



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

**TÍTULO DE INGENIERO EN INFORMÁTICA**

**Propuesta de diseño de backhaul, incorporando características de QoS  
con servicios integrados y diferenciación de servicios para la red CNT-  
EP en la ciudad de Cuenca**

TRABAJO DE TITULACIÓN.

AUTOR: Segarra Guzmán, Edison Euclides.

DIRECTORA: Ludeña González, Patricia Jeanneth, Mgtr.

CENTRO UNIVERSITARIO CUENCA

2018



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NC-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

*Loja, octubre del 2018*

## **APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Magister.

Patricia Jeanneth Ludeña González.

### **DOCENTE DE LA TITULACIÓN**

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: Propuesta de diseño de backhaul, incorporando características de QoS con servicios integrados y diferenciación de servicios para la red CNT-EP en la ciudad de Cuenca, realizado por Segarra Guzmán Edison Euclides, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, mayo de 2018

f).....

## DECLARACIÓN DE AUDITORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Segarra Guzmán Edison Segarra declaro ser autor del presente trabajo de titulación: Propuesta de diseño de backhaul, incorporando características de QoS con servicios integrados y diferenciación de servicios para la red CNT-EP en la ciudad de Cuenca, de la Titulación de Ingeniero en Informática, siendo Mgtr. Patricia Jeanneth Ludeña González directora del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: "Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad"

f).....

Autor: Segarra Guzmán Edison Euclides

Cédula: 0104436803

## **DEDICATORIA**

A mi esposa Pamela compañera de aventuras y desventuras, a mis hijos Lenin y Camila, por su apoyo incondicional, por siempre estar allí en las buenas y malas, ser fuente de inspiración en los momentos más oscuros, a mis padres Estela y Euclides, mis hermanos Ronald y Gissela, por su amor y consejos, quienes me han impulsado a seguir adelante a pesar de las adversidades, de igual manera a mis tías Olga, Teresa, Victor y Carmen por su bondad, consejos y generosidad, a mis suegros por su paciencia y consejos, a esos seres que me han regalado parte de su corazón pero ya no están a mi lado.

A todas las personas que han estado junto a mí en este largo recorrido.

Va para ustedes mi esfuerzo.

Edison

## **AGRADECIMIENTO**

A la Magister Patricia Ludeña por su acertada dirección en el presente trabajo de titulación, quien supo brindar su ayuda y despejar las dudas presentadas.

A mi toda mi familia por su apoyo incondicional en todas las circunstancias y a lo largo de mi carrera universitaria.

Al equipo CNT de la provincia del Azuay e IP/MPLS, que han depositado en mi la confianza y han sido pilar fundamental para afianzar mis conocimientos, sobre todo los Ing. Javier Samaniego y Juan Garcia, quienes han despejado dudas a lo largo del presente trabajo.

De manera muy especial, a todas las personas que han formado parte de mi vida y que siempre han estado para apoyarme.

Edison

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA .....	I
APROBACIÓN DE LA DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	II
DECLARACIÓN DE AUDITORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
ÍNDICE DE TABLAS .....	XII
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
OBJETIVOS .....	6
General .....	6
Específicos .....	6
ALCANCE .....	7
ESTRUCTURA .....	8
CAPITULO I .....	9
MARCO TEÓRICO .....	9
1.1. Evolución de las telecomunicaciones .....	10
1.2. Arquitectura 3G y LTE .....	12
1.2.1. Red de Tercera generación .....	12
1.2.1.1. NodoB .....	12
1.2.1.2. RNC .....	12
1.2.1.3. UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) .....	12
1.2.1.4. Interconexión entre elementos de la red 3G .....	12
1.2.2. LTE .....	13

1.2.2.1. E-UTRAN (Evolved-UTRAN).....	13
1.2.2.2. eNodeB (Evolved NodeB).....	13
1.2.2.3. EPC (Evolved Packet Core). ....	14
1.2.2.4. Interconexión de los elementos en la red LTE.....	14
1.3. Sincronismo. ....	15
1.4. Móvil Backhaul o red de retorno. ....	16
1.5. Multi-Protocol Label Switching (MPLS).....	17
1.5.1. Cabecera MPLS.....	18
1.5.2. Elementos de una red MPLS. ....	19
1.5.2.1. LSR de Entrada.....	19
1.5.2.2. LSR de Salida. ....	19
1.5.2.3. LSR Intermedio. ....	19
1.5.3. Ruta de etiqueta conmutada (LSP). ....	20
1.5.4. Clase de Equivalencia de Reenvío (FEC). ....	20
1.5.5. Distribución de etiquetas.....	20
1.5.6. Concepto básico de ingeniería de tráfico. ....	22
1.5.7. Servicios con MPLS.....	23
1.5.7.1. L2VPN.....	23
1.5.7.2. L3VPN.....	25
1.6. Protocolos de enrutamiento.....	27
1.6.1. Protocolos de Estado de Enlace. ....	28
1.6.1.1. OSPF. ....	29
1.6.1.2. Sistema intermedio a Sistema Intermedio IS-IS.....	31
1.6.1.3. Comparación de protocolos IS-IS y OSPF.....	34
1.6.2. Protocolo de puerta de enlace de frontera (BGP).....	35
1.7. Calidad de servicio. ....	37
1.7.1. Servicios Diferenciados (DiffServ). ....	38
1.7.1.1. Reenvío Expedito (EF). ....	38

1.7.1.2. Reenvío Asegurado (AF).....	39
1.7.2. Servicios Integrados (IntServ).....	39
CAPITULO II.....	40
METODOLOGÍA.....	40
2.1. Metodología de Investigación.....	41
2.2. Situación actual.....	41
2.3. Metodología de Diseño.....	49
2.3.1. Preparación.....	49
2.3.2. Planeación.....	49
2.3.3. Diseño.....	50
2.4. Diseño de la topología de la red.....	51
2.4.1. Enfoque de Arriba hacia abajo.....	51
2.4.2. Enfoque de abajo hacia arriba.....	52
2.5. Simulación.....	52
2.5.1. Simulador CISCO Packet Tracer.....	52
2.5.2. Simulador GNS3.....	53
2.5.3. Selección del simulador.....	54
2.5.4. Simulación de calidad de servicio.....	55
CAPITULO III.....	57
DISEÑO DE LA PROPUESTA.....	57
3.1. Introducción.....	58
3.2. Diseño de alto nivel.....	58
3.2.1. Capa 3.....	58
3.2.2. Capa 2 y Capa 1.....	59
3.3. SEAMLESS MPLS.....	59
3.3.1. Núcleo de la red.....	60
3.3.2. Distribución de la red.....	60
3.3.3. Acceso de la red.....	60

3.3.4. Adaptación del modelo de tres capas de CISCO. ....	61
3.3.4.1. Enrutador de Celda o Cell Site Gateway (CSG). ....	62
3.3.4.2. Enrutador de Agregación o Agragation Site Gateway (ASG). ....	62
3.3.4.3. Enrutador de Borde. ....	62
3.3.5. Regiones en Seamless MPLS. ....	62
3.3.5.1. Conectividad Intra Región. ....	63
3.3.5.2. Conectividad Inter Región. ....	63
3.3.6. Sincronismo. ....	64
3.3.7. Calidad de servicio. ....	65
3.3.8. Topología. ....	66
3.4. Diseño de bajo nivel. ....	66
3.4.1. Direccionamiento IP. ....	66
3.4.1.1. Direccionamiento de MBH. ....	67
3.4.2. Enrutamiento. ....	68
3.4.2.1. IS-IS. ....	68
3.4.2.2. BGP. ....	69
3.4.3. MPLS L3VPN. ....	69
3.5. Simulación y validaciones de diseño de red. ....	73
3.6. Simulación y validaciones QoS. ....	75
CAPITULO IV. ....	79
ANÁLISIS FINANCIERO. ....	79
4.1. Introducción. ....	80
4.2. Análisis entre marcas utilizadas por la empresa. ....	80
4.3. Equipos para la implementación. ....	81
4.4. Costos referenciales para la implementación del MBH. ....	82
4.4.1. Costo equipos para el acceso (CSG). ....	83
4.4.2. Costo equipos para la agregación (AGG). ....	83
4.4.3. Costo equipos para el borde. ....	83

4.4.4. Costo de instalación.....	84
4.5. Justificación económica del proyecto. ....	85
4.5.1. Ingresos telefonía móvil. ....	85
4.5.2. Análisis TIR VAN y flujo de caja. ....	86
CONCLUSIONES .....	89
RECOMENDACIONES .....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS.....	93
ANEXO 1. Direccionamiento total.....	94
ANEXO 2. Script de configuración equipo de BORDE.....	95
ANEXO 3. Script de configuración equipo Agregador.....	96
ANEXO 4. Script de configuración equipo CSG. ....	97
ANEXO 5. Planes de telefonía móvil de CNT EP .....	100
ANEXO 6. Elementos a ser considerados en la implementación de la red .....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de líneas por tecnología en Ecuador .....	11
Figura 2: Arquitectura 3G.....	13
Figura 3: Arquitectura LTE .....	14
Figura 4: Red de retorno Móvil.....	16
Figura 5: MPLS.....	18
Figura 6: Cabecera MPLS .....	18
Figura 7: Elementos y funciones de la red MPLS.....	20
Figura 8: LDP en red IP/MPLS.....	21
Figura 9:Alta disponibilidad MPLS TE .....	23
Figura 10:L2VPN Punto a Punto.....	24
Figura 11: L2VPN Multipunto VPLS .....	25
Figura 12: L3VPN VRF .....	26

Figura 13: RD VRF MPLS.....	27
Figura 14: Protocolos de enrutamiento dinámico .....	28
Figura 15: Áreas de conexión en dominio OSPF .....	30
Figura 16: Instalación de rutas con menor costo.....	31
Figura 17: Áreas de conexión en dominio IS-IS .....	33
Figura 18: Arquitectura BGP .....	36
Figura 19: Comparación entre BGP con <i>Route Reflector</i> y Sin <i>Route Reflector</i> .....	37
Figura 20: Diagrama básico de una red MPLS.....	43
Figura 21: Cantidad de rutas actuales en la red.....	43
Figura 22: Diseño actual para la red móvil Cuenca.....	46
Figura 23: Retardo de paquetes .....	47
Figura 24: Variación de paquetes en la red.....	48
Figura 25: Pérdida de paquetes.....	49
Figura 26: Ciclo de vida de red CISCO PPDIOO .....	50
Figura 27: Proceso de diseño .....	51
Figura 28: Espacio de trabajo de Cisco packet tracer .....	53
Figura 29: Espacio de trabajo GNS3.....	55
Figura 30: Espacio de trabajo de riverbed.....	56
Figura 31: Modelo tradicional de 3 capas de CISCO.....	60
Figura 32: Modelo 3 capas CISCO y su equivalencia en el MBH.....	62
Figura 33: Protocolos a utilizar.....	64
Figura 34: Diseño sincronismo MBH.....	65
Figura 35: Determinación de Direccionamiento IP .....	67
Figura 36: Diseño L3VPN .....	70
Figura 37: Diseño Propuesto .....	72
Figura 38: Escenario de pruebas .....	73
Figura 39: Rutas aprendidas.....	74
Figura 40: Asignación de etiquetas MPLS .....	74

Figura 41: Topología para simulación de QoS .....	75
Figura 42: Configuración de aplicaciones en riverbed.....	76
Figura 43: Resultado de simulación del throughput entre CSG-CORE .....	76
Figura 44: Resultado de la simulación parámetro Jitter.....	77
Figura 45: Resultado de la simulación parámetro variación de retardo de paquetes...	77
Figura 46: Equipos según el rol para el MBH .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Requerimiento de Sincronismo .....	15
Tabla 2: Requerimientos para diseño de Mobile Backhaul.....	16
Tabla 3: Cálculo de costo OSFP.....	30
Tabla 4: Formato de dirección NSAP .....	33
Tabla 5: Determinar el System ID para dirección NSAP a partir de IP .....	34
Tabla 6: Comparación de Protocolos de estado de enlace .....	34
Tabla 7: Nodos red 3G y 4G/LTECNT .....	42
Tabla 8: Características básicas para implementar el backhaul.....	54
Tabla 9: QoS Clases de servicio LTE 3GPP .....	65
Tabla 10: QoS para MBH.....	66
Tabla 11: Complemento de IP por rol de equipo .....	67
Tabla 12: Direccionamiento de equipos loopback100 .....	67
Tabla 13: Planeación de VRF 3G.....	69
Tabla 14: Diseño L3VPN para LTE .....	70
Tabla 15: Rúbrica para selección de proveedor .....	81
Tabla 16: Costo equipos de acceso ASR901 y accesorios .....	83
Tabla 17: Costo equipos de acceso ASR903 y accesorios .....	83
Tabla 18: Costo equipos de acceso ASR9006 y accesorios .....	84
Tabla 19: Costos instalación de equipos en distintos nodos .....	84
Tabla 20: Total Clientes CNT EP .....	85

Tabla 21: Ingreso promedio CNT EP .....	85
Tabla 22: Flujo de caja, TIR y VAN .....	87
Tabla 23: Resumen análisis financiero .....	88
Tabla 24: Dimensionamiento IP total .....	94
Tabla 25: Plan Empresas Públicas .....	100
Tabla 26: Plan Móvil empresas privadas.....	101
Tabla 27: Elementos para equipo de acceso .....	101
Tabla 28: Elementos para equipo de agregación .....	101
Tabla 29: Elementos para equipo de borde .....	102

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación presenta a detalle el diseño de un backhaul para la red móvil para la CNT EP en la ciudad de Cuenca, mediante MultiProtocol Label Switching, con una alta disponibilidad y resiliencia, capaz de cubrir los requerimientos necesarios para brindar servicios de telecomunicaciones

Los diseños y configuraciones realizadas en el presente trabajo han sido desarrollados bajo las mejores recomendaciones y prácticas de los fabricantes, así como la consulta a expertos, dejando proyectada la red para cualquier migración tecnológica de tal forma que no implique mayores costos.

Finalmente, se verificó que el proyecto sea económicamente viable a través de un análisis financiero tomando en cuenta indicadores de rentabilidad como VAN y TIR.

**PALABRAS CLAVE:** MPLS, IPRAN, MBH, Red de retorno móvil.

## **ABSTRACT**

This work of presents the backhaul design for the CNT EP mobile network in Cuenca city, using MPLS, with resilience and high availability. It is able to cover the necessary requirements to offer services of telecommunications.

The designs and configurations made in the present work have been developed with based on the recommendations and practices of the manufacturers, as well as the experts criteria, leaving the network ready for any expansion without higher cost.

Finally, the project was economically evaluated and its viability through a financial analysis considering profitability indicators such as NPV and IRR.

**KEYWORDS:** MPLS, IPRAN, MBH, mobile backhaul.

## INTRODUCCIÓN

Desde un inicio la humanidad ha buscado comunicarse, todas las etapas por la que se ha pasado han permitido ir perfeccionando los métodos y sus técnicas y gracias a la tecnología, no existe fronteras y las distancias se han acortado para mantenernos comunicados.

La evolución de las telecomunicaciones ha ido progresando, en un inicio solo se podía establecer una comunicación de forma alámbrica, mediante un par de cobre que unía dos puntos, pasando por muchos avances en la actualidad podemos transmitir voz y hasta video mediante un dispositivo sin importar distancias e incluso podemos estar en movimiento, es más, en tiempo real se pueden realizar transacciones bancarias, comprar en línea, entre otras tareas de importancia.

