red, comparando la situación antes y después de una serie de cambios. En términos sencillos, la topología de una red define la estructura y organización de los dispositivos que la componen, así como la forma en que están interconectados. Inicialmente, la red utilizaba enlaces de menor velocidad (1Gb o 10Gb) en la capa de acceso y distribución, y un único proceso ISIS para gestionar el enrutamiento en toda la red. Sin embargo, los cambios introducidos han llevado a una mejora significativa en el rendimiento y la escalabilidad de la red. Se han estandarizado los enlaces de 10Gb en la capa de acceso, se han agregado opciones de 100Gb en la capa de distribución y se ha duplicado la velocidad a 20Gb en la capa core. Además, se ha adoptado una estrategia de múltiples procesos ISIS, asignando un proceso diferente a cada anillo de la red. Esta última modificación permite aislar los distintos dominios de routing, mejorando la estabilidad y facilitando la gestión de la red. En resumen, la nueva topología ofrece una red más rápida, escalable y robusta, capaz de soportar un mayor volumen de tráfico y un número creciente de dispositivos.

Los beneficios de estos cambios son múltiples. En primer lugar, el aumento de velocidad en los enlaces permite transmitir una mayor cantidad de datos en menos tiempo, lo que se traduce en una mejor experiencia para los usuarios. En segundo lugar, la capacidad de la red se incrementa considerablemente, permitiendo conectar más dispositivos y soportar aplicaciones más exigentes. Además, la redundancia implícita en el uso de enlaces de mayor velocidad y la segmentación de la red

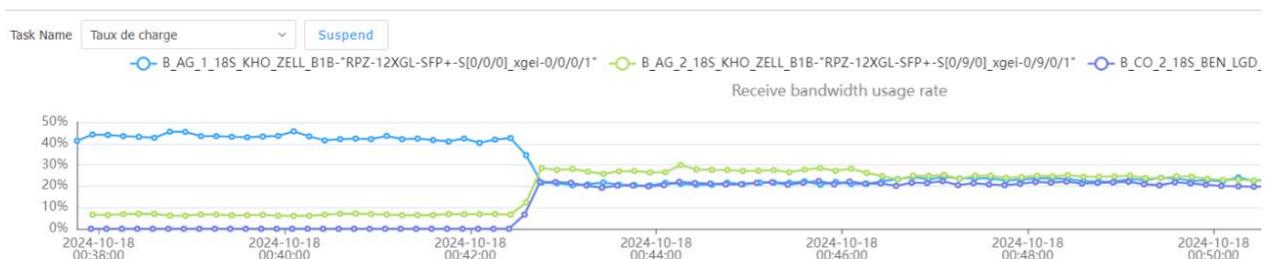
mediante múltiples procesos ISIS contribuyen a una mayor fiabilidad y tolerancia a fallos.

De acuerdo con el gráfico de la siguiente imagen, en el área de distribución se añadió un enlace extra en el router llamado TARQUI GWD2 de 10GE, esto se tradujo en una mejor distribución del tráfico de esa cabecera de anillo.



**Ilustración 53 Agregación de enlace de 10GE redundante.**

En donde al agregar una tercera ruta de redundancia en el HL4-2 de TARQUI mediante una ventana de mantenimiento se pudo observar una mejora en la distribución del tráfico de TARQUI donde se tenía un uso previo del 40% hacia el HL4-1 de TARQUI y después a las 00:43:00AM del 18/Octubre/2024 se tiene una distribución del 20% para cada link dentro del smartgroup a nivel de la capa de agregación como se observa en la siguiente imagen, además como fue mencionado anteriormente, se mantiene el diseño general de la red IPRAN de full mesh.



**Ilustración 54 Distribución equitativa de tráfico en smartgroup en AN4 de TARQUI.**

Con estas implicaciones, al haber tenido un alto tráfico de datos antes se pudo haber tenido el caso de latencias. Una de las posibles causas de este desbalance de tráfico

previo pudo haber sido por una configuración inadecuada como no haber dimensionado correctamente el ancho de banda a transmitir en ese anillo de donde esto fue solucionado al actualizar los enlaces de ese router de distribución.

### 3.4 ANÁLISIS DE ELECCIÓN DE RUTAS MAS CORTAS

Al validar cortes de FO en una RBS, se observaron los siguientes protocolos que aparecieron y sus tiempos de conmutación.

Location	Alarm Code	Raised Time
L3VPN_Peer[peerIndex:1215,VpnName:4G-CP]	L3VPN Peer L3VPN peer unreachable(21275)	2024-11-30 00:41:08
L3VPN_Peer[peerIndex:1215,VpnName:4G-OM]	L3VPN Peer L3VPN peer unreachable(21275)	2024-11-30 00:41:08
L3VPN_Peer[peerIndex:1215,VpnName:4G-UP]	L3VPN Peer L3VPN peer unreachable(21275)	2024-11-30 00:41:08
L3VPN_Peer[peerIndex:1215,VpnName:2G-GYE]	L3VPN Peer L3VPN peer unreachable(21275)	2024-11-30 00:41:08
L3VPN_Peer[peerIndex:1215,VpnName:3G-GYE]	L3VPN Peer L3VPN peer unreachable(21275)	2024-11-30 00:41:08
SMGD[0-1-1]-ISIS[InstanceId:65278]	ISIS notifies that the interface state is changed(19607)	2024-11-30 00:41:06
RSVPNeighbour[LocalAddr]	RSVP Neighbour GR HELLO session deleted(19585)	2024-11-30 00:41:06
RsvpLspBFD[tunnelId:131,Ispld:8,direction:forward]	RSVP LSP BFD Session down(3396)	2024-11-30 00:41:06
RsvpLspBFD[tunnelId:117,Ispld:5022,direction:forward]	RSVP LSP BFD Session down(3396)	2024-11-30 00:41:06
PeerBfd[localAddr]	CPTT_PEER_BFD Session down(3396)	2024-11-30 00:41:06
SMGD[0-1-1]-25GE:26-SubPort:100-ISIS[sysIdLevel:1,InstanceId:65278]	ISIS neighbour down alarm(20623)	2024-11-30 00:41:06

**Ilustración 55 Alarmas al realizar un corte de FO.**

Se observan alarmas desde las 00:41am por corte de fibra óptica en un enlace de 10GE con arribo dependiendo de los tiempos de detección que se observaron en las configuraciones de los protocolos MPLS como son de ISIS con la vlan 100 al tener su adyacencia down, luego de PEER BFD al tener conmutación de las sesiones BGP hacia los colaterales mediante LDP y RSVP, y por último se tienen alarmas de las VRF capa 3 L3VPN que conmutan con las sesiones BGP cada una con su propia instancia.

Y al momento de recuperar el enlace a las 01:02am, se vieron estas alarmas clareadas.

Location	Alarm Code	Raised Time	P
RsvpLspBFD[tunnelId:131,Ispld:5577,direction:forward]	RSVP LSP BFD BFD session changed.(20839)	2024-11-30 01:03:28	
RSVPNeighbour[LocalAddr:172.0.23.18,NeighbourAddr:172.0.23.17]	RSVP Neighbour GR HELLO session state changed(19584)	2024-11-30 01:02:37	
RSVPNeighbour[LocalAddr:172.0.23.18,NeighbourAddr:172.0.23.17]	RSVP Neighbour GR HELLO session created(19584)	2024-11-30 01:02:27	
RSVPNeighbour[LocalAddr:172.0.23.18,NeighbourAddr:172.0.23.17]	RSVP Neighbour GR HELLO session state changed(19584)	2024-11-30 01:02:27	
RSVPNeighbour[LocalAddr:172.0.23.18,NeighbourAddr:172.0.23.17]	RSVP Neighbour GR hello lost(21175)	2024-11-30 01:02:27	
SMGD[0-1-1]-25GE:26-SubPort:100-LinkBfd[localAddr:172.17.106.26,peerAddr:172.17.106.27]	LINK BFD BFD session changed.(20839)	2024-11-30 01:02:12	

**Ilustración 56 Alarmas que se borran al subir el enlace de FO.**

Se observa que los parámetros de ISIS de FAST CONVERGENCE se cumplen al tener una subida de las sesiones mediante ISIS LSP FAST FLOOD habilitado. Esta convergencia rápida IS-IS es una característica extendida de IGP implementada para

acelerar la convergencia de rutas. Se observan alarmas de BFD clareadas debido al efecto de fast handover pero sin afectación en los servicios UMTS y LTE, esto se debe a la configuración en milisegundos del “negotiate - fail - notify - time 300s” que establece el tiempo para notificar un fallo en la negociación en 300s, es decir que cuando la negociación en BFD falla, se notificará después de este tiempo.