Ante esta necesidad, en Ecuador desde hace varios años las redes celulares han ido actualizándose y mejorando tanto en cobertura como en servicios. En Cuenca específicamente la empresa CNT EP migró su infraestructura a LTE. Sin embargo, esta migración se hizo con la base de la tecnología previa y por ello no ha conseguido una implementación plena, presentando problemas de gestión y rendimiento.

Para la telefonía móvil en particular, según Half (Half & Communication, 2013) en un inicio fue diseñada solo para permitir tráfico de voz, no requería de mucha capacidad en la transmisión, era análoga, la misma que fue llamada la primera Generación.

Con las exigencias de los usuarios aparecen nuevas formas de comunicación; se adhiere a la típica transmisión de voz, más capacidad y funciones adicionales como el envío/recepción de mensajes cortos (SMS), denominándola como segunda generación, en la cual se utiliza la misma interfaz aire, pero con distinta modulación que la primera generación.

Debido a la masificación de los servicios se incluye seguridades en las comunicaciones, para mantener privacidad entre el emisor y el receptor. A partir de la tercera generación se marca un hito fundamental en las comunicaciones móviles, al momento de integrar los datos con la voz de manera convergente por la misma red inalámbrica, proporcionando una mayor velocidad en la transmisión.

Se introduce el concepto de calidad de servicio y servicios diferenciados debido a la susceptibilidad de retardo en las aplicaciones.

En la actualidad se habla de 4G/LTE y 5G, que son puramente IP, se basa en conmutación de paquetes, no dependen de una controladora centralizada, sino tienen incluidas dentro de sus nodos para una mayor eficiencia en realizar el paso de un nodo a otro, con esto poder alcanzar velocidades mucho mayores tanto para descarga como de subida de información, permite realizar actividades en línea como juegos o video llamadas.

La situación actual de la red de CNT EP en la Ciudad de Cuenca para la telefonía móvil, está vinculada directamente con la red de los servicios de la red fija, que involucra la utilización de los equipos para el transporte de servicios, compartición de capacidades de transmisión llamado también ancho de banda lo que implica que si existe saturación en un enlace se verán afectados los usuarios de la red fija y móvil.

Debido a la gran cantidad de información que manejan los equipos actualmente, por el tamaño de la red, hace imposible que se puedan adoptar nuevas tendencias en manejo de tecnologías que mejoran el transporte de extremo a extremo debido al costo de implementación en todos los niveles de equipos robustos.

Por lo expuesto anteriormente, se ha realizado el levantamiento de la infraestructura de CNT EP en la ciudad de Cuenca, pudiendo observar de cerca las desventajas del modelo actual, para con esto tener una línea base que sirvió como punto de partida para el diseño de la red futura. En donde consta la separación de la red para los servicios móviles, independizando totalmente el backhaul hasta entregar los paquetes al destino, de esta forma mejorar los servicios y tener una red flexible para cualquier cambio de tecnología.

El diseño realizado fue validado en un ambiente controlado, de donde se ha podido extraer *scripts*, de este modo se utilizarán como plantillas para las configuraciones en los equipos a implementar según el rol que desempeñe en la red, cambiando solamente el direccionamiento IP asignado en el diseño de bajo nivel.

Se elaboró un presupuesto referencial para la implementación total del proyecto, en donde se analizó la viabilidad económica del mismo, encontrando como novedad que el retorno de inversión se lo realizará en un año a partir de la contratación, esto debido a la cantidad de clientes que maneja la empresa.

El presente trabajo tiene por objetivo realizar un diseño de red para el transporte desde el acceso hasta el núcleo de la red, conocido en la industria de las telecomunicaciones como backhaul solamente para la red móvil, adhiriendo características de calidad de servicio en todas las capas para mejorar la experiencia del usuario y a su vez tener un

crecimiento en infraestructura móvil que soporte los nuevos usuarios y sus exigencias, sin incrementar costos de manera considerable en la red.

El trabajo se encuentra estructurado por capítulos, en donde se especifica el marco teórico donde se encuentran los conceptos que van a ser utilizados para el diseño, la metodología a ser utilizada a lo largo del desarrollo del trabajo, el diseño de la propuesta que especifica el nuevo modelo de la red y sus funciones el análisis financiero que indica la viabilidad del proyecto haciendo un estudio de los ingresos y egresos que representará la implementación del proyecto, consta también de las conclusiones y recomendaciones para la implementación del proyecto.

## OBJETIVOS

### General

Diseñar un backhaul, incorporando características de QoS con diferenciación de servicios, para la red CNT EP en la ciudad de Cuenca.

### Específicos

- Levantar línea base (servicios prestados, infraestructura actual, ventajas/desventajas actuales, requerimientos).
- Analizar características de QoS para múltiples servicios.
- Determinar los requerimientos de diseño para mejorar el servicio de Telefonía móvil
- Integrar soluciones para el diseño del *backhaul*.
- Elaborar presupuesto y documentación.

## **ALCANCE**

Para la elaboración de la propuesta de diseño, es necesario definir el alcance que tendrá el proyecto, de manera que pueda adaptarse a la red actual y requerimientos futuros debido al constante cambio tecnológico, cumpliendo la vida útil de 10 años, cumpliendo estándares y normativas internacionales y adoptadas por la CNT EP, en cuanto al diseño y configuraciones se refiere. La red se desarrollará solamente para el Cantón Cuenca, para integrar los equipos desplegados para la red móvil de cuarta generación, que tienen integrados redes de tercera generación para la comunicación de voz, para llevar el tráfico hasta los equipos de núcleo de la red móvil.

Para la elaboración de la propuesta de diseño, es necesario definir el alcance que tendrá el proyecto, a partir del levantamiento inicial de la red que actualmente tiene implementada la CNT EP.

El área de despliegue del proyecto será la ciudad de Cuenca, en donde CNT EP tiene desplegada sus redes de tercera y cuarta generación, esta nueva red permitirá transportar el tráfico desde las estaciones móviles hasta los equipos de núcleos.

La nueva red estará diseñada con las mejores recomendaciones de expertos, estándares y normativas internacionales que se puedan integrar de la mejor manera a las redes de CNT EP.

Se propondrá un esquema de direccionamiento jerárquico, para identificar de forma correcta a cada equipo según el rol que desempeñe, así como el enrutamiento y protocolos para el funcionamiento, de esto se obtendrá una plantilla de configuración para la red de acceso, distribución y núcleo, que para el momento de la implementación solo será necesario cambiar las direcciones IP asignadas a cada equipo y sus interfaces.

Para mejorar los indicadores actuales de la red, se propone un esquema de marcado y etiquetado de paquetes, que permita garantizar recursos de extremo a extremo en la red móvil, lo cual será validado mediante simulación.

Se propondrá equipos que según las características diseñadas puedan soportar el tráfico de la red de manera adecuada.

Es necesario antes de la implementación verificar todos los elementos en un ambiente controlado, razón por lo cual se ha realizado las simulaciones y validaciones, antes de poner en producción la solución.

## ESTRUCTURA

En la propuesta de diseño de backhaul, incorporando características de QoS con servicios integrados y diferenciación de servicios para la red CNT-EP en la ciudad de Cuenca, se presenta la siguiente estructura que llevará a una mejor comprensión del trabajo de titulación:

**Capítulo 1.** Establece las bases teóricas y los fundamentos conceptuales que serán utilizados a lo largo de este trabajo.

**Capítulo 2.** Analiza la metodología a utilizar, en donde se establece el análisis de la red existente, el tipo de diseño a utilizar y como se realizarán pruebas para validar la solución planteada.

**Capítulo 3.** Detalla el diseño de la red, adoptando estándares y proyectando la red a futuro.

**Capítulo 4.** Analiza la parte financiera para la implementación del proyecto. Se determinan costos de inversión y se presentan recomendaciones acordes a los resultados.

**CAPITULO I.**  
**MARCO TEÓRICO**

El presente capítulo describe la fundamentación teórica para desarrollar la propuesta que mitigará los problemas encontrados en el levantamiento de la red explicados en el capítulo dos.

### **1.1. Evolución de las telecomunicaciones.**

En un inicio las telecomunicaciones Según Half(Half & Communication, 2013) fueron diseñadas sólo para permitir tráfico de voz, al igual que el de las redes tradicionales fijas de una manera analógica, además que requería de mucha capacidad en la transmisión. Esta es la llamada la Primera Generación.

Con las exigencias de los usuarios aparecen nuevas formas de comunicación; se adhiere a la típica transmisión de voz más capacidad y se da por primera vez una comunicación digital en la red móvil, con la cual es posible transmitir datos y funciones adicionales como el envío/recepción de mensajes cortos (SMS) y así llega lo que se conoce como segunda generación, utilizando la misma interfaz aire, pero con una modulación distinta a la de la primera generación. Las velocidades para navegar eran muy bajas y pasaban por circuitos conmutados, los costos eran elevados. En el 2001 se empiezan a desarrollar mejoras para esta red y empieza la evolución en la cual aparece GPRS (*General Packet Radio Service*) y EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*) que ya actúa como vínculo entre las tecnologías de segunda y tercera generación, tiene como principal característica el incremento de la velocidad de transmisión de datos.

Debido a la masificación de los servicios se incluye seguridades en las comunicaciones, para mantener privacidad entre el emisor y el receptor. A partir de la tercera generación se marca un hito fundamental en las comunicaciones móviles, al momento de integrar los datos con la voz de manera convergente por la misma red inalámbrica, proporciona una mayor velocidad en la transmisión, se habla de calidad de servicio y servicios diferenciados debido a la susceptibilidad de retardo en los servicios. 3G se caracteriza por la evolución de la red de conmutación de circuitos a una basada en IP bajo el estándar 3GPP, pero con herencia aún de lo que fue las llamadas de tradicionales de voz, con velocidades en UMTS que podían alcanzar fácilmente los 384kbps. Dentro de la evolución del 3G llegamos a un 1.5G con la inserción de HSPA y HSPA+, que tienen entre sus características principales según lo indica Johanson y (Johansson, Bergman, & Gerstenberger, 2009):

- Transferencia de datos a velocidades altas
- Latencia baja

- Incluye ya un soporte para VoIP

En la actualidad se habla de 4G/LTE y 5G, que son puramente IP, se basan en conmutación de paquetes, no dependen de una controladora centralizada, sino tienen incluidas dentro de sus nodos la parte de control que asigna recursos como por ejemplo frecuencia y vecindades, esta última para una mayor eficiencia en realizar el paso de un nodo a otro, con esto poder alcanzar velocidades mucho mayores tanto para descarga como de subida de información, permite realizar actividades en línea como juegos o video llamadas.

La necesidad de comunicarnos, sus nuevas formas y el desarrollo de dispositivos que tienen la capacidad de soportar servicios como videollamadas, transacciones en línea, etc., ha permitido el desarrollo de estándares como el de cuarta generación y en la actualidad está ya en despliegue la quinta generación de redes móviles, pero en el caso de Ecuador, se ha venido desplegando recién redes LTE, aún ninguna operadora ha anunciado oficialmente el lanzamiento de 5G.

Uno de los cambios trascendentales del 4G/LTE es que los dispositivos en la capa física utilizan canales compartidos para los dispositivos, mientras que, en la transmisión de datos, tanto en 4G/LTE como en 3G utilizan los planos Usuario y Control.

De manera particular como se puede observar en la Figura 1, en el Ecuador al igual que en todo el mundo, la tendencia de las comunicaciones va evolucionando hacia una red móvil, de cuarta generación y sus predecesoras van perdiendo notablemente su uso, la información mostrada es proporcionada por todos los operadores móviles del país a la agencia reguladora de telecomunicaciones.

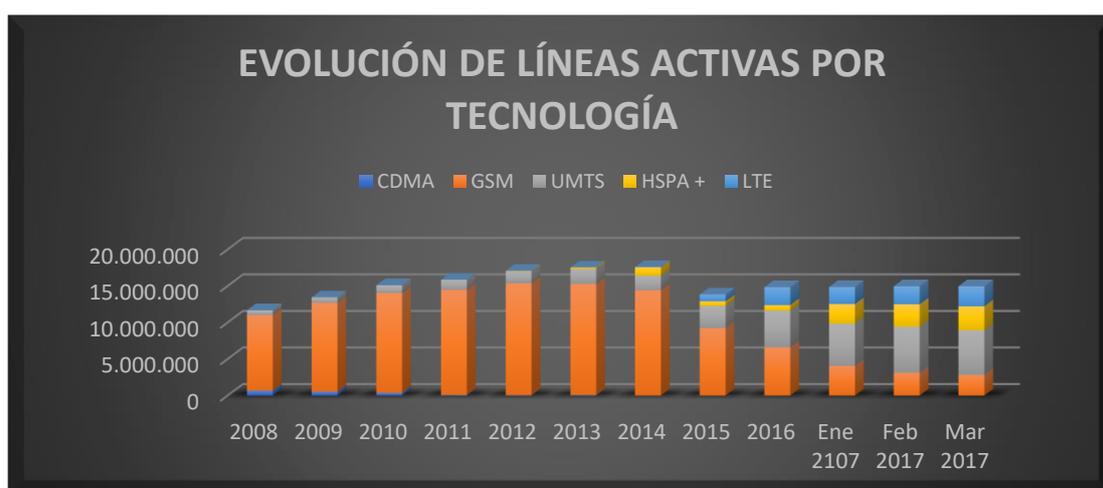


Figura 1: Evolución de líneas por tecnología en Ecuador

Fuente: ARCOTEL recuperado el 14 de enero de 2018

Elaborado por: ARCOTEL

## **1.2. Arquitectura 3G y LTE.**

En las redes de tercera y cuarta generación, tiene arquitecturas bien definidas y distintas una de otra, que son definidas por 3GPP que agrupa a varias organizaciones de desarrollo de estándares de telecomunicaciones, lo único que podría compartir es la red de sincronismo.

### **1.2.1. Red de Tercera generación.**

Para el transporte de tráfico móvil esta tecnología tiene en el acceso un equipo denominado *nodeB*, a través del transporte llega hasta la RNC que brinda los recursos a estos equipos, tales como frecuencias, vecindades, etc.

#### **1.2.1.1. *NodeB*.**

El *NodeB* o *nodeB* en inglés, es el equipo que está ubicado entre el acceso de la red IP y el cliente, al que se conectan las antenas que irradian en la frecuencia asignada una señal que permite conectarse al usuario mediante un dispositivo móvil a la red.

#### **1.2.1.2. RNC.**

La RNC *radio network controller* por sus siglas en inglés, es quien brinda recursos a los *nodesB*, ya que por sí solos son nada más que “elementos físicos”, puede a su vez controlar varios *nodeB*, esta a su vez se interconecta al núcleo de la red móvil para que los usuarios puedan obtener acceso a la telefonía e internet.

#### **1.2.1.3. UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*).**

Es la que se encuentra formada por la RNC y varios *nodeB*, para el control y asignación de recursos. De la misma manera se encarga de llevar los paquetes desde el núcleo de la red hasta el terminal del cliente

#### **1.2.1.4. *Interconexión entre elementos de la red 3G*.**

Para poder brindar los recursos de la RNC al *nodeB* es necesario utilizar la interfaz denominada *IuB*, por la misma pasa todo el tráfico concerniente a los usuarios de la red 3G, no existe comunicación directa entre *nodeB*, todo pasa a través de su controlador, de la misma manera cuenta con una interfaz para gestionar cada elemento, que generalmente se la conoce como interfaz de OAM (*operation and maintenance*)

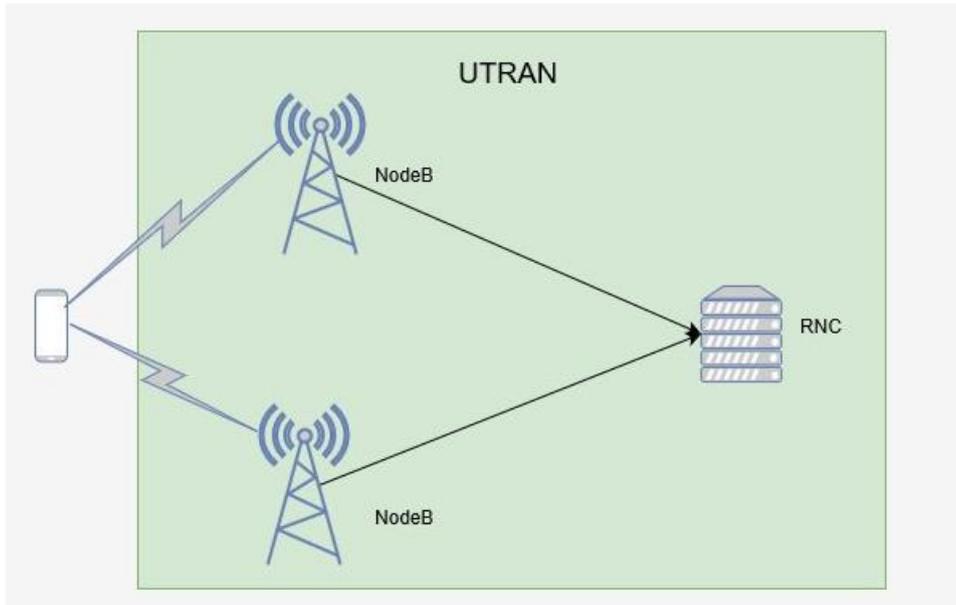


Figura 2: Arquitectura 3G

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

### 1.2.2. LTE.

En la red LTE, los recursos requeridos son mucho más amplios que en las redes anteriores, para poder alcanzar las velocidades descritas en los estándares 4G. Al contrario de las tecnologías predecesoras 4G/LTE fue diseñada para dar soporte a comunicaciones solamente IP mediante conmutación de paquetes desde el acceso mediante radio frecuencia hasta el EPC.

#### 1.2.2.1. E-UTRAN (Evolved-UTRAN).

En las redes de tercera generación la UTRAN es la red entre la RNC y los nodoB a quien controla, en el caso de las redes LTE, la E-UTRAN es la red formada entre los eNodeB y la conexión hacia el EPC.

#### 1.2.2.2. eNodeB (Evolved NodeB).

El *nodeB* mejorado, no necesita de una controladora como en el caso de 3G que necesita para operar de una controladora, este mismo puede crear vecindades a través de la e-UTRAN, definir sus recursos como frecuencias. Da acceso al terminal del usuario (UE) hacia el EPC, mediante acceso inalámbrico a la red IP que transporta todo el tráfico, haciendo de puente hacia el núcleo de la red, siendo el responsable de las funcionalidades del plano de control, cifrado de datos compresión de paquetes IP. No necesita una controladora que brinde recursos de cómo frecuencia, ya que trabaja

independiente y por si sólo el eNodeB asigna esos recursos en base a las configuraciones realizadas y las vecindades indicadas, monitoreando de forma permanente el uso de recursos que asigna.

### 1.2.2.3. EPC (Evolved Packet Core).

Es el núcleo de una red de cuarta generación. Brinda recursos ya al usuario como tal, transporta los paquetes provenientes desde la e-utran, hacia cada servicio requerido, mediante la red IP.

El EPC se encuentra compuesto principalmente de:

- MME
- S-GW
- P-GW

### 1.2.2.4. Interconexión de los elementos en la red LTE.

Las conexiones que se derivan entre los elementos descritos en las secciones anteriores:

- X2: Mediante esta interfaz se comunica un *enodeB* con otro, para formar vecindades, en caso de requerir un usuario pasar de un nodo a otro en lo que se denomina *handover*.
- S1: Esta interfaz comunica al e-UTRAN con el EPC
  - o S1-U: Para el tráfico de usuario o plano de usuario.
  - o S1-MME: para el plano de control.

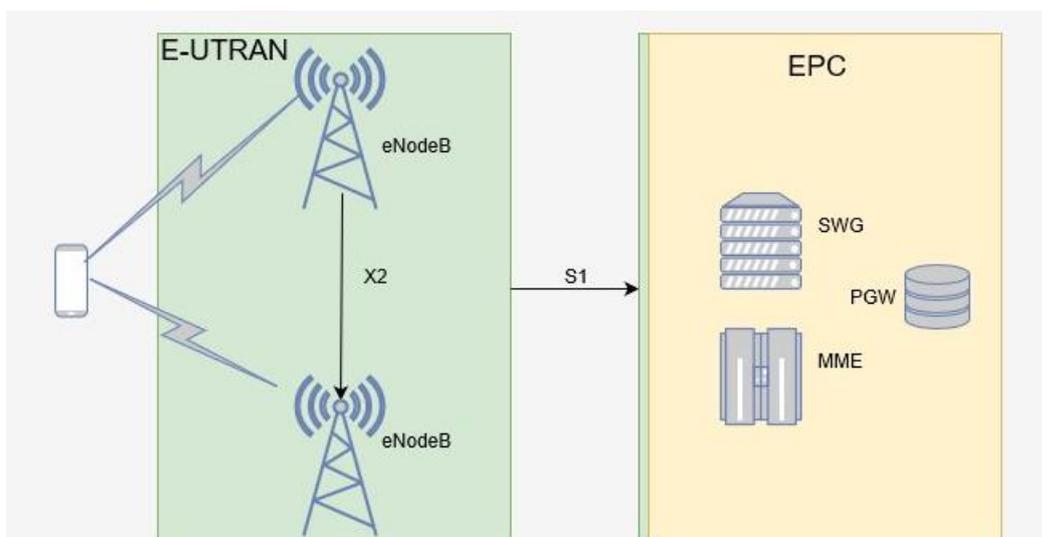


Figura 3: Arquitectura LTE

Fuente: CNT EP

Elaborado por: Autor

### 1.3. Sincronismo.

En las redes de tercera y cuarta generación, existe un problema a nivel de sincronismo que no existía en las redes compuestas por E1, que por defecto llevaba dentro de una ranura de tiempo los bits necesarios para sincronizar los nodos con sus controladoras, mientras que en las que son IP es necesario tener reloj externo y transportar esto para todos los elementos que forman la red

Es muy importante contar con una red de sincronismo para todos los nodos, permite soportar el *handover*, calidad de voz, reducción de interferencias, una pérdida de sincronismo representaría un problema para la experiencia del usuario. Una solución sería implementar GPS en cada nodo, lo que no resultaría óptimo por los costos que implicaría. La solución más rentable es tener una red de sincronismo centralizada desde el núcleo de la red hacia cada nodo a través de la misma infraestructura de red desplegada para los servicios.

Existen dos tipos de sincronismo:

- Basadas en FDD, requieren únicamente sincronización de frecuencia
- Basadas en TDD, requieren sincronización de frecuencia y fase

Tabla 1: Requerimiento de Sincronismo

SISTEMA	FRECUENCIA
3G UMTS	$\pm 50$ ppb
LTE-FDD	$\pm 50$ ppb

Fuente: 3GPP

Elaborado por: Autor

Para el presente trabajo se utilizará la basada en FDD, la red actual de CNT EP está compuesta por LTE basado en FDD y en 3G también solamente la basada en frecuencia, desde un reloj maestro, la distribución de este se basará en el estándar IEEE 1588 v2, que es un protocolo de precisión de tiempo basado en paquetes desde un reloj maestro a todos sus clientes, utilizado sobre todo en aplicaciones que requieren un sincronismo de gran precisión.

Debido a que es un protocolo que se puede ajustar a cualquier tipo de red y con mayor versatilidad para adaptarse en la implementación de nuevos nodos, la red actual está compuesta por LTE basado en FDD.

#### 1.4. Móvil Backhaul o red de retorno.

Considerada como la red que une los equipos de acceso en este caso inalámbrico hasta el núcleo, pasando por una compleja estructura de equipos de red en su mayoría enrutadores, que tienen un mismo dominio o área de enrutamiento, está ubicada en la misma área geográfica con una administración común.

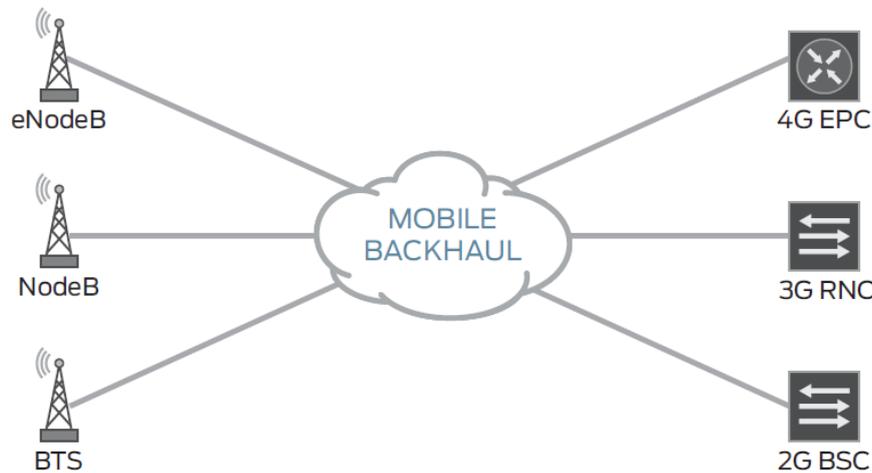


Figura 4: Red de retorno Móvil  
Fuente: Juniper MBH  
Elaborado por: Juniper

Dependiendo de la complejidad de la red puede tener muchos dispositivos intermedios, se puede dotar de redundancia para lograr una mayor disponibilidad de la red, puede acarrear tráfico de las distintas tecnologías por ejemplo 2G y LTE en una misma infraestructura, de tal manera que no se tenga redes paralelas por cada equipamiento de red, lo que da como resultado una eficiencia tanto en rendimiento, como costes para el operador.

Como se indicó en la sección 1.2 del presente capítulo, la red 3G y LTE tienen distintos elementos que necesitan ser interconectados, lo que propone un reto para el operador.

En la Tabla 2 se encuentran los valores que la CNT EP requiere para su red móvil, en cuanto a la capacidad de transporte y el tiempo de convergencia en caso de fallas.

Tabla 2: Requerimientos para diseño de Mobile Backhaul

GENERACION	INTERFAZ	CAPACIDAD REQUERIDA	TIEMPO DE RESTAURACION
3G	Iub	10 Mbps	100 ms

4G/LTE	S1-U	150 Mbps	200 ms
	S1-MME	10 Mbps	200 ms
	X2-C	10 Mbps	200 ms
	X2-U	10 Mbps	200 ms

Fuente: CNT EP  
Elaborado por: Autor

### 1.5. Multi-Protocol Label Switching (MPLS).

Las redes IP tradicionales, lo especificado en la RFC 3031 (E. Rosen, A. Viswanathan, & R. Callon, 2001) en el proceso de entrega de paquetes empezando desde la capa física hacia arriba empezaban a decodificar el mensaje, luego analiza su dirección física para poder vincular a una Tabla que contenga los puertos de salida, pero si se encuentra en otra red extrae la cabecera IP, que muchas veces tiene más información de la que se necesita para escoger el mejor camino, esto lo hace por cada salto que tome el paquete, en aplicaciones críticas como por ejemplo servicios multimedia, lo convierte en una experiencia mala para el cliente. La verificación de la Tabla de enrutamiento es realizada de manera independiente en cada salto que el paquete realice, por lo que se necesita una visión completa de la topología.

Las redes heredadas de servicios TDM que aún no se han migrado a IP, también pueden traer cierta complejidad, ya que no es rentable operar con infraestructuras en paralelo, esto implica aumentar el número de equipos que al final representa un elevado coste en la operación y mantenimiento.

Frente a lo indicado en el párrafo anterior se ha diseñado la conmutación de etiquetas con soporte multiprotocolo, MPLS por sus siglas en inglés que se encuentra detallada en la RFC 3031, opera entre la capa de enlace de datos y la capa de red, introduciendo una subcapa llamada muchas veces la capa 2.5, adiciona a la trama una etiqueta, con esto ya no es necesario que el siguiente equipo analice todo el paquete, sino más bien asocie su Forwarding Equivalence Classes (FECs) a un número de etiqueta y así avance por la red, no trabaja directamente con el protocolo IP, por lo que esta técnica se puede realizar a cualquier protocolo, resolviendo el problema de las redes heredadas.

Combina la inteligencia de capa 3 con la rapidez de Conmutación de capa 2, ya no es necesario correr un algoritmo que determine la ruta en base a la dirección IP con mayor coincidencia para redireccionar en la interfaz correcta, ahorrando procesamiento y

mejorando la velocidad en conmutación, como requisito es necesario que el MTU sea superior a 1518 Bytes debido a la cabecera que coloca dentro de la trama.

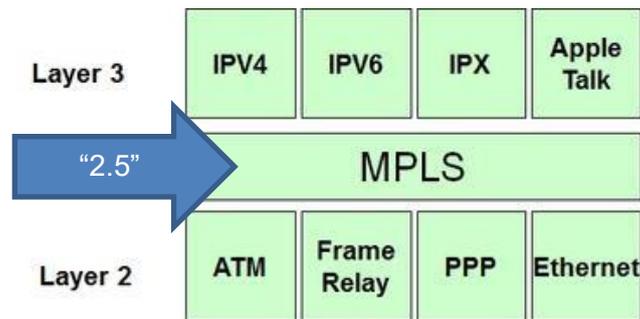


Figura 5: MPLS  
Fuente: Cisco System  
Elaborado por: Autor

### 1.5.1. Cabecera MPLS.

En una trama antes de ser convertido en paquete IP se ha introducido una cabecera MPLS la misma afirma Luc de Ghein (De Ghein, 2007) que está compuesta de un campo de 32 bits que se distribuyen de la como se indica en la Figura 6:

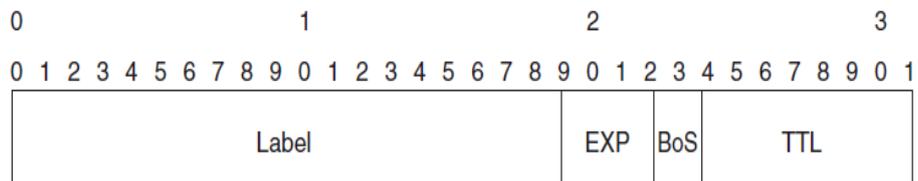


Figura 6: Cabecera MPLS  
Fuente: De Ghein, 2007  
Elaborado por: De Ghein

- **Label:** Consta de 20 bits, pero sólo 16 de estos son utilizables para asignación de etiquetas.
- **Traffic Class (TC):** Consta de 3 bits, se lo denomina experimental (EXP) y se usan de manera exclusiva para Calidad de servicio.
- **Bottom of Stack (BoS):** Consta de 1 bit e identifica si es o no el último paquete de los enviados en una pila de etiquetas.
- **Time to Live (TTL):** Consta de 8 bits, al igual que en IP, sirve para evitar bucles en la red, reduciendo en un bit por cada equipo que atraviesa en del dominio MPLS.

### **1.5.2. Elementos de una red MPLS.**

En una red un equipo que maneja el protocolo MPLS, es denominado un LSR por sus siglas en inglés de *Label Switch Router*, cada LSR cumple una función específica en la red, y puede realizar tres operaciones como poner (*PUSH*), quitar (*POP*) o intercambiar (*SWAP*).

#### **1.5.2.1. LSR de Entrada.**

Llamado en inglés *Ingress LSR* o *iLSR*, es un equipo que por lo general se encuentra en el equipo de borde de la red del proveedor de servicio, y recibe un paquete IP sin etiqueta MPLS, de un CPE o de una red fuera del dominio MPLS, procesa este paquete e inserta una etiqueta antes de proceder con el reenvío hacia la red de destino.