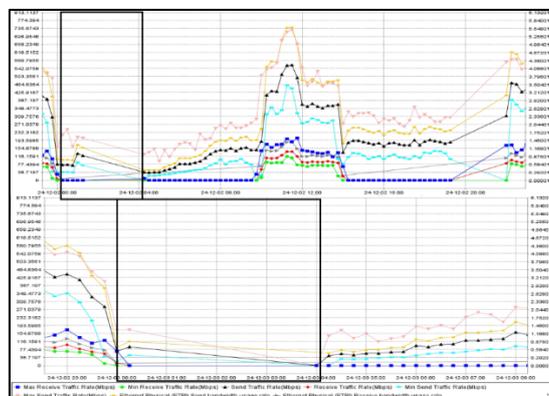
Este tiempo de alarma de BFD es el mismo para la conmutación de tráfico debido a su configuración de “graceful restart - time 300s” el cual es el tiempo que se tomará para completar el reinicio gradual del protocolo. Esto permite que el dispositivo realice un reinicio de manera controlada y sin interrupciones graves en la red.

Se revisaron los horarios de cortes de luz en la página oficial de CNEL como se observa en la siguiente ilustración.



**Ilustración 57 Horario de corte de luz en PROSPERINA.**

Donde se validará que cuando apenas finalice el horario de corte de energía, el router recupere su tráfico y se encienda rápidamente, a continuación, se observa el tráfico del router el 02/diciembre/2024.



**Ilustración 58 Tráfico de ipran PROSPERINA después.**

Se observa que el tiempo de recuperación coincide con las 4 horas de falta de servicio desde las 00:00-04:00am. Para la conexión entre AN3-AN4-AN5 se usó el protocolo iBGP donde los AN5 apuntando hacia los AN4 de su anillo como se observa en la siguiente imagen.

Neighbor	Ver As	MsgRcvd	MsgSend	Up/Down	State
172.17.112.15	4 19114	147897	1269	20:28:38	Established

ALBORADA 11VA ETAPA 6120H-S#

**Ilustración 59 Sesiones iBGP AN5-AN4.**

Para las sesiones iBGP entre los AN4-AN5 y AN4-AN3 se tienen sesiones establecidas desde el punto de vista del AN4 para todos los AN5 de su anillo. Y para las sesiones AN4-AN3 se tienen solo 2 sesiones que son las 2 primeras que se observan en la siguiente imagen.

Neighbor	Ver As	MsgRcvd	MsgSend	Up/Down	State
172.17.112.0	4 19114	1091076	23539	6d12h	Established
172.17.112.1	4 19114	1071620	23527	6d12h	Established
172.17.114.40	4 19114	10640	1264814	6d12h	Established
172.17.114.41	4 19114	10705	1264812	6d12h	Established
172.17.114.42	4 19114	10583	1283867	6d12h	Established
172.17.114.43	4 19114	19254	1299034	6d12h	Established
172.17.114.44	4 19114	1394	147067	20:34:46	Established
172.17.114.45	4 19114	10577	1264965	6d12h	Established
172.17.114.46	4 19114	11183	1303042	6d12h	Established
172.17.114.47	4 19114	10721	1264809	6d12h	Established
172.17.114.48	4 19114	10571	1264807	6d12h	Established
172.17.114.49	4 19114	10616	1264909	6d12h	Established
172.17.114.50	4 19114	10623	1264812	6d12h	Established
172.17.114.51	4 19114	10817	1264811	6d12h	Established
172.17.114.60	4 19114	10343	1263933	6d8h	Established
172.17.114.62	4 19114	103	31277	01:28:58	Established
172.17.114.63	4 19114	1751	178430	1d1h	Established
172.17.114.64	4 19114	1724	178404	1d1h	Established
172.17.114.65	4 19114	10479	1325767	6d9h	Established
172.17.114.66	4 19114	10348	1247199	6d9h	Established
172.17.114.67	4 19114	11860	1366578	6d9h	Established
172.17.114.68	4 19114	11373	1317969	6d9h	Established
172.17.114.69	4 19114	10605	1284124	6d12h	Established
172.17.114.70	4 19114	14782	1385913	6d12h	Established
172.17.114.71	4 19114	886	100133	12:16:29	Established
172.17.114.72	4 19114	10725	1417817	6d12h	Established
172.17.114.73	4 19114	10636	1376805	6d12h	Established
172.17.114.74	4 19114	10601	1384999	6d12h	Established
172.17.114.75	4 19114	10593	1283672	6d12h	Established
172.17.114.76	4 19114	10628	1283851	6d12h	Established
172.17.114.77	4 19114	10539	1283862	6d12h	Established
172.17.114.78	4 19114	10674	1381593	6d12h	Established

--More--

**Ilustración 60 Sesiones iBGP AN4-AN5**

Neighbor	Ver	As	MsgRcvd	MsgSend	Up/Down	State
10.116.254.8	4	19114	8911181	725035	2w6d	Established
10.116.254.9	4	19114	10883869	725019	2w6d	Established
172.17.112.2	4	19114	33419	506200	2w6d	Established
172.17.112.3	4	19114	33346	502992	2w6d	Established
172.17.112.4	4	19114	35492	949724	2w2d	Established
172.17.112.5	4	19114	169724	450886	2w6d	Established
172.17.112.6	4	19114	152330	538816	2w6d	Established
172.17.112.7	4	19114	0	0	00:00:00	Connect
172.17.112.8	4	19114	0	0	00:00:00	Connect
172.17.112.9	4	19114	52694	1184042	2w6d	Established
172.17.112.10	4	19114	33901	819562	2w6d	Established
172.17.112.11	4	19114	163070	871243	2w6d	Established
172.17.112.12	4	19114	34821	1285246	2w6d	Established
172.17.112.13	4	19114	34722	899537	2w6d	Established
172.17.112.14	4	19114	187019	645483	2w6d	Established
172.17.112.15	4	19114	33642	1080540	6d12h	Established
172.17.112.16	4	19114	37567	1260746	2w6d	Established
172.17.112.17	4	19114	48175	2321365	1w4d	Established
172.17.112.18	4	19114	283950	1429957	2w6d	Established
172.17.112.19	4	19114	33353	812159	2w6d	Established

**Ilustración 61 Sesiones iBGP AN4-AN3.**

Al comparar la tabla de enrutamiento de los GSA y AN5, se puede observar que en la red previa se tienen rutas por defecto hacia las cabeceras mediante túneles para las vrfs como se puede observar en la siguiente ilustración.

Dest	Gw	Interface	Owner	Pri	Metric
*> 0.0.0.0/0	10.0.0.113	te_tunnel113	BGP	200	0
*> 172.25.195.148/30	172.25.195.150	gei-1/2/0/2.2103	Direct	0	0
*> 172.25.195.150/32	172.25.195.150	gei-1/2/0/2.2103	Address	0	0

**Ilustración 62 Ruta por defecto en GSA.**

Como se observa en la ilustración se tiene la tabla de enrutamiento de la vrf de 3G con 3 rutas aprendidas, la primera como ruta por defecto 0.0.0.0 mediante el gateway de su GSD de distribución y tunel113. Con esta ruta por defecto, se tiene conectividad hacia los routers de agregación y las rutas que no se aprendan por las directas y address van a salir por esa salida.