#### **1.5.2.2. LSR de Salida.**

Llamado en inglés *Egress LSR* o *eLSR*, al contrario del LSR de entrada, este equipo quita la etiqueta que viene desde la capa de enlace de datos para poner el paquete IP en la red de destino del cliente o del servicio requerido.

#### **1.5.2.3. LSR Intermedio.**

La función encomendada para el *Intermediate LSR* (nombre reconocido ampliamente en inglés), recibe tráfico con su etiqueta MPLS desde un LSR de entrada, verifica en su Tabla de reenvío y realiza el intercambio de etiqueta.

Los equipos según su función tienen asignados nombres específicos dentro de la red, para el caso de los LSR de ingreso y salida que muchas veces son llamados LER (*Label Edge Router*) se denominan PE (*Provider Edge*), estos realizan las funciones de *POP* y *PUSH*, como su nombre lo indica se encuentran en el equipo de borde de la red MPLS hacia los servicios del cliente.

Para el LSR intermedio el equipo se denomina P (*Provider*), el mismo que se encuentra en el núcleo de la red.

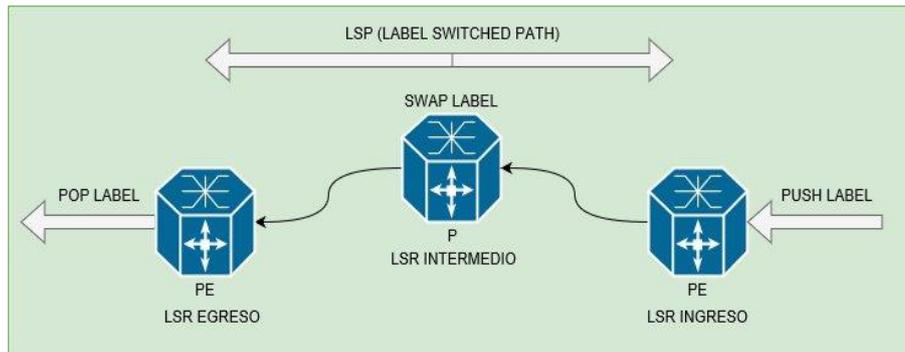


Figura 7: Elementos y funciones de la red MPLS

Fuente: De Ghein, 2007

Elaborado por: Autor

### 1.5.3. Ruta de etiqueta conmutada (LSP).

Para llegar un paquete a su destino, es necesario que esté creado un camino a lo largo de la ruta MPLS, este atraviesa todos los equipos LSR de la red cambiando o conmutando la etiqueta, hasta llegar a su destino para que el equipo eLSR retire la etiqueta y coloque el paquete en el equipo del cliente, el LSP, sirve sólo para una dirección, es decir unidireccional, para su retorno se forma otro LSP.

### 1.5.4. Clase de Equivalencia de Reenvío (FEC).

Es un grupo de paquetes que tienen en común el mismo destino, QoS o que requieren ser tratados de una manera similar tienen la misma etiqueta MPLS, caso contrario si no cumple con lo indicado es necesario generar otro FEC.

Un LSP sirve para transportar varios FECs, siempre y cuando cumplan las condiciones descritas en el párrafo anterior, la etiqueta la asigna el iLSR, es necesario señalar que las etiquetas son sólo de significado local para el enrutador.

### 1.5.5. Distribución de etiquetas.

En el funcionamiento de una red que funciona con MPLS, cuando un paquete IP ingresa al dominio MPLS se le asigna una etiqueta, de acuerdo con lo indicado en las secciones anteriores. Por medio del prefijo IP se forma un LSP, esta información llega a un LSR intermedio, en donde debe vincular una nueva etiqueta hacia la interfaz de salida para ese paquete, el siguiente salto de acuerdo al LSP formado previamente conocerá cómo interpretar esa etiqueta. Para esto se llena una Tabla llamada Información Base de etiquetas o LIB por sus siglas en inglés, en donde almacenan las etiquetas locales y remotas.

Las etiquetas se pueden distribuir de dos maneras:

- A través de una extensión de campos por un protocolo existente.
- Mediante un protocolo exclusivo para redistribución de etiquetas.

Para el primer caso, es generalmente utilizado BGP que tiene soporte para incluir una etiqueta dentro de las actualizaciones que envía, tiene ventajas como en la cual sólo el route reflector es quien distribuye las etiquetas a sus clientes, por lo general se lo utiliza para distribuir etiquetas entre distintos sistemas autónomos.

Los protocolos para redistribución de etiquetas generalmente utilizados son LDP que es un estándar definido en la RFC3036 y también mediante RSVP que sirve para ingeniería de tráfico, ya que se puede modificar los LSP para determinar el camino óptimo y con menor utilización.

Para LDP el funcionamiento es el siguiente:

- Es necesario tener conectividad IP entre todos los nodos y conocer los prefijos IP, para lo cual es necesario tener en la red un protocolo de enrutamiento dinámico, utiliza el puerto 646 para establecer vecindades mediante paquetes hello, estos mensajes se envían a direcciones Unicast para vecinos adyacentes y mensajes Multicast para vecinos no adyacentes.
- Con los prefijos aprendidos se forma la Tabla LIB, estos pasos están ubicados en el plano de control y es la base de datos usada por LDP.
- Para el plano de datos, LFIB tiene actualizada la etiqueta local, remota y porque interfaz debe hacer el reenvío del paquete
- Se debe establecer vecindades LDP entre dos dispositivos para el intercambio de información.
- En cada enrutador se empieza a negociar las etiquetas para alimentar la Tabla LIB, por lo general LDP utiliza la misma información de rutas del IGP utilizado para formar un LSP.

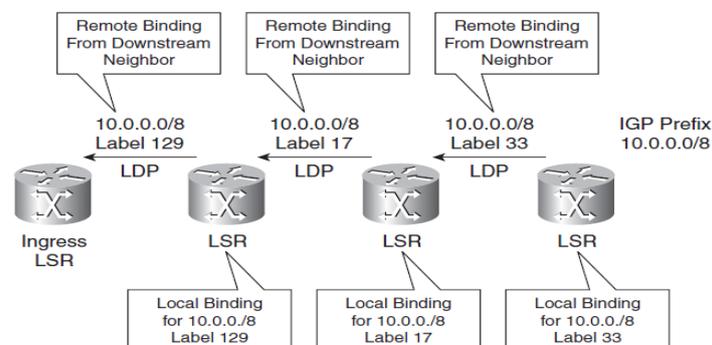


Figura 8: LDP en red IP/MPLS

Autor: De Ghein, 2010

Elaborado por: De Ghein, 2010

### **1.5.6. Concepto básico de ingeniería de tráfico.**

RSVP definido inicialmente sólo para señalar las características del tráfico IP y los flujos de tráfico dentro del modelo de calidad de servicio como servicios integrados (IntServ), también se puede utilizar como protocolo para distribuir etiquetas y formar LSP en la red MPLS, requiere de un flujo bidireccional, por lo que debe estar configurado en todas las interfaces de los enrutadores que vayan a utilizar este protocolo para distribución de etiquetas definido en RFC 3209.

RSVP junto a ingeniería de tráfico, permite establecer túneles y manipular el flujo de paquetes que atraviesa por la red manualmente, un administrador de la red puede definir el rumbo que toma, basado en parámetros como IP destino, es capaz de tomar decisiones de reenvío de tráfico basadas en cálculos avanzados, como la utilización del enlace, restricciones de ancho de banda a lo largo de la ruta, de la misma manera es que se puede ajustar el ancho de banda por interfaz como un máximo por utilizar en cada enlace, así como la utilización de colores en la red para distinguir el tipo de tráfico y dar prioridades al mismo.

En cuanto a la protección según la RFC 3209 (Gan, 2001), se puede definir rutas secundarias o caminos alternos, no solamente basado en el aprendizaje por el IGP, aplicar reenrutamiento rápido en caso de fallar la ruta primaria, y uno de los factores fundamentales, realizar reserva de recurso en todo el LSP; para explotar estas bondades, se utilizan los llamados Túneles de ingeniería de tráfico, que se forman entre dos equipos de la red MPLS, por lo general entre los PE, para llevar tráfico crítico, el primer equipo LSR que recibe el paquete aplica una extensión del algoritmo del primer camino más corto (SPF), llamado CSPF en el que se calcula un nuevo enlace en base a las restricciones existentes en la ruta como ancho de banda, latencia o indisponibilidad de una conexión entre equipos.

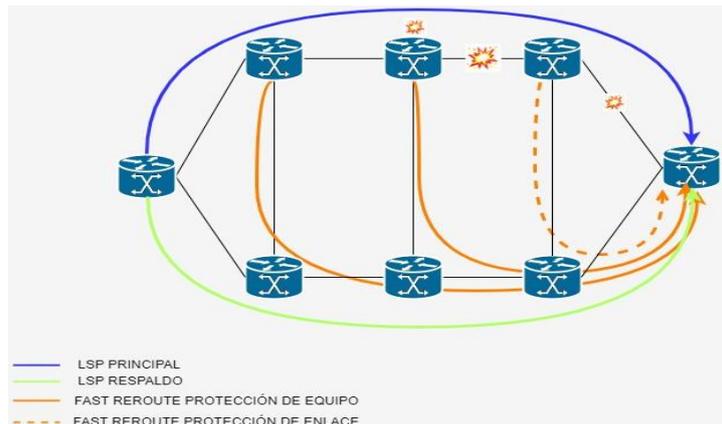


Figura 9:Alta disponibilidad MPLS TE  
 Fuente: (Medhi & Ramasamy, 2018)  
 Elaborado por: Autor

### 1.5.7. Servicios con MPLS.

Hasta el momento, sólo se ha tratado de como viajan los paquetes a nivel de proveedor de servicio, pero MPLS tiene en su portafolio servicios tecnología para conectar a clientes de extremo a extremo.

Al tratarse de una red multiservicios se puede aprovechar para conectar clientes internos, externos y servicios como la red móvil, sin tener problemas de seguridad en la red, esto porque se han desarrollado soluciones en capa dos y tres del modelo de referencia OSI, como son VPN MPLS las cuales mantienen el mismo concepto que una VPN normal en donde se interconecta dos sitios de una misma empresa a través de una red privada virtual utilizando la infraestructura desplegada de un proveedor de servicio para múltiples clientes, sin comprometer sus datos, las siguientes son soluciones utilizadas ampliamente para el despliegue de redes de las empresas de telecomunicaciones:

#### 1.5.7.1. L2VPN.

Este tipo de MPLS VPN trabaja exclusivamente en capa 2 del modelo OSI, puede transportar cualquier tipo de tráfico, por ejemplo IP, simulando un cable conectado directamente entre los enrutadores del cliente de cada sucursal de la siguiente manera: el tráfico ingresa al equipo PE de la red MPLS, es transportado por el LSP generado previamente, de manera que se transporta al extremo que previamente se configuro, una vez que atravesó la red MPLS, es nuevamente transformado el tráfico a un formato de capa 2, para ser entregado al enrutador del cliente en el extremo final, su utilización se da cuando el cliente requiere una aplicación LAN entre su redes.

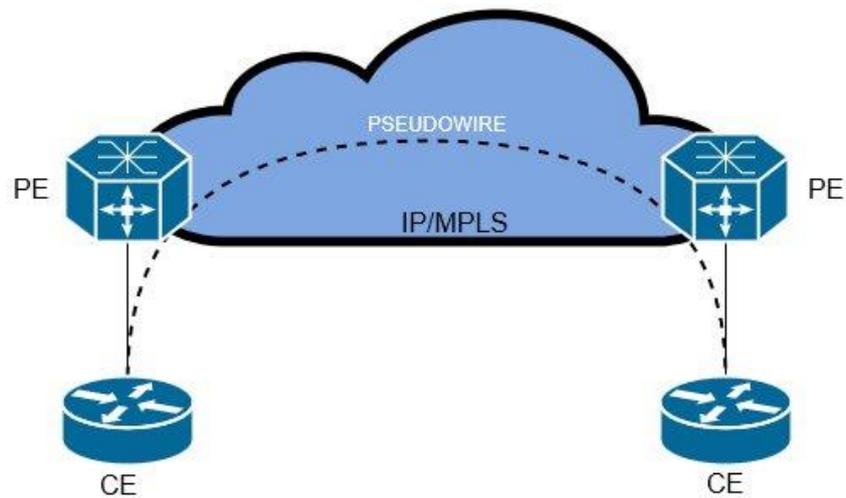


Figura 10:L2VPN Punto a Punto  
Fuente: (JUNIPER, 2013)  
Elaborado por: Autor

En este tipo de VPN el proveedor de servicio no conoce las talas de enrutamiento que maneja el cliente, así como tampoco es necesario tener un direccionamiento IP para el servicio, solamente su dirección MAC para tener comunicación en capa 2, para ello se debe configurar el túnel de extremo a extremo entre los equipos PE para establecer el canal por donde se enviará el tráfico llamado canal virtual (vc por sus siglas en inglés), de manera similar a la formación de circuitos de líneas dedicadas que existía en ATM, con la ventaja de que se utiliza la infraestructura ya desplegada, en una red común para múltiples servicios.

Se puede desplegar servicios L2VPN punto a punto, es decir, sólo para interconectar mediante un túnel dos equipos PE y también punto a multipunto llamada también Servicio de LAN Privada Virtual (VPLS por sus siglas en inglés) definido en la RFC 4762, significa que, un PE puede tener un túnel para conectar a múltiples PE, en una topología llamada *HUB and SPOKE* que consiste en un modelo basado en un sitio central (*HUB*) y varios sitios remotos (*SPOKE*).

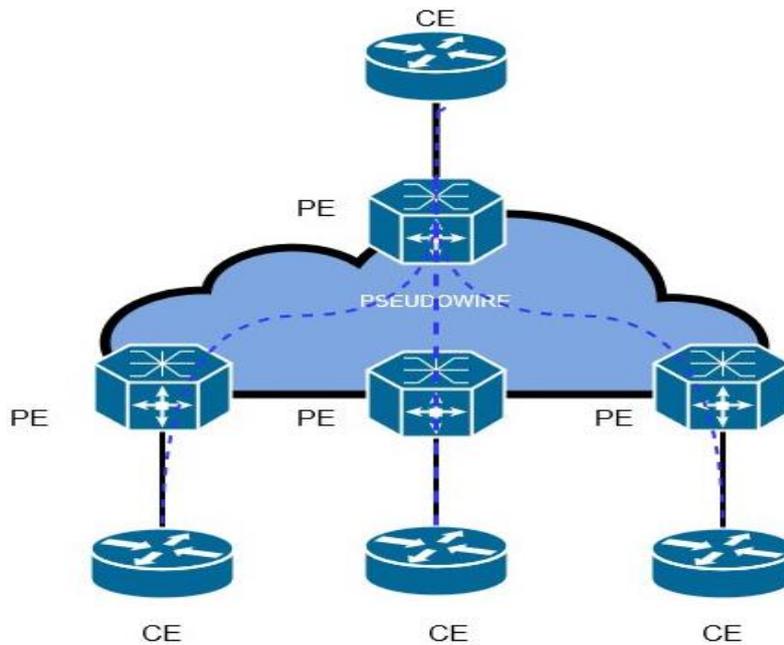


Figura 11: L2VPN Multipunto VPLS  
Fuente: (JUNIPER, 2013)  
Elaborado por: Autor

### 1.5.7.2. L3VPN.

Este tipo de MPLS VPN es similar a tener múltiples enrutadores dentro de un PE como se aprecia en la Figura 12, de manera que no se intercambian las tablas de enrutamiento entre ellos sino coexisten en un mismo equipo, lo que brinda seguridad ya que el servicio A no se puede enrutar al servicio B, a menos que el operador de la red manipule y comparta las rutas.