Dest	Gw	Interface	Owner	Pri	Metric
*> 0.0.0.0/0	172.16.139.1	xxvgei-1/1/0/28...	BGP	200	0
*> 10.16.1.0/30	172.17.112.5	xxvgei-1/1/0/28...	BGP	200	0
*> 10.16.1.4/30	172.17.112.5	xxvgei-1/1/0/28...	BGP	200	0
*> 10.16.1.8/30	172.17.112.5	xxvgei-1/1/0/28...	BGP	200	0
*> 10.16.1.12/30	172.17.112.5	xxvgei-1/1/0/28...	BGP	200	0
*> 10.16.1.16/30	172.17.112.5	xxvgei-1/1/0/28...	BGP	200	0
*> 10.16.1.20/30	172.17.112.5	xxvgei-1/1/0/28...	BGP	200	0
*> 10.16.1.24/30	172.17.112.5	xxvgei-1/1/0/28...	BGP	200	0
*> 10.16.1.28/30	172.17.112.5	xxvgei-1/1/0/28...	BGP	200	0

**Ilustración 63 Ruta por defecto en AN5.**

En la ilustración se observa la tabla de enrutamiento de un router en la red migrada también con una ruta de enrutamiento que aprende mediante BGP y LDP.

Con el uso de rutas por defecto en ambas redes se tiene una simplificación de la configuración de rutas para las VRFs.

Se observa una ruta por defecto para los servicios móviles 0.0.0.0 al gateway de su anillo AN4 y que localmente tengan salida por su gw la interfaz.100 por BGP y las demás rutas que se observan se aprenden por la subinterfaz que tiene ese servicio por iBGP, también se ven las directamente conectados DIRECT. Las redes que tienen como owner a BGP es porque tiene sesiones BGP con esa red del nodo y las redes que no se aprenden por las redes específicas entre nodo-iproan debe salir de ley por la de defecto. En la tabla de enrutamiento se visualiza que la ruta que dice ADDRESS es de la WAN DEL PUERTO y DIRECT es de la red del nodo. Estas sesiones BGP que vienen por la subinterfaz que el nodo las anuncia hacia el ipran.

En la red previa se observan menos sesiones iBGP entre AN4-AN4 en donde eran las sesiones de cada router de la capa de distribución estaban establecidas con todos los demás routers de esa capa.

Esto significa que todos los routers intercambiaban información de rutas directamente entre sí, formando una malla completa de conectividad BGP sin restricciones de peering iBGP teniendo así una red lenta en caso de fallos, pero en la red migrada las sesiones iBGP se establecen ya no entre AN4 sino hacia los 2 AN3 centrales como se puede ver en la siguiente ilustración.

```
router bgp
 synchronization disable
 bgp router-id
 network 255.255.255.255
 neighbor remote-as
 neighbor activate
 neighbor send-community
 neighbor send-label
 neighbor update-source loopback0
 neighbor route-map FromHL4 in
 neighbor route-map toHL4 out
 address-family vpnv4
  neighbor activate
  neighbor send-community
  neighbor additional-paths receive
!
 address-family ipv4 vrf 2G
  bgp frr
  bgp frr wtr 5
  redistribute connected
  redistribute static
!
```

**Ilustración 64 Configuración de iBGP.**

En la ilustración se observa la configuración de interna BGP empezando por el comando router BGP AS que utiliza BGP para intercambiar rutas con otros AS. Luego está el comando de synchronization disable que deshabilita la sincronización BGP que permite que BGP anuncie rutas sin esperar a la sincronización con IGP.

Luego está el BGP router id que se utilizó una dirección IP única para identificar el router en el contexto de BGP, luego se anuncia la red propia del router, luego el vecino BGP dentro del mismo AS y se lo activa. El comando send label realiza el envío de etiquetas al vecino BGP MPLS.

En la red migada se tienen nuevas VRFs con nombres diferentes y nuevos parámetros para los servicios de 3G y 4G para los servicios capa 3 L3VPN. Estas nuevas VRFs contienen nuevas redes que se importan y exportan desde las redes de IPCORE para la conectividad entre nodos-nodos y nodos-controladoras. Antes al tener solamente 1 ruta de importación y exportación, se tenía a la VRF conectada a una sola red también porque se tenía resumida a las rutas, es decir, múltiples rutas de importación se resumen en una sola ruta de exportación para simplificar la tabla de enrutamiento. En cambio, ahora algunas VRFs como la de 4G que tiene 2 rutas de importación y 1 ruta de exportación que asegura una conectividad redundante al tener múltiples conexiones a la misma red para aumentar la disponibilidad que se importan.

### 3.5 ANÁLISIS DE HARDWARE

Character	CPU(5s)	CPU(1m)	CPU(5m)	Peak	PhyMem	FreeMem	Mem	
PFU-0/0/0	N/A	10%	10%	10%	11%	16384	12600	23.096%
PFU-0/1/0	N/A	9%	9%	9%	10%	16384	12638	22.864%
PFU-0/2/0	N/A	13%	12%	12%	13%	16384	12540	23.462%
MPU-0/3/0	SSC	3%	2%	2%	3%	16384	13048	20.361%
MPU-0/4/0	MSC	3%	3%	3%	4%	16384	12547	23.419%
PFU-0/0/0	N/A	11%	11%	11%	11%	16384	12742	22.229%
PFU-0/1/0	N/A	11%	11%	11%	11%	16384	12732	22.290%
PFU-0/2/0	N/A	10%	10%	10%	10%	16384	12701	22.479%
MPU-0/3/0	MSC	4%	4%	6%	4%	16384	12546	23.425%
MPU-0/4/0	SSC	2%	2%	4%	3%	16384	13036	20.435%

**Ilustración 65 Procesamiento de AN3 y AN4.**

En el slot de la memoria del equipo, se puede observar que tienen un menor uso de su memoria que es más alta en capacidad lo cual tiene sentido ya que tienen más espacio y por ende una mayor capacidad de procesamiento. Luego en las 3 columnas

de CPUs se pueden observar 3 núcleos en donde cada uno representa el trabajo que hace un trabajo dividido del 100% en donde en conjunto con la RAM hacen que el equipo en total sea más rápido.

En la red previa, la parte de memoria libre de las tarjetas en línea se puede observar que estas tienen bastante uso y que solamente tienen 1G libre de RAM lo cual indica que se están usando de una manera muy desproporcional. Se observa entonces que la carga de trabajo no está correctamente dividida.

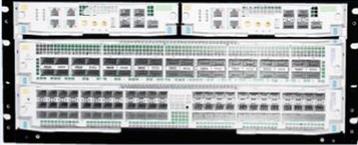
También en ambas redes se puede observar que no usan una memoria de valor muy alto ya que son equipos que no manejan un lenguaje de alto nivel como por ejemplo Java o Python, que suele ser del tipo de lenguaje que hace que sea fácil de entender al ser humano. Por lo que no necesitan una memoria de alto rendimiento.

A continuación, se realizará una comparación entre los routers de la red previa y los routers de la red migrada con sus respectivas figuras de sus routers y su respectiva descripción.

**Tabla 9 Hardware antes.**

Routers antes	detalles
<p style="text-align: center;">HL5</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo ZXCTN6150 ZTE</li> <li>• Capacidad de conmutación 0,5 Tbps</li> <li>• Tipo de interfaz 10GE/GE/FE/E1</li> <li>• Consumo de energía típico &lt;300W</li> <li>• 8 slots</li> <li>• Peso &lt;7,5kg</li> </ul>
<p style="text-align: center;">HL4</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo ZXCTNM6000-S ZTE</li> <li>• Capacidad de conmutación 1,5 Tbps</li> <li>• Tipo de interfaz 10GE/GE/FE/E1</li> <li>• 8 slots</li> <li>• Consumo de energía típico &lt;1200W</li> <li>• Peso &lt;25 kilos</li> </ul>
<p style="text-align: center;">HL3</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo ZXCTNM6000-3S ZTE</li> <li>• Capacidad de conmutación 2,5 Tbps</li> <li>• Tipo de interfaz 10GE/GE/FE/E1</li> <li>• 6 slots</li> <li>• Consumo de energía típico &lt;1800W</li> <li>• Peso &lt;30 kilos</li> </ul>

**Tabla 10 Hardware después.**

Routers después	detalles
<p>HL5</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo ZXCTN6120H-S ZTE</li> <li>• Capacidad de conmutación 1 Tbps</li> <li>• Tipo de interfaz 100 GE/50 GE/25 GE/10 GE/GE</li> <li>• Consumo de energía típico &lt;260W</li> <li>• 1 slot</li> <li>• Peso &lt;5kg</li> </ul>
<p>HL4</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo ZXCTNM6000-2S8 ZTE</li> <li>• Capacidad de conmutación 2,4 Tbps</li> <li>• Tipo de interfaz 100 GE/50 GE/25 GE/10 GE/GE</li> <li>• 12 slots</li> <li>• Consumo de energía típico &lt;1000W</li> <li>• Peso &lt;30 kilos</li> </ul>
<p>HL3</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelo ZXCTNM6000-3S PLUS ZTE</li> <li>• Capacidad de conmutación 3 Tbps</li> <li>• Tipo de interfaz 100 GE/50 GE/25 GE/10 GE/GE</li> <li>• 6 slots</li> <li>• Consumo de energía típico &lt;1660W</li> <li>• Peso &lt;25 kilos</li> </ul>

La tabla presenta una evolución significativa en las características de los routers empleados, evidenciando un notable avance tecnológico. Los routers de nueva generación tienen un incremento sustancial en su capacidad de conmutación, lo que se tradujo en una mayor capacidad para gestionar volúmenes de tráfico más elevados y complejos.

Asimismo, se observa una reducción considerable en el consumo de energía, a pesar del aumento en la capacidad de procesamiento. Esta mejora en la eficiencia energética es un aspecto crucial en el contexto de la optimización de costos.

En cuanto a las interfaces de red, los nuevos routers incorporan una mayor variedad de opciones, incluyendo velocidades más altas como 100G, 50G y 25G y los previos tienen de máximo 10G, lo que permite adaptarse a las demandas crecientes de las redes modernas. Con respecto al peso, los routers más recientes son significativamente más ligeros, facilitando su instalación y transporte.

Se ha logrado una reducción considerable en el consumo de energía de los nuevos routers. En algunos casos, esta reducción supera el 10%, lo que representa un avance significativo en términos de eficiencia energética. Los routers más recientes son notablemente más ligeros, con una reducción de peso que puede superar el 20% en algunos modelos. En general se observa una tendencia hacia una reducción en el número de slots, lo que simplifica la configuración y gestión del equipo.

Se tuvo también una reducción tanto en el tamaño físico como en el consumo de energía. Esto se debe en gran medida a los avances en la tecnología de los componentes electrónicos, lo que ha permitido desarrollar equipos más compactos y eficientes. En segundo lugar, la capacidad de conmutación de los routers ha experimentado un crecimiento exponencial, lo que se traduce en una mayor capacidad para soportar aplicaciones de alta demanda, como la transmisión de los servicios móviles de 3G y 4G. En conclusión, la evolución de los routers presenta una clara tendencia hacia equipos más potentes, eficientes y flexibles.

### 3.6 COSTOS

Con respecto a los costos, se realizó el siguiente análisis considerando la cantidad total de routers donde su cantidad fue la misma antes y después de la migración, los nuevos modelos usados y sus precios, y el costo de los ingenieros de despliegue de la red y los técnicos contratistas que realizaron el intercambio de los equipos y las nuevas conexiones físicas.

1. **2 routers GSC** (de alta gama, más costosos).
2. **10 routers GSD** (de gama media).
3. **188 routers GSA** (de gama estándar, más económicos).

**Tabla 11 Costos de routers previos.**

<b>Routers antes:</b>		
1. <b>GSC (2 unidades):</b>	\$400 por unidad → 2×400=800 USD	(3.1)
2. <b>GSD (10 unidades):</b>	\$220 por unidad → 10×220=2,200 USD	(3.2)
3. <b>GSA (188 unidades):</b>	\$100 por unidad → 188×100=18,800 USD	(3.3)
<b>Costo total antes: \$ 21,800</b>		

**Tabla 12 Costo de routers después.**

<b>Routers después:</b>	
1. <b>GSC (2 unidades):</b> \$520 por unidad = $2 \times 520 = 1,040$ USD	(3.4)
2. <b>GSD (10 unidades):</b> \$270 por unidad = $10 \times 270 = 2,700$ USD	(3.5)
3. <b>GSA (188 unidades):</b> \$100 por unidad = $188 \times 100 = 18,800$ USD	(3.6)
<b>Costo total después:</b> 31,249 USD	

**Tabla 13 Costos de personal.**

<b>Costos de personal (constante):</b>	
1. <b>Ingenieros:</b> \$120,000	
2. <b>Técnicos:</b> \$30,000	
<b>Costo de personal total:</b> \$150,000	

**Tabla 14 Comparación de costos.**

<b>Antes:</b>	<b>Después:</b>
○ <b>Costo de routers:</b> \$21,800	○ <b>Costo de routers:</b> \$29,380
○ <b>Costo de personal:</b> \$150,000	○ <b>Costo de personal:</b> \$150,000
○ <b>Total antes:</b> \$171,800	○ <b>Total después:</b> \$ 181,380

**Comparación final:**

- **Diferencia:**  $181,380 - 171,800 = 9,580$  USD (3.7)
- **Porcentaje de incremento:**  $(9,580 / 171,800) \times 100 \approx 5.57\%$  (3.8)

El aumento del 5.57% en el costo total de la migración de los routers, aunque es una diferencia notable respecto a la red previa, se justifica por las mejoras tecnológicas que los nuevos equipos aportan. Los modelos más avanzados ofrecen mayores capacidades, mejor rendimiento y características adicionales como mayor fiabilidad, mayor seguridad y mejor escalabilidad. Esto implica que, aunque la inversión es más

alta, el costo adicional se ve reflejado en una infraestructura más robusta que puede soportar las crecientes demandas de la red.

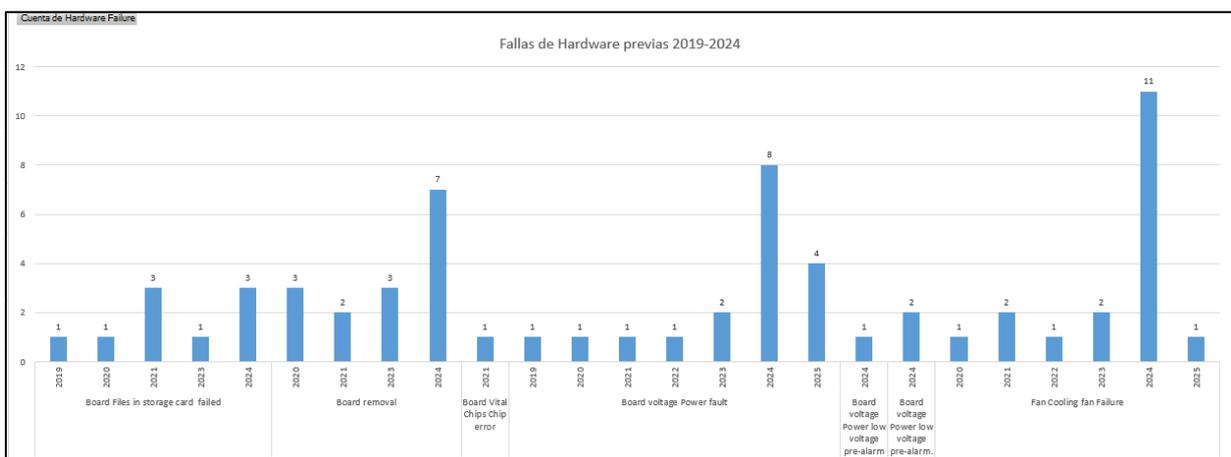
Se realizará una migración del uso de hardware antes y después de la migración donde en la siguiente imagen muestra las alarmas de la red IPRAN previa y después desde el 2019 al 2025 de acuerdo con la migración realizada.