Se puede tener una instancia de enrutamiento (Juniper, 2013) que es una tabla de enrutamiento, interfaces y parámetros de enrutamiento, por cliente o servicio, ya que varios clientes podrían utilizar subredes idénticas, que podrían solaparse entre sí, en el caso de MPLS VPN cada instancia de enrutamiento se la conoce como enrutamiento y reenvío virtual (VRF por sus siglas en inglés). Estas VRF constan de una o más Tablas de enrutamiento y asocian a cada interfaz que realiza el reenvío del Paquete, son creadas únicamente en los enrutadores PE de la red MPLS y se crea una VRF separada por cada VPN creada.

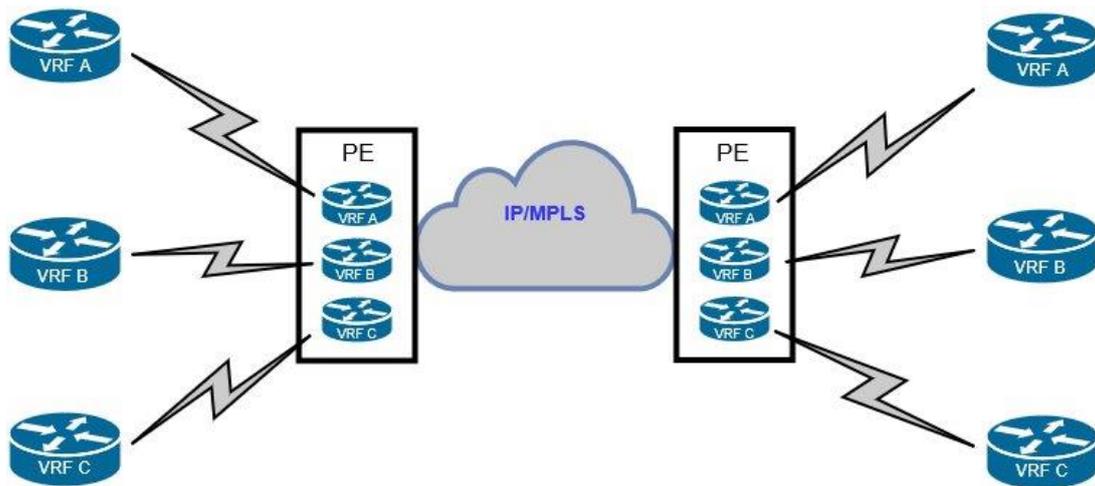


Figura 12: L3VPN VRF  
Fuente: (JUNIPER, 2013)  
Elaborado por: Autor

Dentro de un Proveedor de servicios se manejan varias instancias o VRF, debido a esto es necesario distinguir cada identificador con un valor único por cada L3VPN creada, llamado *Route Distinguisher* (RD), el RD puede utilizar dos formatos para construir su identificador(Juniper, 2013) de la siguiente manera:

- Número de sistema autónomo (ASN): número, en donde el ASN es un número de 2 bytes que van en el rango de 1 a 65.535, por lo general se utiliza el mismo AS de BGP, en cambio para el número compuesto por 4 bytes, Por ejemplo 65512:10001
- Dirección IP: número, en donde la dirección IP tiene un valor de 4 bytes, de preferencia se debe utilizar la IP para el identificador del proceso de enrutamiento y en el número cualquier valor de 2 bytes de longitud.

Se suman a esto 4 bytes de dirección IP que va a ser distribuida quedando el RD con un tamaño total de 64 Bits como se indica en la Figura 13.

Cada VRF puede importar o exportar rutas según el RD en los equipos MPLS PE que tienen configurada la VPN, por medio del protocolo BGP que se explicara más adelante dentro de la sección de protocolos de enrutamiento vector ruta. De tal forma que cada vez que entra información del enrutador del cliente, asociada a la interfaz donde está configurada la VRF, se impone el formato de la VPN, ésta viaja a través del LSP formado previamente hacia el PE de destino, una vez entregado en el PE se quita el formato de

la VPN y es entregado a la interfaz de destino para que el paquete se entregue al enrutador del cliente en el destino.

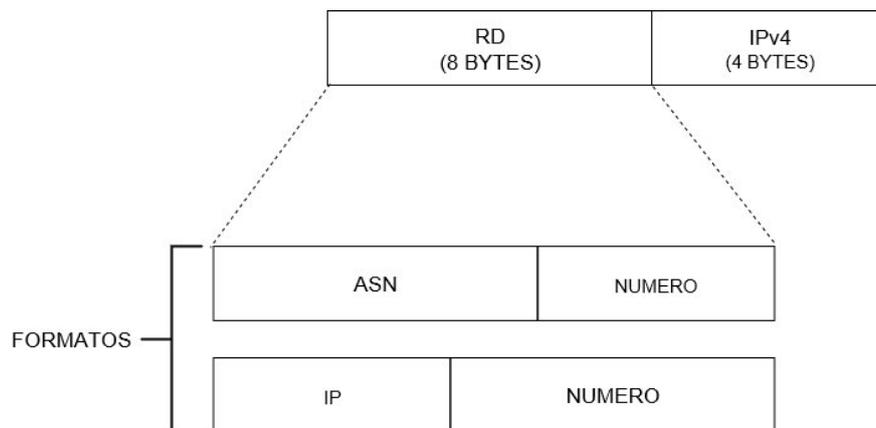


Figura 13: RD VRF MPLS  
 Fuente:(De Ghein, 2007)  
 Elaborado por: Autor

Tanto para las VPN en capa 2 y capa 3, se puede manipular el tráfico, esto gracias a los caminos formados manual o dinámicamente a través de ingeniería de tráfico, de manera que, si existe algún problema de saturación en la ruta predefinida como principal, desvíe el tráfico al túnel de respaldo, esto por ejemplo si se configura que el camino principal reserve recursos hasta un 80% de la capacidad total del enlace, si se supera el mismo el tráfico se enrute por una ruta menos congestionada.

MPLS aumenta el tamaño del MTU máximo que se manejaba en una red tradicional IP debido a las cabeceras que se aumentan, por lo que es necesario considerar en toda la red un (Comparaci et al., s/f) MTU superior a 1522 por interfaz entre vecinos LSR.

### 1.6. Protocolos de enrutamiento.

Para la comunicación entre distintas redes existen dos tipos de enrutamiento, el estático y el dinámico. Debido a la gran cantidad de redes a ser difundidas entre los equipos no es posible manipular el direccionamiento manualmente ya que se pueden producir errores en la configuración, la escalabilidad al tomar caminos de respaldo se ven limitadas por las actualizaciones que deben ser ingresadas equipo por equipo, para mitigar esto se desarrollaron protocolos de enrutamiento dinámico.

Las rutas con mejores métricas llenan la tabla de enrutamiento, rutas con métrica igual hacia un mismo destino pueden balancear el tráfico generado entre dos puntos; y, en el caso de que las rutas con la misma métrica se aprendan por distintos tipos de protocolo,

corriendo en el enrutador, se instala la ruta con la mejor distancia administrativa que es la “confianza” del protocolo utilizado.

Los protocolos de enrutamiento dinámico se dividen como se indica en la Figura 14:

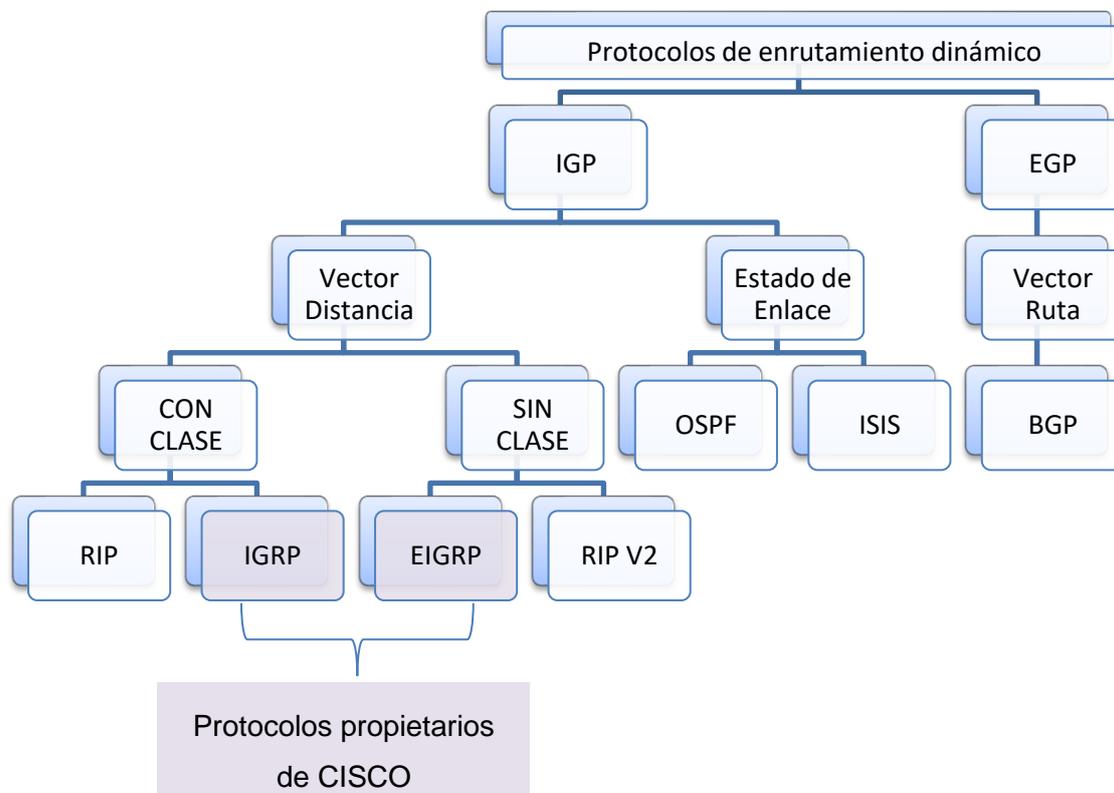


Figura 14: Protocolos de enrutamiento dinámico

Fuente: Cisco System

Elaborado por: Autor

### 1.6.1. Protocolos de Estado de Enlace.

Los protocolos de estado de enlace se utilizan en redes con un diseño jerárquico, para una rápida convergencia, ya que tiene conocimiento de toda la red al momento de enviar sus actualizaciones crea una topología completa de la red, los protocolos dividen la red en áreas, se basan en el algoritmo de Dijkstra que es en fundamento (Luis F. Pedraza, DaniloLópez, 2011) utilizado para determinar el camino más corto desde un origen al destino, tomando en cuenta factores llamados métricas en base a cálculos de ancho de banda, de esta manera se evita inundar de mensajes y consumir recursos sólo en actualizaciones.

En cuanto al diseño de redes MPLS con VPN, se puede implementar con cualquier protocolo de enrutamiento dinámico, pero para implementar ingeniería de tráfico es

necesario exclusivamente un protocolo de sea de estado de enlace, ya que tiene un conocimiento completo de la red y las capacidades por enlace, lo que ayuda a realizar cálculos en MPLS TE.

Los dos referentes de protocolos de enrutamiento de estado de enlace son:

#### **1.6.1.1. OSPF.**

Es un protocolo no propietario, es decir puede funcionar equipos de múltiples fabricantes, creado exclusivamente para el protocolo IP y de manera exacta para la versión 4, para IPv6 es necesario OSPFv3.

Cada equipo en donde está funcionando el protocolo tiene un Identificador de enrutamiento que está directamente relacionado con la dirección *Loopback* para gestión del equipo, pero también puede ser un ID configurado dentro del proceso, lo recomendable es la *Loopback*, para crear su base de datos OSPF. Cada equipo tiene la topología completa hacia el equipo de destino, necesita del algoritmo de estado de enlace para calcular el camino más corto a los destinos conocidos, intercambiando mensajes de la siguiente manera:

- Intercambia entre los equipos directamente conectados paquetes que anuncian el protocolo de estado de enlace llamados paquetes LSA, los mismos que serán almacenados en el enrutador.
- Cada enrutador que estableció una vecindad y almacenó los paquetes, envía una copia de su base de datos a los equipos adyacentes.
- Cuando la base de datos está completa y conoce a detalle la topología, utiliza el algoritmo de Dijkstra para calcular el camino más corto hacia cada destino almacenado
- Las actualizaciones sólo se la realizan si hay algún cambio en la topología debido a la indisponibilidad de un enlace o equipo.

Estas actualizaciones se pueden controlar para que no todos los equipos reciban inundación de tablas de enrutamiento, en una red de proveedor de servicios es lo más recomendable y en OSPF esta característica permite tener un área central o *backbone* y las áreas adyacentes, cada área conoce sólo la topología de su segmento y se introduce un nuevo termino ABR que es un enrutador de borde de área, interconecta el *backbone* con las áreas que no están en el *backbone*, estos permiten agregar o cortar rutas y enviar sólo sumario para el núcleo de forma que el tamaño de rutas no sea muy grande.

En términos de OSPF el *backbone* es el área 0 y el resto de las áreas debe estar conectadas directamente al área 0 caso contrario no se puede establecer una adyacencia, esta forma de diseño es jerárquico ya que los clientes generalmente se conectan a las áreas normales y el área 0 pasa a ser sólo de tránsito de paquetes IP.

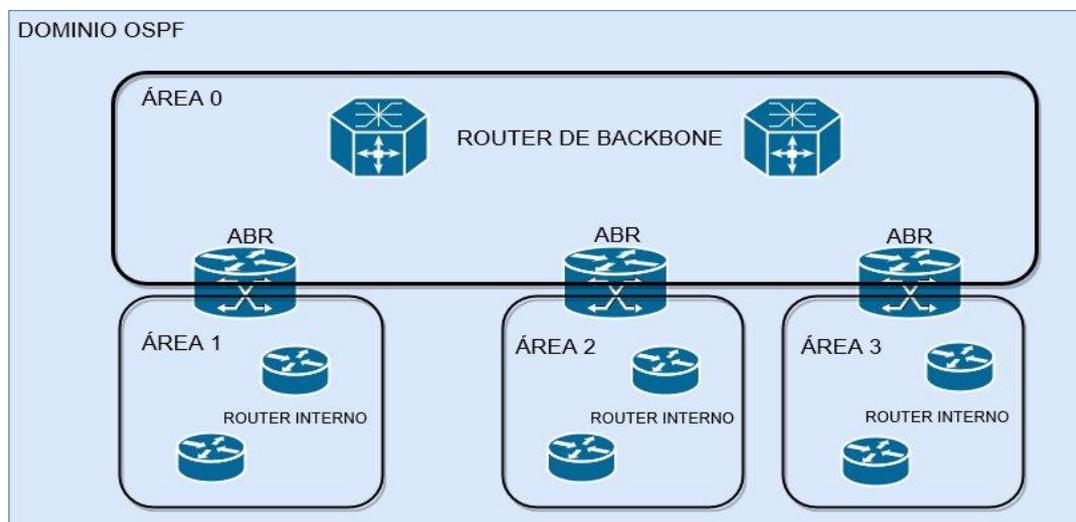


Figura 15: Áreas de conexión en dominio OSPF

Fuente: Cisco System

Elaborado por: Autor

El incorporar el mejor camino que sigue de un enrutador a otro se da mediante un cálculo llamado métrica o costo, es definido por enlace, pero puede ser modificado en cada interfaz y se calcula dividiendo el ancho de banda referencial para el ancho de banda de la interfaz (Tabla 3).