Sever	NE Type	Equipmen	Location	Specific Problem	Alarm Code	Raised Time	Affect Customer Number	Location
Major	ZXR10 M6000-2S8	Access Layer	MICRO PUNTILLA 6200	Hardware failure	Fan Cooling fan Failure(107)	2025-01-22 11:29:13	2G:21 3G:0 GC:52 LTE:0	FAN[0-1-9]
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	VIA_EL_CAMBIO	Hardware failure	Board voltage Power fault(58)	2025-01-18 12:49:57	2G:2 3G:3 GC:1 LTE:3	PW[0-1-8]
Major	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	MACHALA_SUR	Hardware failure	Fan Cooling fan Failure(107)	2025-01-17 15:56:11	2G:2 3G:3 GC:1 LTE:3	FAN[0-1-9]
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	MACHALA_SUR	Hardware failure	Board voltage Power fault(58)	2025-01-17 15:56:11	2G:2 3G:3 GC:1 LTE:3	PW[0-1-8]
Major	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	U_SALESIANA_VIA_COSTA	Hardware failure	Fan Cooling fan Failure(107)	2024-12-19 17:47:45	2G:4 3G:0 GC:33 LTE:0	FAN[0-1-9]:Fan[FanID:1]
Major	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	SALINAS YATCH CLUB 6200	Hardware failure	Fan Cooling fan Failure(107)	2024-11-29 12:11:12	2G:0 3G:2 GC:0 LTE:3	FAN[0-1-9]
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	EL CARMEN MANABI	Hardware failure	Board voltage Power fault(58)	2024-11-04 00:16:08	L3:0 L2:1 TDM:2	PW[0-1-8]
Major	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	EL TRIUNFO CENTRO 6150	Hardware failure	Fan Cooling fan Failure(107)	2024-10-30 11:07:57	2G:0 3G:1 GC:0 LTE:0	FAN[0-1-9]:Fan[FanID:4]
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Edge	SALINAS	Hardware failure	Board voltage Power fault(58)	2024-10-20 17:06:47	L3:0 L2:79 TDM:28	PW[0-1-15]
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	AGUSTIN FREIRE	Suspected Hardware Failure	Board removal(62)	2024-08-30 17:06:47	2G:24 3G:0 GC:45 LTE:0	SM[E]0-1-3
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	LOS PARQUES	Hardware failure	Board voltage Power fault(58)	2024-08-14 17:28:43	L3:10 L2:41 TDM:14	PW[2D]0-1-10
Major	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	ORO VERDE 6150	Hardware failure	Fan Cooling fan Failure(107)	2024-08-14 17:28:43	L3:10 L2:13 TDM:3	FAN[0-1-9]:Fan[FanID:3]
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	GARCIA MORENO	Suspected Hardware Failure	Board removal(62)	2024-06-11 08:39:46	2G:0 3G:1 GC:0 LTE:0	SM[E]0-1-3
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	MACHALA FERROVIARIA, 6150	Suspected Hardware Failure	Board removal(62)	2024-06-10 14:29:46	L3:0 L2:0 TDM:0	PW[2D]0-1-11
Major	ZXCCTN 6150(R)	Access Edge	BARCELO COLON	Hardware failure	Fan Cooling fan Failure(107)	2024-06-08 06:26:25	L3:0 L2:75 TDM:28	FAN[0-1-17]
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	CERVECERIA NACIONAL	Suspected Hardware Failure	Board removal(62)	2024-06-04 00:16:08	L3:0 L2:0 TDM:0	PW[2D]0-1-10
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	BARRIO CUBA	Hardware failure	Board voltage Power fault(58)	2024-06-03 19:43:17	L3:6 L2:23 TDM:11	PW[2D]0-1-11
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	URBENOR PRIMERA ETAPA SUR	Suspected Hardware Failure	Board removal(62)	2024-06-01 07:14:07	L3:0 L2:0 TDM:0	PW[2D]0-1-11
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	GARCIA MORENO	Suspected Hardware Failure	Board removal(62)	2024-05-15 08:38:54	2G:5 3G:0 GC:32 LTE:0	SM[E]0-1-3
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	BARCELO COLON	Hardware failure	Board voltage Power fault(58)	2024-05-14 19:27:58	2G:9 3G:28 GC:1 LTE:0	PW[0-1-16]
Major	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	PASEO SHOPPING LIBERTAD	Hardware failure	Fan Cooling fan Failure(107)	2024-05-14 17:28:45	2G:0 3G:1 GC:0 LTE:4	FAN[0-1-9]
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	EL CARMEN MANABI	Hardware failure	Board voltage Power fault(58)	2024-05-14 05:55:37	2G:18 3G:0 GC:55 LTE:0	PW[0-1-8]
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	MACHALA FERROVIARIA, 6150	Suspected Hardware Failure	Board removal(62)	2024-04-30 11:07:57	2G:2 3G:3 GC:1 LTE:3	PW[2D]0-1-10
Major	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	SACCES 3	Hardware failure	Fan Cooling fan Failure(107)	2024-04-29 16:08:01	2G:38 3G:0 GC:80 LTE:0	FAN[0-1-9]:Fan[FanID:3]
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	GARZOTA	Hardware failure	Fan Cooling fan Failure(107)	2024-04-24 19:58:13	2G:21 3G:0 GC:52 LTE:0	FAN[0-1-9]:Fan[FanID:3]
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	TEMPO SAN PABLO	Suspected Hardware Failure	Board removal(62)	2024-04-23 04:28:31	2G:33 3G:7 GC:68 LTE:0	PW[2D]0-1-10
Major	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	MAPASINGUE ESTE 6200	Hardware failure	Fan Cooling fan Failure(107)	2024-04-22 13:05:43	2G:0 3G:0 GC:2 LTE:0	PW[2D]0-1-9
Outage	ZXCCTN 6150(R)	Access Layer	ROCAFUERTE 6150	Hardware failure	Board voltage Power fault(58)	2024-04-20 11:43:19	2G:1 3G:0 GC:2 LTE:0	PW[2D]0-1-11
Minor	ZXR10 M6000-S	Mixed-Access	FUERTE HUANCA_GWD M6K-3S	Suspected Hardware Failure	Fan group offline alarm(20540)	2024-04-15 02:37:00	2G:9 3G:28 GC:1 LTE:19	PWRGr[0-0-0]
Minor	ZXR10 M6000-S	Mixed-Access	NTEC-TOSAGUA-HL5T3	Hardware failure	Board voltage Povervoltage threshold crossed	2024-04-15 00:32:43	2G:0 3G:0 GC:10 LTE:0	PWRGr[0-0-1]:PWR[0]
Minor	ZXR10 M6000-S	Mixed-Access	NTEC-TOSAGUA-HL5T3	Hardware failure	Board voltage Power low voltage pre-alarm	2024-04-15 00:32:41	2G:0 3G:0 GC:10 LTE:0	PWRGr[0-0-1]:PWR[0]

**Ilustración 66 Alarmas previas.**

Como se observa en esta ilustración, en el 2024 se tienen varias alarmas sobre fallos de hardware en comparación con el 2025 que la red ya se encontraba migrada.

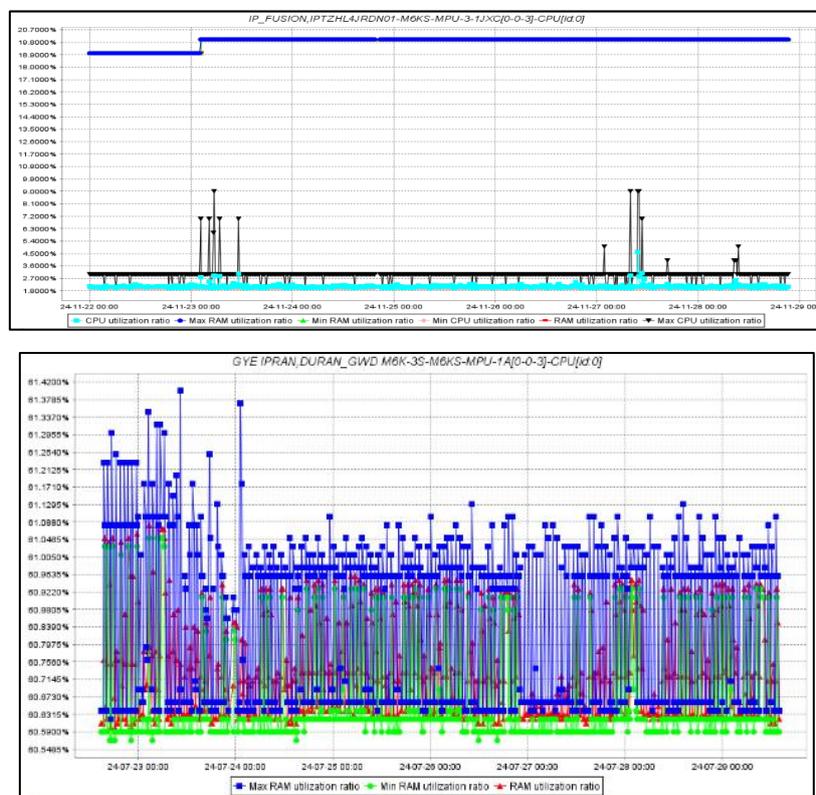
Estas alarmas de la red previa y migrada se pueden resumir en el siguiente gráfico de Excel.



**Ilustración 67 Alarmas del 2024.**

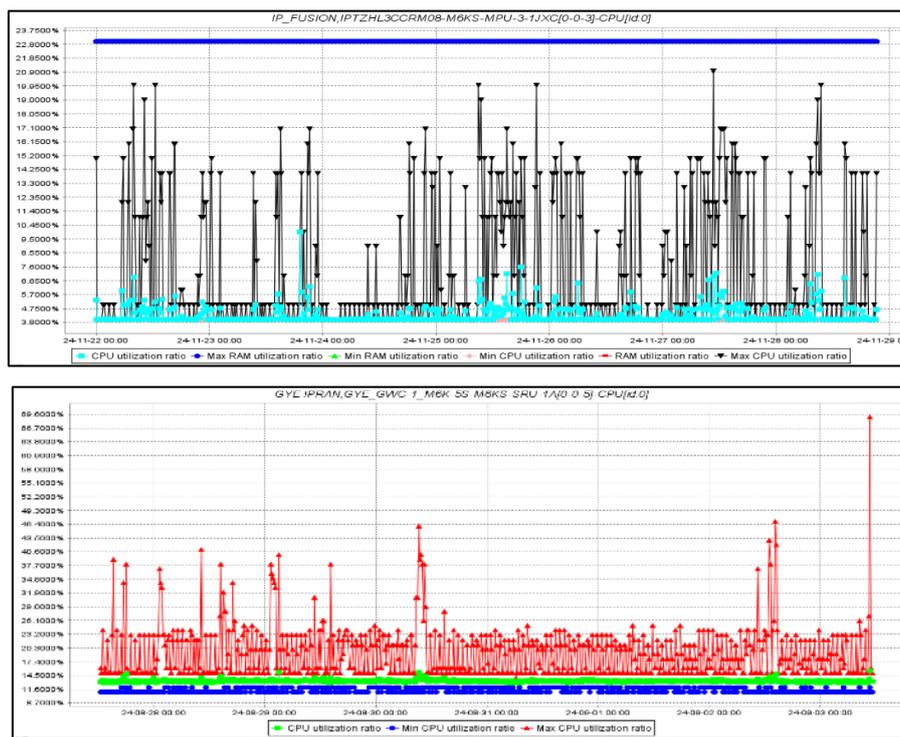
Los valores observados concuerdan con los problemas de cortes de luz en Ecuador del 2024 de la red previa ya que los apagones en Ecuador comenzaron a intensificarse a partir de abril de 2024 debido a una crisis energética por varias horas al día, afectando tanto a los hogares como a las industrias sectores de las telecomunicaciones, esto también afectó al sector de las telecomunicaciones generando así alarmas de fallas de hardware como niveles de voltaje sobrepasados, tarjetas de equipos y fans de routers dañadas. Como se observa se tienen picos de estas alarmas en el año 2024 en comparación con el 2025 que solamente se tienen 4 alarmas de voltaje y 1 de fan de los nuevos modelos.

La MPU para cada AN5, AN4 y AN3, es decir, la unidad principal de procesamiento de estos routers, conmuta datos para todo el sistema a una velocidad de línea de 1Tbit/s (500 Gbit/s para el tráfico ascendente y 500 Gbit/s para el descendente), 2Tbit/s (1 Tbit/s para el tráfico ascendente y 1 Tbit/s para el descendente) y 3Tbit/s (1.5 Tbit/s para el tráfico ascendente y 1.5 Tbit/s para el descendente). Esto garantiza una red de conmutación sin bloqueos También los 3 tipos de routers tienen tres CPUs que funcionan en modo de equilibrio de carga 2+1. El sistema completo proporciona una capacidad de conmutación a una velocidad de cable de 3 Tbit/s, 6 Tbit/s y 9 Tbit/s.



**Ilustración 68 Antes y después de RAM y CPU del AN4 de DURAN.**

Se observó que al realizar el cambio del router del modelo anterior al nuevo modelo del AN4 se tuvo un mayor uso de memoria RAM, ya que el equipo nuevo tuvo más configuraciones por parte de las rutas que se anunciaban que nacían desde los routers de acceso hasta los routers de distribución y hasta los de core con lo que se puede comprobar el rendimiento de la capa de acceso al procesar más información sin caídas por el sample que se tomó.



**Ilustración 69 Antes y después de AN3RAM y CPU.**

Al observar los valores de procesamiento de los AN3, se puede observar de las tarjetas de línea que tienen un uso del 10% en Gigas de memoria en su columna de physical memory con un 90% de sus Gigas sobrantes, es decir que solamente se está usando 10% por cada tarjeta de línea, que al compararla con los valores anteriores de los modelos se tiene una mejora ya que se tiene un uso menor de la mitad.

En las memorias RAM se puede observar el aumento del uso de estas ya que al ser equipos de mayor procesamiento van a tener una mayor cantidad de rutas y sanciones y etiquetas en la red MPLS, por lo que su rendimiento debe ser mayor con esta mayor cantidad de datos.

Como se mencionó en la parte de diseño del capítulo 2 sobre el manejo de los servicios móviles, el tráfico entrante y saliente de los equipos de core fue monitoreado en un rango de seis meses comprendidos entre los meses de enero a junio del 2024, el cual se muestra a continuación donde se tienen equipos GSC de modelo M6000 con sus puertos de bundle ethernet de 3 puertos ópticos de 10GE con un total de capacidad de ancho de banda de 30GE, cabe recalcar que el análisis fue de 24 semanas, pero solo se muestran 8 por el tamaño de los datos.

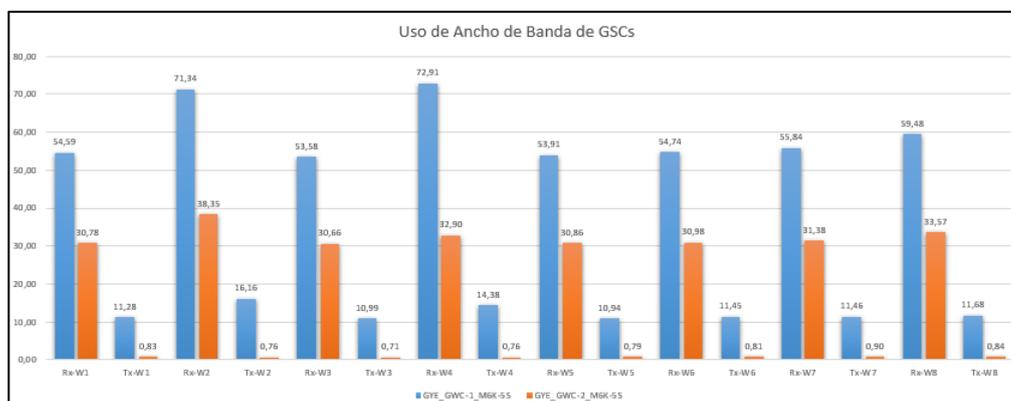
**Tabla 15 Monitoreo tráfico de TX y RX 1era-4ta semana.**

Node	Rx-W1	Tx-W1	Rx-W2	Tx-W2	Rx-W3	Tx-W3	Rx-W4	Tx-W4
GUAYAQUIL_1	16.375,82	3.382,52	21.402,89	4.849,49	16.075,24	3.296,57	21.873,73	4.313,68
GUAYAQUIL_2	9.234,53	248,68	11.504,31	226,70	9.198,07	213,57	9.869,54	228,75

**Tabla 16 Monitoreo tráfico de TX y RX 5ta-8va semana.**

Rx-W5	Tx-W5	Rx-W6	Tx-W6	Rx-W7	Tx-W7	Rx-W8	Tx-W8
16.174,41	3.282,37	16.420,60	3.435,29	16.753,22	3.439,09	17.843,94	3.504,72
9.258,72	237,07	9.293,45	243,35	9.413,58	269,36	10.069,63	250,58

Los valores de uso de las capacidades de cada TX y RX en valores porcentuales se muestran a continuación.