Tabla 3: Cálculo de costo OSPF

$$\text{COSTO} = \frac{\text{Ancho de banda referencial}}{\text{Ancho de banda de la interfaz}}$$

Fuente: (Cisco Sytem Inc., 2009)

Elaborado por: Autor

El ancho de banda referencial es equivalente a una interfaz *FastEthernet* (100 Mb/s), y su costo será si se estaría trabajando sobre un enlace de 100Mb/s igual a 1 y daría preferencia a un enlace de 10Mb/s en cual quedaría instalado como ruta de respaldo hacia el mismo destino.

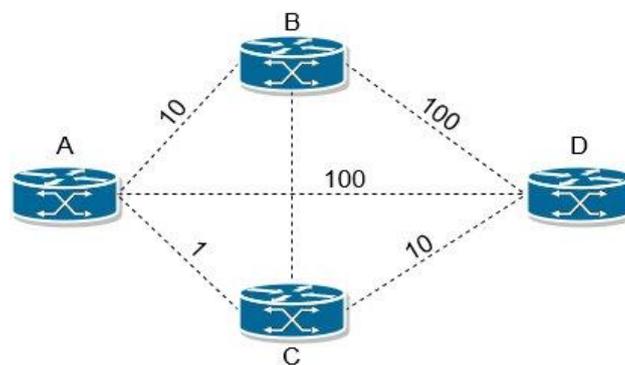
El costo total es la suma de todos los costos por salto que debe atravesar para llegar al enrutador de destino.

OSPF instala todas las rutas en su base de datos, pero en la tabla de enrutamiento consta sólo la de camino más corto, como se puede observar en la Figura 16.

Existen tres tipos de redes OSPF

- Punto a Punto
- *Broadcast*
- Multiacceso no *Broadcast*

Se utiliza en mayoría las redes Punto a Punto dentro de un ISP, las Multiacceso ya no se utilizan debido a la obsolescencia de la tecnología para formar adyacencias de este tipo como por ejemplo Frame Relay, ATM o X.25



Ruta a Instalar:  
\* A-C-D  
Costo = 11

Figura 16: Instalación de rutas con menor costo

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

### 1.6.1.2. Sistema intermedio a Sistema Intermedio IS-IS.

Es un protocolo estable, mayormente utilizado por proveedores de servicios, debido a su simplicidad para poder agregar equipos y hacer un dominio de enrutamiento más grande sin ninguna acción adicional, fue originariamente diseñado (Cisco Sytem Inc., 2012) como un IGP Servicios de red sin conexión (CLNS), que es parte de la suite de protocolos y fue desarrollada antes que OSPF, debido a que su accionar está en capa 2, soporta máscara de longitud variable, autenticación y optimiza eficientemente el ancho de banda, procesamiento y memoria, es independiente del protocolo que se utilice en capa 3 como por ejemplo IPX, IP y Appletalk, y permite sin mayor modificación IPv6, descrito en la RFC 5120.

A diferencia de OSPF, IS-IS no utiliza una dirección IP para identificarse en el proceso de enrutamiento, utiliza una dirección única de punto de acceso de servicio de red

(NSAP por sus siglas en inglés) que es parte de CLNS y con esta realiza actualizaciones, así como también construye su base de datos de estado de enlace.

Cumple los mismos pasos que OSPF para el conocimiento de la topología, es decir también intercambia paquetes HELLO con sus vecinos para formar adyacencias, procesa las rutas con el algoritmo Dijkstra para ver el camino más corto también en base en una métrica, con la diferencia que este protocolo todos los enlaces tienen un costo por defecto de 10, que puede ser modificado manualmente y las mejores prácticas así lo recomiendan para poder manipular cada ruta en base a lo que el administrador decida y dar cabida a aplicaciones como MPLS TE.

Se puede implementar un diseño jerárquico, sus áreas no deben estar conectadas directamente al *backbone*, tiene dos niveles que permite funcionar como una arquitectura DUAL de la siguiente manera:

- Nivel 1 (*level 1*): Es usado en áreas locales, los paquetes de actualización se comparten entre equipos de la misma área, tienen la misma dirección de área dentro del esquema NSAP.
- Nivel 2 (*level 2*): Están ubicados en los equipos de *backbone*, tienen un conocimiento global de la red, construyen una tabla dentro de su base de datos con rutas interáreas.

Un enrutador puede ser Nivel 1, Nivel 2 o Nivel 1 y 2, de manera análoga a OSPF este último se podría considerar un ABR, ya que actúa de frontera entre el Nivel 1 y Nivel 2; los tipos de enlaces que pueden formar los enrutador de nivel 1 son sólo adyacencias en nivel 1, los enrutadores de nivel 2 pueden formar adyacencias sólo con nivel 2 y los nivel 1 y 2 pueden formar adyacencias con cualquier nivel; en cuanto a las áreas los enrutador de nivel 1 y enrutador de nivel 2 pueden formar adyacencias en la misma área, sólo los enrutador de nivel 2 formaran adyacencias con distintas áreas.

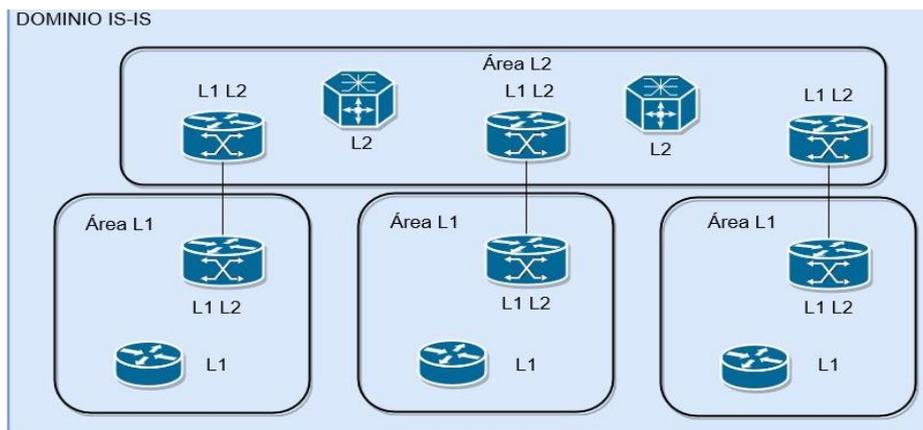


Figura 17: Áreas de conexión en dominio IS-IS  
Elaborado: Autor

Los enrutadores de nivel 2 distribuyen por defecto las rutas de su nivel 1 adyacentes lo que no sucede cuando una ruta de nivel 2 quiere ser redistribuida a los enrutadores de nivel 1, por lo que por defecto se genera una ruta por defecto al interior del área, los enrutadores del mismo nivel forman su Tabla de enrutamiento en base a su System ID.

La administración de este protocolo de enrutamiento exige mayor conocimiento para la administración, pero más fácil de diseñar con respecto a OSPF, para el direccionamiento NSAP está dividido en tres partes:

- Area ID: es un campo variable de 1 a 13 Bytes
  - o Este valor es configurable
  - o El primer byte representa el AFI, que identifica al sistema autónomo
- System id: campo de 6 Bytes
  - o Esta variable no es configurable y tiene relación con la interfaz de loopback del sistema
- Byte Selector: 1 Bytes, para un enrutador siempre es 0

En la Tabla 5 se muestra cómo se calcula una dirección NSAP

Tabla 4: Formato de dirección NSAP

49.	00	06	0100.6210.0100	.00
Área			System ID	Byte Selector:
13 bytes			6 bytes	1 byte

Fuente: (Cisco Sytem Inc., 2012)  
Elaborado por: Autor

Para el System ID como se mencionó en el párrafo anterior es necesario tomar la dirección IP del sistema, asociado siempre a una interfaz *loopback*, en la Tabla 5 consta cada campo utilizado para determinar la identificación del sistema

Tabla 5: Determinar el System ID para dirección NSAP a partir de IP

<b>IP</b>	10	62	100	100
<b>Se rellena de 0</b>	010	062	100	100
<b>se ajusta en cuartetos para formato</b>	0100	6210	0100	

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

En redes con el mismo costo se puede balancear carga de modo que el tráfico pueda ir por dos enlaces a un mismo destino, su convergencia es muy rápida, debido a que el cálculo del SFP lo realiza por segmentos, por lo que es preferible para implementar redes de proveedores de servicio.

### 1.6.1.3. Comparación de protocolos IS-IS y OSPF.

Al ser los dos protocolos de estado de enlace tienen similares características en cuanto a actualización de paquetes, la Tabla 6 presenta un resumen de la comparación entre los protocolos

Tabla 6: Comparación de Protocolos de estado de enlace

<b>Características</b>	<b>IS-IS</b>	<b>OSPF</b>
<b>Actualizaciones</b>	Incremental	Incremental
<b>Capa de actualización</b>	Capa 2	Capa 3
<b>Multicast</b>		
<b>Tipos de actualizaciones</b>	Nivel 1 y Nivel 2	Múltiples tipos
<b>Métrica</b>	Por defecto 10	Costo basado en el cálculo de ancho de banda de un enlace
<b>Borde de Área</b>	Por segmento	por interfaz
<b>Jerarquía de Área</b>	Todos los enrutadores en nivel 2 deben estar conectados de forma continua	todas las áreas deben estar conectadas al <i>backbone</i>
<b>Autenticación</b>	Simple y MD5	Simple y MD5

Fuente: (Cisco Sytem Inc., 2012)

Elaborado por: Autor

Para el presente trabajo, se utilizará exclusivamente como IGP al protocolo IS-IS, que debido a que la red actual de CNT tiene operando en su red, permite dividir en regiones sin la necesidad de tener conectadas sus área al backbone, lo que permite aislar de

mejor manera las rutas a difundir, seguir expandiendo equipos, dentro de los niveles que tiene y con esto controlar sus actualizaciones que en una topología sin división por regiones inunda la red y genera tráfico innecesario,

Al contrario de OSPF, IS-IS soporta nativamente IPv6 debido a que no es un protocolo que funciona específicamente la capa 3 del modelo referencial OSI, sino distribuye rutas a través de un enlace preestablecido por direcciones ISO.

Se puede manipular manualmente la métrica por cada interfaz, logrando conseguir que el administrador manipule según sus intereses las rutas, y balancear tráfico mediante ingeniería de tráfico.

### **1.6.2. Protocolo de puerta de enlace de frontera (BGP).**

Comúnmente conocido sólo como BGP, es un protocolo de vector ruta, se diferencia de los protocolos IGP, porque cada entrada de la tabla de enrutamiento contiene la red de destino, el enrutador por el que da su primer salto y todo el camino para llegar a su destino, también anuncia todos los caminos que pueden ser usados para alcanzar el destino, de modo que si una ruta falla tenga listo el siguiente sistema autónomo (AS), no siendo necesario que esté directamente conectado a él , sino mediante sistemas autónomos de tránsito para alcanzar la red.

BGP se caracteriza, según Cisco en su guía para el despliegue de enrutamiento para proveedores de servicio (Cisco Sytem Inc., 2012) en la escalabilidad al llevar cientos y miles de rutas y de internet, la estabilidad ya que por lo general todas las rutas que maneja pueden estar en un estado comúnmente llamado “*flapping*” lo que ocasiona en un determinado momento cambien su camino, al ser miles de rutas el protocolo es capaz de manejarlo y adaptarse a cambios.

En cuanto a la seguridad, al ser un protocolo que se utiliza en redes públicas tiene mecanismos en donde protegen su entorno privado, de tal manera que un ISP pueda saber que rutas publicar y cuáles no, así como también si un determinado AS puedo o no ingresar tráfico al ISP y por último la complejidad, ya que se en combinación con otros atributos que tiene BGP puede habilitar políticas de rutas, como por ejemplo el implementar esquemas dual-homed, balancear su tráfico de salida y al mismo tiempo no verse como un AS de tránsito.

BGP tiene dos arquitecturas:

- BGP Externo eBGP, el cual intercambia la información de enrutamiento con otros AS

- BGP Interno iBGP, la información de enrutamiento es intercambiada entre el mismo AS, es usado como tránsito para los paquetes que cruzan de un sistema autónomo a otro por medio de los enrutadores del AS.

La Figura 18 muestra en detalle cómo está conformado tanto el eBGP y el iBGP

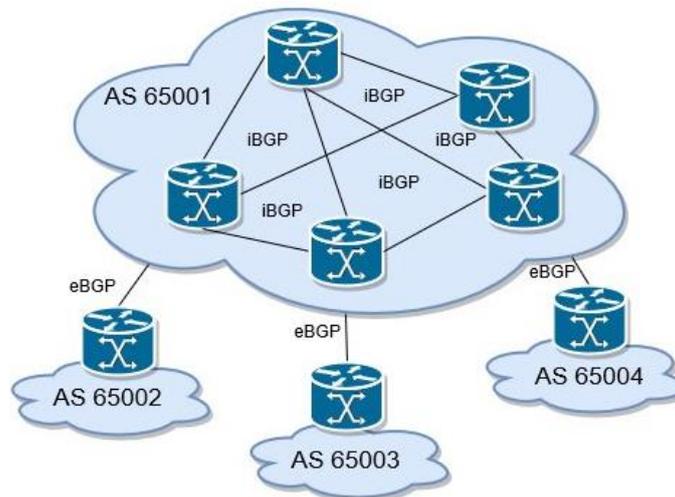


Figura 18: Arquitectura BGP  
Fuente: Cisco System  
Elaborado por: Autor

Otro uso del iBGP es el BGP Multiprotocolo, que se encarga de llevar el enrutamiento de las VPN-MPLS, esta información se lleva entre todos los PE con la misma comunidad o VRF, el multiprotocolo BGP o MP-BGP se encuentra definido en la RFC 2858, como su nombre lo indica, puede llevar distintos protocolos tales como MPLS, Multicast dentro de una misma sesión BGP.

BGP siempre necesita tener una conexión establecida con un par, (Rekhter & Chandra, 2000) estas conexiones virtuales son mediante TCP, en el caso de iBGP dependiendo de cuán grande sea la red interna cada administrador tendría que configurar por cada enrutador su vecino BGP y del lado contrario también, lo que no generaría una escalabilidad. Es por lo que en la actualidad se han implementado *route-reflectors*, que funcionan de la manera cliente servidor, en donde se levanta las sesiones entre estos y ya no entre cada enrutador del dominio de BGP, facilitando la administración.

En la Figura 19 se puede observar la comparación de las sesiones iBGP sin route-reflectors, que son establecidas en una topología llamada malla completa y la otra una topología *hub and spoke* que facilita la administración de la red en general, sin tener que instalar manualmente todos los pares BGP.

El sistema autónomo es el identificativo único que cada ISP que desea publicar sus redes en internet dispone, en la actualidad debido a que se incrementaron el número de proveedores que desean distribuir sus prefijos.

Existen dos tipos de AS, el inicial de 16 bits, que permite sólo 65536 sistemas autónomos, de los cuales el rango público es del 1 al 64511 y en un rango privado del 64512 hasta el 65535, estos últimos son sólo para ambientes de prueba o aislados de la red, mientras que el nuevo formato corresponde al de 32 bits separados en dos de la siguiente manera X.Y, este es compatible con el formato anterior, ya que en la actualidad la mayoría de ISP aún siguen utilizando el formato de 16 bits, la distancia administrativa depende de la marca de equipo, para rutas externas BGP es menor que la distancia de rutas internas.