**Ilustración 70 Uso de ancho de banda durante 8 semanas en el Core.**

Se observa que los picos de estos tráficos tienen valores de 82.62%, 78.40% y 78.23% los cuales superan la mitad de la capacidad, esto significa que se están utilizando aproximadamente 24.6 gigabits por segundo de ese ancho de banda total. Al no aprovechar todo el ancho de banda disponible, se está desperdiciando parte de

la capacidad de la red. Esto puede ser especialmente problemático en entornos donde el espacio físico y la energía son limitados.

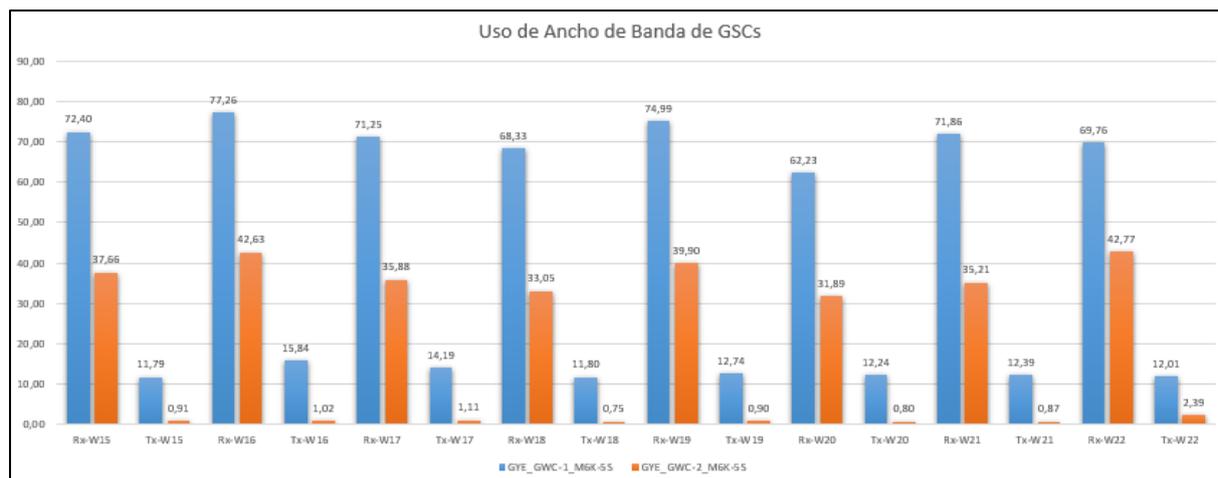
Luego de la migración se validó la misma información de los nuevos routers donde se obtuvo la siguiente información.

**Tabla 17 Monitoreo tráfico de TX y RX 15va-18va semana.**

Node	Rx-W15	Tx-W15	Rx-W16	Tx-W16	Rx-W17	Tx-W17	Rx-W18	Tx-W18
GUAYAQUIL_1	21.720,56	3.536,24	23.178,43	4.752,24	21.375,75	4.256,95	20.499,71	3.539,09
GUAYAQUIL_2	11.298,23	274,34	12.788,33	305,81	10.762,60	331,91	9.914,95	226,24

**Tabla 18 Monitoreo tráfico de TX y RX 19va-22va semana.**

Rx-W19	Tx-W19	Rx-W20	Tx-W20	Rx-W21	Tx-W21	Rx-W22	Tx-W22
22.497,36	3.821,52	18.669,77	3.671,20	21.557,46	3.717,65	20.927,96	3.603,59
11.969,95	268,55	9.565,68	239,86	10.563,90	260,07	12.831,34	718,05



**Ilustración 71 Uso de ancho de banda durante 8 semanas en el Core.**

Al comparar ambas gráficas de antes y después de la migración se observa un aumento en el tráfico de TX y RX debido a varios factores, el primero es debido al cambio de niveles de los clientes de datos fijos ya que en esta migración también se los cambió de capa dos a capa 3, con lo que el tráfico ya no solo se basa en MAC y ARP, sino en IPS con VRFs mediante BGP, entonces se tiene más tráfico que llevar hacia el core. A su vez, se observa que en los picos que habían en las primeras dos semanas que se había tomado antes de la red han desaparecido, ya que en la imagen del tráfico de la red migrada no se tienen picos si no que se observa un tráfico más distribuido.

El rendimiento de cada estación base se evaluó en términos de rendimiento máximo promedio por día y las pérdidas de paquetes en el rendimiento del tráfico. En general, con el cambio de configuración se monitoreo por dos semanas el mismo sitio de una RBS del lado de la RAN y se obtuvieron los siguientes resultados del antes y después de la migración.



**Ilustración 72 Tráfico RAN para tráfico de celda en UC\_1.**

En la ilustración se observa el tráfico de una celda de una RBS antes y después de la migración de la red, en donde después de la migración se observa que del lado del nodo del sector llamado “UNIVERSIDAD\_CATOLICA\_1” cercano a los clientes móviles se tiene una buena calidad de servicio con valores cercano al 100% lo cual indica una utilización eficiente de los recursos sin caídas en comparación con el 2024. Esto se comprueba al tener en la gráfica izquierda un rango en el eje de las “y” desde 95% hasta alrededor de 99%, pero en la gráfica derecha, que es después de la migración, se observa que el rango de las “y” esta desde un 98% hasta el 100%.

Se observa que antes de la migración se tiene una fluctuación significativa en el volumen de tráfico a lo largo del tiempo, con picos y valles pronunciados, las líneas irregulares sugieren que la red podría haber experimentado momentos de inestabilidad o fluctuaciones en la calidad de la señal. Y en cambio, después de la migración la curva es más suave y presenta menos fluctuaciones, lo que indica una mayor estabilidad en el tráfico y esta distribución del tráfico más uniforme del tráfico indica que los recursos de la red se están utilizando de manera más eficiente y una mayor capacidad de soportar picos de tráfico



**Ilustración 73 Tráfico RAN para tráfico de celda en SAUCES\_1.**

Este comportamiento se observa también en esta gráfica del nodo sauces 1, en donde anteriormente se tiene en el eje de las “y” un rango desde 80% hasta 96%, pero después de la migración se observa que este eje de las “y” está desde el 94% hasta un 100%. Esto indica que la migración ha sido exitosa en mejorar la calidad de servicio y la eficiencia de la red en la celda “SAUCES\_1”. Sin embargo, es importante continuar monitoreando y evaluando el rendimiento de la red para garantizar que los beneficios se mantengan a largo plazo.



**Ilustración 74 Tráfico RAN para tráfico de celda en DURAN\_1.**

Y, por último, también se tomó el tráfico de servicios móviles del nodo “DURAN\_1”, en donde de nuevo se volvió a observar el mismo comportamiento de los anteriores nodos, en donde en este caso se observó que antes de la migración se tenía un rango desde 57%. Hasta 90% y después de la migración se tuvo un rango desde 98% hasta 100%. Lo cual indica que los cambios implementados en esta migración que son cambio de hardware, cambio de configuración lógica y configuración de enlaces redundantes han permitido a la red manejar un mayor volumen de tráfico sin experimentar las caídas y fluctuaciones que se observaban anteriormente.

También al analizar estos 3 nodos. De Universidad Católica. Durán 1 y sauces 3 En el 2024 y en el 2025. Hoy que se tiene una distribución del tráfico más uniforme y se

tiene una reducción de los picos, lo cual indicó que los recursos de la red se están utilizando de una manera mucho más eficiente. Por lo que se ha tenido una mejor calidad de servicio para los usuarios, especialmente en estas épocas de alta demanda.

También los usuarios de estas celdas que se conectan a estas RBS cercanas debieron también haber experimentado una mejor calidad de servicio, con conexiones más estables y una velocidad de datos más consistentes para los servicios 3G y LTE, pero aun así es necesario monitorear el rendimiento del de estas celdas con el fin de estar atento a cualquier problema que pueda tener la red y anticiparse a futuros aumentos de tráfico que puedan afectar la eficiencia de los recursos.

# CAPITULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

Con respecto a la redundancia de enlaces, en nodos como Tarqui, la falta de redundancia generaba sobrecarga en ciertos enlaces con un uso de hasta el 40% en un solo enlace, dejando los otros sin uso por falta de configuración. Tras agregar un enlace redundante de 10GE, el tráfico se distribuyó equitativamente entre los tres enlaces del 20% por enlace con lo que se mejoró la resiliencia de la red. También debido a que se llevaron a cabo cortes de fibra controlados, estos demostraron que los mecanismos de conmutación de LDP y PEER BGP, respondieron eficientemente en los nodos teniendo continuidad del servicio y así se comprobó la capacidad de la red para manejar fallos sin interrupciones.