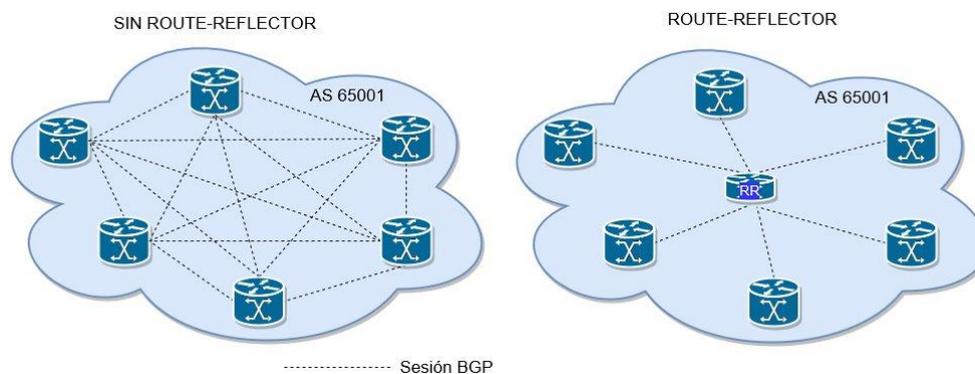


Figura 19: Comparación entre BGP con *Route Reflector* y Sin *Route Reflector*

Fuente: (Cisco Sytem Inc., 2012)

Elaborado por: Autor

### 1.7. Calidad de servicio.

Para los proveedores de internet es necesario compartir recursos, ya que de esta manera generará más ganancias para ellos, esto implica que determinados recursos son de uso para todos sus clientes, más comúnmente eso se lo realiza en las interfaces que se conectan hacia equipos superiores, generando que en horas de mayor demanda de ancho de banda exista muchas de las veces congestión, más aún al ser IP un protocolo de “mejor esfuerzo”.

Para reducir el impacto de esto se han generado varios métodos que garantizan según la aplicación una reserva de recursos de manera que paquetes menos importantes se descarten para permitir el paso de tráfico más importante como Videoconferencias, telefonía, que necesitan mucho ancho de banda, bajo retardo y perdidas de paquetes.

Las consideraciones para optimizar los recursos en cuanto a ancho de banda se tratan son:

El modelado de tráfico es lo primero que se debe implementar esto a razón de que según Andrew Tanenbaum (Tanenbaum & Wetherall, 2012) con el fin de adaptarse a distintas aplicaciones que muchas de las veces requieren pasar el flujo de datos constantes y superan lo contratado por lo que se permiten ráfagas de tráfico por tiempo determinado, variando los tipos de aplicaciones que el cliente transmite por la red y el proveedor se adapta fácilmente a cambios bruscos, permitiendo llegar a acuerdos de nivel de servicio, todos los paquetes que excedan lo contratado por el cliente, se descartan o pueden ser también marcados con una prioridad más baja, estas se definen por su precedencia IP o su DSCP.

Clasificación, en esta primero se identifican y luego se marca los paquetes asignando prioridades a cada uno de ellos.

Gestión de congestión mediante algoritmos de encolamiento de paquetes, tales como cola de prioridades, esto en cada interfaz del enrutador, según su capacidad de transmisión, por lo general utilizar el método el primer paquete en ingresar es el primero en salir (FIFO), reduciendo la latencia, también existe dentro de la gestión de congestión la basada en prioridades que establece cuatro categorías y la basada en clases, que marca paquetes según criterios como protocolos, listas de acceso e interfaces por los cuales se envían.

### **1.7.1. Servicios Diferenciados (DiffServ).**

Su principal misión es priorizar el tráfico según su clase, la aplicación o el primer equipo marca el paquete con una prioridad, de esta manera se reenvía el tráfico a los siguientes dispositivos, los cuales observan el marcado y siguen con el trato especial al tráfico, este comportamiento se llama comportamiento por salto (PHB por sus siglas en inglés), la aplicabilidad de este tipo de calidad de servicio se la puede aplicar para IP y MPLS, se encuentra descrito a detalle en la RFC 2475.

Por lo general la calidad de servicio va implícita en el paquete, el cual al referirnos como tal estamos hablando que los equipos lo revisan hasta capa 3 del modelo OSI, pero cuando corre MPLS, no pasa a esta capa, la calidad de servicio va en los bits EXP.

#### **1.7.1.1. Reenvío Expedito (EF).**

Es la clase más simple dentro de los servicios diferenciados, esto permite que un paquete marcado como EF sea tratado como si no existiera más tráfico en la red, lo que

permite que el tiempo de entrega de un paquete sea mucho menor que en una marcada como tráfico normal, quien tiene que esperar el encolamiento para ser puesto el siguiente equipo.

#### **1.7.1.2. Reenvío Asegurado (AF).**

Hay un esquema más elaborado que el EF (Tanenbaum & Wetherall, 2012), el cual para asegurar el tráfico especifica que hay cuatro clases de prioridades, las cuales manejan sus propios recursos, como reserva de ancho de banda y buffer, se describe en la RFC2597,

#### **1.7.2. Servicios Integrados (IntServ).**

Este tipo de Calidad de servicio se encarga de reservar recursos en toda la red, equipo por equipo, que permite garantizar niveles de acuerdos con el cliente (SLA), para el paso de tráfico tanto para Unicast y Multicast, se encentra descrito en la RFC 2210, utiliza RSVP como protocolo de reserva de los recursos en la red, de esta manera también se puede implementar ingeniería de tráfico en MPLS.

**CAPITULO II.**  
**METODOLOGÍA**

## 2.1. Metodología de Investigación.

Se utilizará un enfoque **cuantitativo**, que según Hernández indica (Hernández, 2014), sigue una secuencia, en la cual va probando hipótesis hasta verificar que se haya resuelto el problema planteado analizando el comportamiento de cada teoría analizada. De la misma manera realizará un análisis de los datos para saber cuáles son los puntos más importantes de la investigación y plantear nuevas interrogantes e hipótesis antes durante y después de la investigación, adoptando también el enfoque cualitativo en esta investigación

Los alcances que tiene el enfoque cualitativo dentro del presente trabajo son:

- **Exploratorio.** - Para estudiar un tema poco estudiado o novedoso.
- **Descriptivo.** - Busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno a analizar.
- **Correlacional.** -Asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población.

Se realizará un levantamiento actual de la infraestructura para la red móvil, mediante consulta a personal que está directamente involucrado con el tema dentro de la empresa, éste será el punto de partida para realizar el análisis de una solución global para la red en la ciudad de Cuenca, mediante estadísticas de tráfico se obtendrá información relevante para ser utilizada para comparar los resultados después de la validación mediante la simulación.

Luego, mediante **revisión bibliográfica** se determinarán las distintas soluciones aplicables para manejo de tráfico, para finalizar se simulará lo diseñado para comprobar si la solución es la más aceptable y viable para su implementación.

## 2.2. Situación actual.

La CNT EP nace de la fusión de empresas tradicionales que brindaban el servicio de telefonía fija únicamente, que operaban a nivel nacional y con poca o casi nula penetración en la ciudad de Cuenca, debido a su competidora ETAPA, razón por la cual no se había desplegado infraestructura a ritmo acelerado como en el resto del país.

El 30 de Julio de 2010 se oficializó ya la fusión de CNT con TELECSA (ALEGRO), para ofrecer servicios de telecomunicaciones convergentes en redes fijas y móviles en una sola empresa de carácter público (Gomezjurado, Núñez, Cordero, & Uyaguari, 2014).

En la actualidad, la CNT EP en la provincia del Azuay, específicamente en el cantón Cuenca, tiene desplegada infraestructura para la tecnología 3G y 4G, y de esta manera brindar Servicio Móvil Avanzado (SMA) a sus usuarios, en la Tabla 7, se puede observar el número de nodos actualmente operativos en el cantón Cuenca.

Tabla 7: Nodos red 3G y 4G/LTECNT

PROVINCIA	CANTÓN	nov-17	
		UMTS 1900	LTE AWS 1700
AZUAY	CUENCA	32	18

Fuente: ARCOTEL  
Elaborado por: Autor

Para la implementación de la red móvil como se mencionó anteriormente, estaba sujeto a la reutilización de infraestructura heredada de la red fija y de la que anteriormente existía para la red 2G de TELECSA.

Al contrario que en otras ciudades en donde CNT tiene presencia móvil con redes LTE, Cuenca no cuenta con una red dedicada a llevar tráfico móvil desde un nodo hasta el núcleo de la red, ya que actualmente los equipos para interconectar nodos de la red fija también sirven como punto de conexión para la red móvil, compartiendo desde el acceso hasta el núcleo los recursos, problemas como saturación o spanning tree.

En la interconexión desde el acceso inalámbrico hacia su EPC (*Evolved Packet Core*) para el caso de la red LTE (*Long Term Evolution*) y a la RNC (*Radio Network Cotroller*) para 3G, el Backhaul es netamente IP, que involucra problemas con la calidad de servicio, ya que al ser un protocolo de mejor esfuerzo, de cierto modo no garantiza total disponibilidad y está a merced de saturación a lo largo del camino o cambios en la red como enlaces no disponibles, lo cual implica calcular rutas alternas, que en una topología “plana” puede llevar hasta segundos indicar una ruta de respaldo, lo que no es tolerable sobre todo en comunicación en tiempo real o multimedia.

La arquitectura de red de CNT EP está basada en MPLS tanto para la red fija y móvil.

Se basa en el modelo de tres capas propuesta por CISCO (Bruno & Jordan, 2011) para un entorno empresarial, que consta de equipos robustos para el **núcleo**, quien se encarga de la conmutación de alta velocidad de etiquetas en el caso específico para MPLS. En la Figura 20 se puede observar un ejemplo de red MPLS con sus componentes principales, en donde consta el núcleo, la distribución y el enrutador de un cliente que envía datos mediante IP.

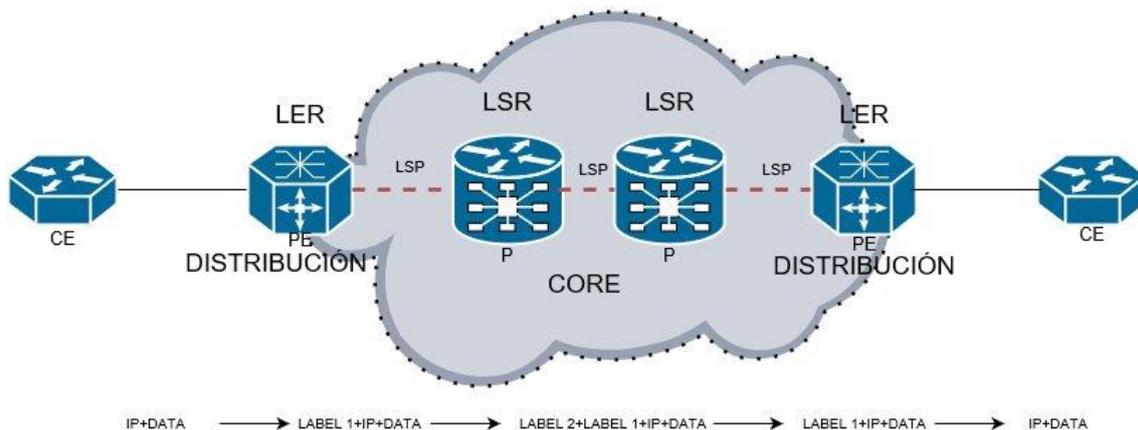


Figura 20: Diagrama básico de una red MPLS

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

Equipos con similares características que el núcleo para realizar la función de **distribución**, en donde se añaden o quitan etiquetas MPLS y sirve de frontera hacia el cliente, es decir, aquí es donde se conectan lógicamente cada cliente, más comúnmente los usuarios de la red fija, en muchos casos dentro de esta capa existen equipos que realizan la función de recolectar el tráfico antes de entregarlos a la distribución llamados pre agregación, que tiene funciones similares a la capa de distribución, pero con la limitación que los equipos no son de alta gama, lo que no permite tener varios tipos de clientes (por ejemplo: LTE, Bancos, Internet) en el mismo dispositivo debido a sus limitaciones de hardware, pero sin embargo esas prácticas se han venido implementando, ocasionando así que el procesamiento este sobre el 50%, en la Figura 21, se puede observar la gran cantidad de redes que todos los equipos deben aprender para poder signar un LSP y la memoria requerida para procesarlos.

```

IP routing table name is default (0x0)
IP routing table maximum-paths is 32
Route Source    Networks    Subnets    Replicates    Overhead    Memory (bytes)
static          0           0           0             0           0
connected       0           72          0             4320        12384
isis 1          2           2660        0             315180      457864
  Level 1: 17 Level 2: 2645 Inter-area: 0
eigrp 20        0           0           0             0           0
bgp 28006       0           92          0             5520        15824
External: 0 Internal: 92 Local: 0

```

Figura 21: Cantidad de rutas actuales en la red

Fuente: CNT EP

Elaborado por: Autor

La capa de **acceso** o red de acceso, que son equipos que trabajan únicamente en Capa 2 del modelo referencial OSI y son para extender LAN y ampliar el número de puertos disponibles en los equipos de distribución (CISCO, 2014).

Todos los dispositivos de enrutamiento tienen un conocimiento global de su topología, lo que dificulta introducir equipos básicos para el cumplimiento de funciones específicas en la red.

En la Figura 22, que ejemplifica claramente cómo cada equipo debe conocer en su totalidad la red para llegar a equipos como el MME (*Mobility Management Entity*) y el SGW (*Serving Gateway*) para LTE y atravesar toda la red móvil para conectar a la RNC en el caso de 3G, para compartir rutas que permita alcanzar cada servicio, debe tener una conexión hacia los equipos que tienen una visión completa de las tablas de enrutamiento (parte de servicio) en la red MPLS desplegada llamadas reflectores de ruta (RR), que actualmente comparte rutas de una manera segura y controlada con las redes de internet, datos de cada cliente que como ISP (Proveedor de Servicios de Internet) tiene.

Para el presente trabajo se ha realizado un levantamiento de la topología inicial, como se indica en la Figura 22, constituye la línea base para el presente trabajo, en donde se expone a nivel lógico como está estructurada la red MPLS actualmente, sin tomar en cuenta la transmisión que une a cada equipo debido a que no se encuentra dentro del alcance, sólo es necesario conocer la capacidad de cada enlace para el dimensionamiento posterior del QoS (calidad de Servicio).

Debido a las exigencias de MPLS para redistribuir etiquetas, emplea un protocolo de enrutamiento interno (IGP) de estado de enlace actualmente sin distinguir niveles o áreas, más bien todo se interconecta como si los equipos se enlazaran con el *backbone* de la red directamente, lo que origina que una actualización en la Tabla de enrutamiento haga que fluya un paquete de actualización en toda la red MPLS de CNT, ocasionando que los enrutadores de menor envergadura ocupen su procesamiento en recalcular rutas y asignar nuevas etiquetas para los paquetes que cruzan a través de la red.

Para redistribuir las Tablas de enrutamiento de cada cliente (L3VPN o VRF) se utiliza iBGP, debido a varias sesiones que tienen que levantar los equipos entre sus pares para formar una red "*full mesh*" se emplean "RR" quienes se encargan de redistribuir las rutas para alcanzar los destinos de los clientes; al tener una ruta como no alcanzable debe esperar un tiempo hasta calcular nuevamente un camino, todo esto unido genera

retardo, nuevamente ocasionando problemas en la normal entrega de paquetes con la menor latencia posible.

La interconexión de un *eNodeB* o *NodeB* hacia el equipo de la red MPLS más cercano es a través de una sola conexión y sólo en Capa 2 (VLANs) lo que no permite tener un alto nivel de redundancia, ya que, si el enlace actual presenta problemas, el tráfico no tiene una alternativa para realizar un desborde y genera indisponibilidad.