Con respecto a la selección de las mejores rutas, se observó que antes las rutas de los LSP usaban valores de autcost de 10 en IS-IS, eso causó una acumulación de tráfico en ciertos enlaces. Con la migración, se usaron métricas de 200 entre AN3-AN4, 20 entre AN4-AN4, y 10 entre AN4-AN5 lo que optimizó la elección de rutas y distribuyó el tráfico de manera uniforme hacia la capa de core (antes aprox. 50% y después aprox. 70%). Las nuevas métricas permitieron un aumento del 20% en el tráfico al distribuirlo de manera más eficiente debido al despliegue de nuevos sitios móviles.

Con respecto al cambio de hardware, se observó una reducción de alarmas de hardware ya que en el 2024 se tenían 28 alarmas por fallos de hardware frecuentes por fallos de voltajes en tarjetas de línea y fallas de FAN por aumentos de temperatura, en cambio en el 2025, las alarmas se redujeron drásticamente a solo 10 incidentes, con una disminución del 46.43% del número de alarmas gracias a los nuevos equipos y mejoras en la configuración, esto demostró una mayor resistencia de la infraestructura por menos alertas ante eventos externos.

Con respecto a la experiencia del usuario final, los KPI del 2024 en sectores como Durán, Universidad Católica y Sauces mostraban fluctuaciones pronunciadas en la calidad del servicio, con rangos de utilización de tráfico entre 57%-90%, esto reflejaba problemas de estabilidad y caídas frecuentes. Después de la migración, los rangos de utilización del tráfico de esas RBS se estabilizaron en niveles consistentes entre 98% y 100%. Esto indica una mejora sustancial en la calidad del servicio móvil, eliminando caídas y garantizando una experiencia uniforme.

Con respecto a aumento de capacidad de enlaces, antes en los anillos Guasmo y Guayaquil Sur, los valores de tráfico llegaban a 7881 Mbps y 9227 Mbps, respectivamente, muy cercanos al límite de 10GE de su conexión WAN, estos niveles causaron cuellos de botella que afectaban el rendimiento durante horas pico. Después de la migración, el uso del ancho de banda se redistribuyó mejor en los enlaces de ahora 100GE de mayor capacidad para este tráfico alto, sin embargo, no se observaron los cuellos de botella previos, lo que aseguró un servicio más estable y continuo para los usuarios.

Con respecto al uso de CPU y RAM, antes los equipos principales GSC1 y GSC2 tenían un promedio de uso de CPU moderado (11% y 11.6%), pero los picos alcanzaban hasta 47% y 69.6%, lo que indicaba problemas potenciales durante picos de demanda y la RAM se mantenía estable en torno al 60-62%, pero con poca reserva para crecimiento. Con la migración, los nuevos equipos distribuyeron mejor las cargas y aumentaron la capacidad de procesamiento con capacidades de 1-3 Tbit/s y mayor memoria RAM ha permitido manejar un mayor volumen de tráfico. En los equipos AN3, el uso de memoria física disminuyó al 10%, lo que muestra un mejor equilibrio en el procesamiento.

Con respecto a los costos, la inversión total, incluyendo personal, aumentó un 5.57%. Estas mejoras causaron mayor capacidad de conmutación, eficiencia energética y mejores interfaces de red justificaron este incremento de costos.

## 4.2 RECOMENDACIONES

Es imperativo que el despliegue de cualquier nueva red se adhiera rigurosamente a las mejores prácticas de diseño de redes. Esto garantizará un funcionamiento óptimo, escalabilidad y minimizará problemas futuros.

Se recomienda implementar un sistema de monitoreo continuo del uso de los puertos de red. Esta práctica proactiva permitirá identificar de manera temprana posibles cuellos de botella o congestión, asegurando así un rendimiento óptimo de la red.

Es fundamental proporcionar capacitación actualizada a los proveedores de servicios sobre las nuevas tecnologías implementadas. Esto garantizará un soporte técnico eficiente y minimizará tiempos de respuesta ante incidentes.

Se sugiere sobredimensionar la capacidad de memoria RAM para permitir una mayor flexibilidad en la migración (en vivo) de servicios y garantizar un rendimiento óptimo, incluso bajo condiciones de alta carga.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] OcreCrom, «OcreCrom,» 04 11 2024. [En línea]. Available: [http://www.ocrecom.com/solution\\_details/10.html](http://www.ocrecom.com/solution_details/10.html).
- [2] T. M. / B. C. Admin, «QUADRANG SYSTEMS,» 01 marzo 2024. [En línea]. Available: <https://www.quadrang.com/backbone-backhaul-fronthaul-midhaul/>. [Último acceso: 23 julio 2024].
- [3] J. A. Gutiérrez, «Politeknika Txorierrri,» 2024. [En línea]. Available: <https://moodle.txorierrri.net/moodle/mod/resource/view.php?id=12241>.
- [4] E. Huang, «BoneLinks,» 05 abril 2024. [En línea]. Available: <https://www.bonelinks.com/are-you-aware-of-everything-about-bearer-networks/>.
- [5] Universidad del Azuay, «Universidad del Azuay,» 05 2024. [En línea]. Available: [https://www.uazuay.edu.ec/sistemas/teleprocesos/capa\\_red](https://www.uazuay.edu.ec/sistemas/teleprocesos/capa_red).
- [6] Z. L. Lianshu Zheng, «SlidePlayer,» 01 11 2012. [En línea]. Available: <https://slideplayer.com/slide/13884902/>. [Último acceso: 24 10 2024].
- [7] E. Castro, «Dspace UPS,» 03 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10297/1/UPS-GT001192.pdf>.
- [8] Hewlett Packard Enterprise, 06 01 2024. [En línea]. Available: <https://arubanetworking.hpe.com/latam/faq/que-es-mpls/>.
- [9] U. N. d. Sur, «Universidad Nacional del Sur,» 2024. [En línea]. Available: [https://cs.uns.edu.ar/~ags/RC/downloads/Notes/M%C3%B3dulo%202004%20-%20La%20Capa%20de%20Red%20\(Pt.%204\).notes.pdf](https://cs.uns.edu.ar/~ags/RC/downloads/Notes/M%C3%B3dulo%202004%20-%20La%20Capa%20de%20Red%20(Pt.%204).notes.pdf).
- [10] K. S. B. Tuladhar, «Researchgate,» 09 07 2016. [En línea]. Available: [https://www.researchgate.net/figure/SDN-architecture-along-with-IP-RAN-backhaul\\_fig1\\_308019946](https://www.researchgate.net/figure/SDN-architecture-along-with-IP-RAN-backhaul_fig1_308019946).
- [11] cbarth Juniper, «Community Juniper,» 03 05 2019. [En línea]. Available: <https://community.juniper.net/blogs/3/2020/10/20/service-mapping-in-mpls-networks-lsp-rsvp-te-segment-routingsr>. [Último acceso: 27 01 2025].
- [12] franciscoandrade7, «CableCom,» 04 julio 2024. [En línea]. Available: <https://www.cablecom.com.ec/post/fibra-%C3%B3ptica-cinco-tendencias-tecnol%C3%B3gicas>. [Último acceso: 05 mayo 2020].

- [13] F. C. V. Luis Peñael Yanza, «UESS Revistas Científicas,» 06 marzo 2015. [En línea]. Available: <https://revistas.uees.edu.ec/index.php/IRR/article/view/21/19>. [Último acceso: 04 julio 2024].
- [14] V. Jordán, «Repositorio Digital BETA,» 01 noviembre 2010. [En línea]. Available: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/8867f067-6203-45a8-9249-e6cd24612d35/content>. [Último acceso: 04 julio 2024].
- [15] H. Rojas, «Dspace Universidad Politécnica Salesiana Ecuador,» 2011. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1084/14/UPS-CT002155.pdf>. [Último acceso: 07 julio 2024].
- [16] L. Zambrano, «Los apagones generan intermitencia en las operadoras de telefonía,» *Expreso*, p. 2, 16 abril 2024.