Debido a las limitaciones en la topología mostrada en la Figura 22, como causa principal el compartir la infraestructura con clientes de la red fija, tanto residenciales como corporativos han afectado considerablemente los parámetros, ha generado que no se cumpla las metas en los indicadores, al mezclar tráfico en todas sus capas o niveles, de esta manera se puede perder clientes al percibir que el rendimiento no es el esperado, el dato obtenido de tales mediciones se puede visualizar en los siguientes gráficos, se han extraído los parámetros más críticos debido a la incidencia directa en el establecimiento de llamadas, navegación web o interacción en tiempo real con otros usuarios, como son:

- Retardo, que es el tiempo que demora de un paquete entre su origen y destino al atravesar toda la red.
- Jitter, es la variación del retardo.
- Paquetes perdidos, son los paquetes que se envían desde un destino, pero no pudieron llegar al receptor o no pudieron ser reensamblados para su entrega.

Mediante los KPI (indicadores clave de rendimiento) obtenidos a partir del software propietario de cada fabricante de equipos tanto para la red 3G y 4G, de estos resultados se puede analizar los inconvenientes en la red, los mismos que son analizados desde cada nodo hasta la RNC en el caso de 3G y hasta el EPC o el servidor de gestión en el caso de 4G, de los cuales se han determinado lo siguiente:

La Figura 23 muestra el comportamiento del **Retardo en la red 4G**, el objetivo lograr un tiempo menor a 15 ms, según los parámetros de CNT que se basan en el estándar de 3GPP.

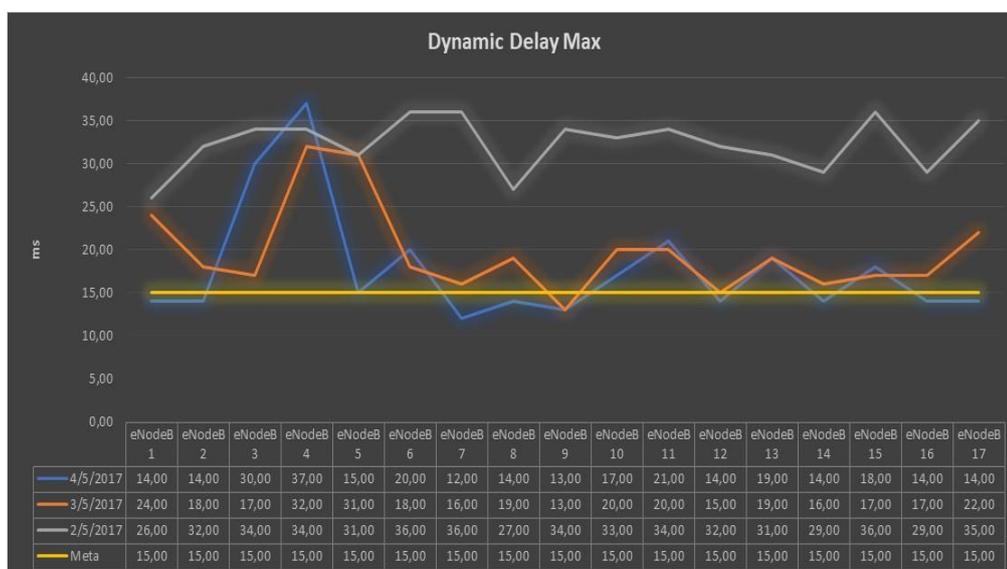


Figura 23: Retardo de paquetes

Fuente: CNT EP

Elaborado por: Autor

El **Jitter** se muestra en la Figura 24, para una red LTE debe ser menor a 1 ms, se puede observar su comportamiento actual, en una red que maneja no solamente tráfico de la red móvil, en las comunicaciones sobre todo en la Voz sobre IP son muy sensibles a este parámetro ya que puede ocasionar que los paquetes no lleguen en el orden enviado, y al no ser TCP, no permiten reensamblarse mediante una comprobación de orden producen una distorsión al entregar el mensaje.

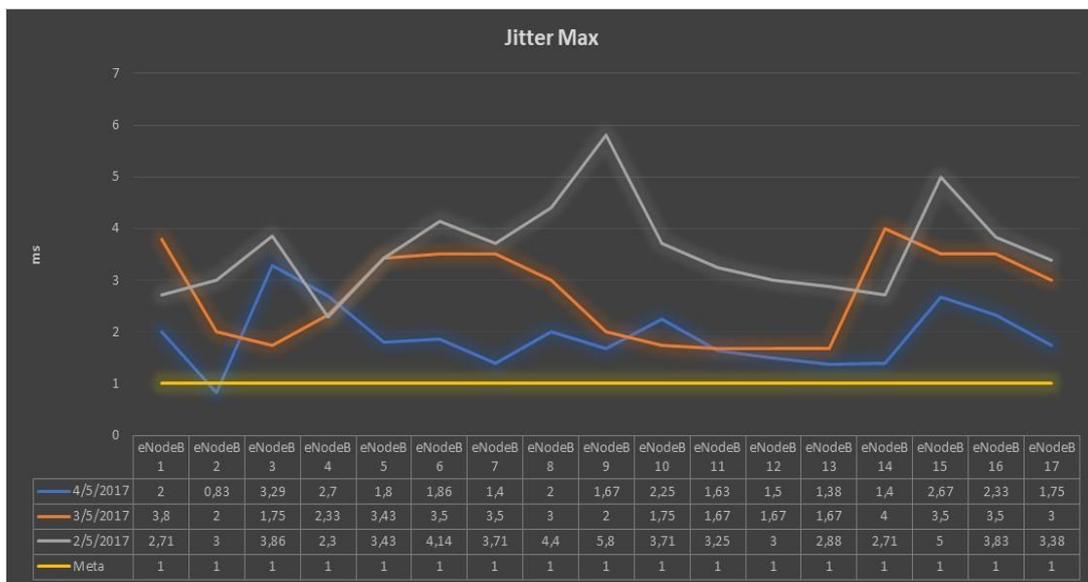


Figura 24: Variación de paquetes en la red  
 Fuente: CNT EP  
 Elaborado por: Autor

**Los paquetes perdidos** se observan en la Figura 25, al ser un parámetro crítico, que influye directamente en el establecimiento de llamadas, distorsión en la voz, la CNT EP tiene como objetivo que este indicador este por debajo del 0,1% de pérdidas, se observa también que el 4 de mayo de 2017 existió un evento en la red que maximizó las perdidas, esto se presenta al no tener un adecuado manejo de prioridades de paquetes.

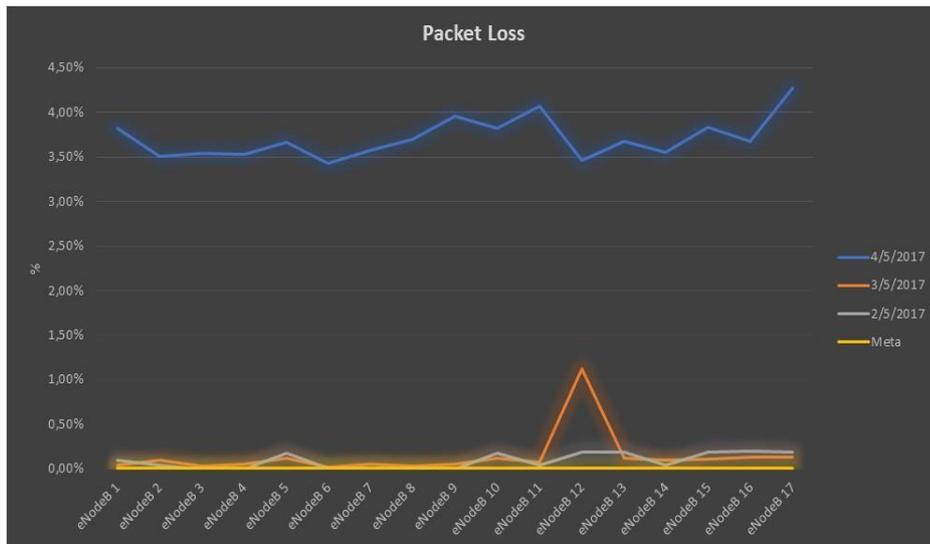


Figura 25: Pérdida de paquetes  
Fuente: CNT confidencia  
Elaborado por: Autor

### 2.3. Metodología de Diseño.

En el presente trabajo se incluirá el ciclo de vida de red, propuesto por CISCO(Bruno & Jordan, 2011), como se puede ver en la Figura 26, solamente hasta la parte de diseño y para la implementación se tendrá una línea base de la configuración, que será simulada para verificar la viabilidad y funcionamiento del diseño propuesto

#### 2.3.1. Preparación.

En esta fase (Bruno & Jordan, 2011) se obtienen los requerimientos del negocio, desarrollar una estrategia de red y las tecnologías que pueden soportar las arquitecturas a diseñar.

#### 2.3.2. Planeación.

Una vez definida la estrategia y con una fundamentación tanto en lo económico y lo técnico, se identifica los requerimientos que la red debe tener, los usuarios y sus necesidades y la determinación de objetivos que esto conlleva.

También en esta fase se determina las tareas y los responsables, de la misma manera los hitos y recursos necesarios, para la consecución del proyecto, se evalúa costos y se verifica la viabilidad de este.

Dentro del modelo de diseño de preparación, planeación, diseño, implementación operación y optimización más conocido por sus siglas como PPDIOO esta fase se puede seguir

actualizando debido a que en cualquier parte del proyecto puede surgir nuevas necesidades o cambiar la tecnología mientras se implementa.

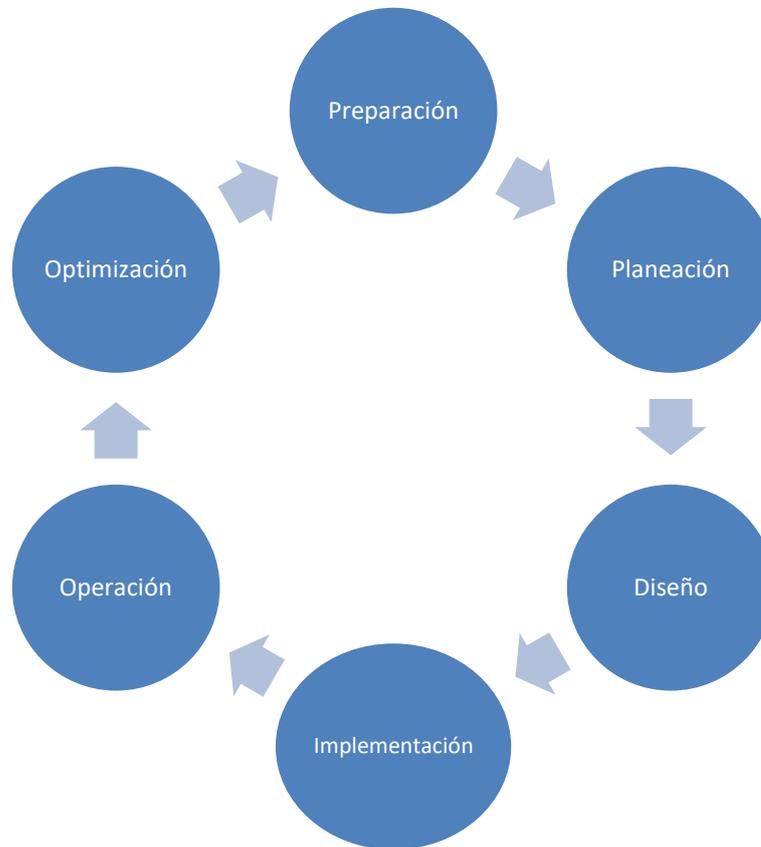


Figura 26: Ciclo de vida de red CISCO PPDIIO  
Fuente: CCDA 640-864, Oficial Cert Guide  
Elaborado por: Autor

### 2.3.3. Diseño.

Se lo realizará en base a las necesidades y requerimientos de la nueva red, levantados a partir de las nuevas tecnologías y mejores recomendaciones de los distintos fabricantes, verificando la escalabilidad, resiliencia, seguridad y rendimiento, capaz de adaptarse a cambios de manera ágil y rápido.

Se realizará un diseño de alto nivel (HLD por sus siglas en inglés) que implica la solución a nivel global, como la conexión entre el nodo y la red diseñada y un diseño de bajo nivel (LLD por sus siglas en inglés) en donde consta el direccionamiento lógico, protocolos a manejar y detalles para su correcto funcionamiento.

## 2.4. Diseño de la topología de la red.

Dentro de la metodología PPDIOO, en la parte del diseño se cuenta con dos modelos para diseñar la topología de la red, los dos son verticales y se diferencia que el uno empieza desde arriba (general) hasta abajo (particular) como diseño de Calidad de servicio, como se puede apreciar en la Figura 27.

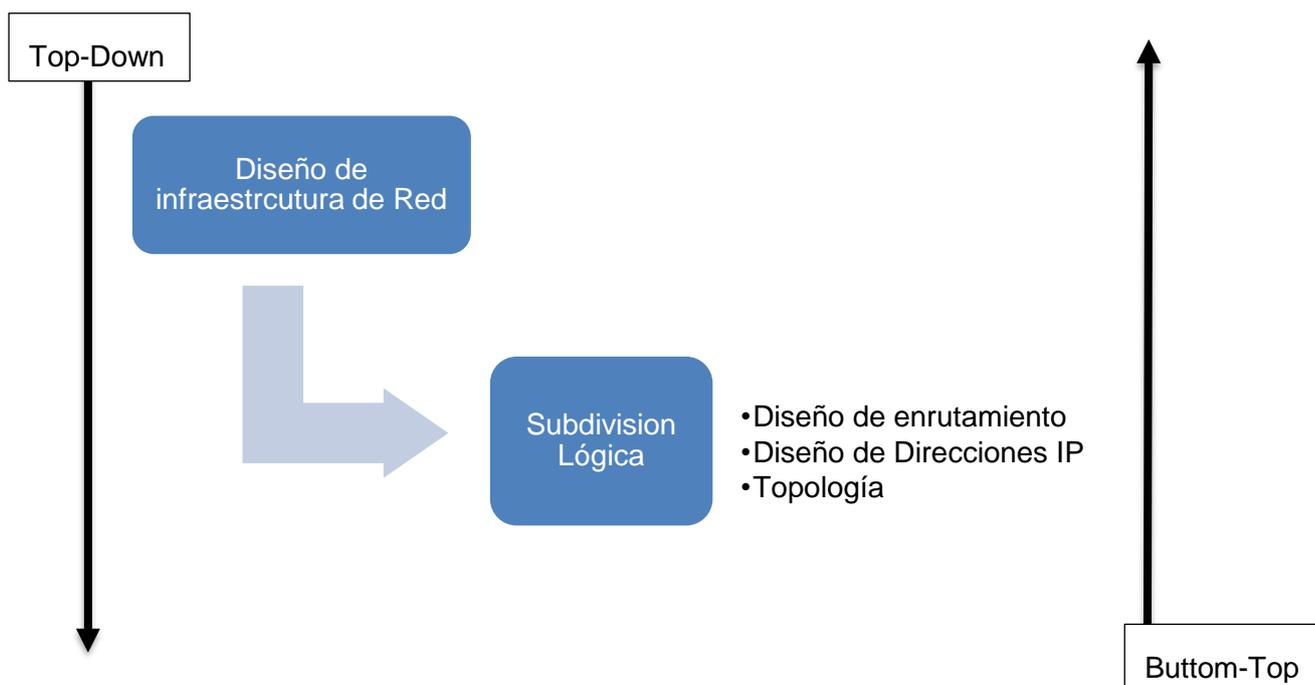


Figura 27: Proceso de diseño  
Fuente: CCDA 640-864, Oficial Cert Guide  
Elaborado por: Autor

### 2.4.1. Enfoque de Arriba hacia abajo.

Este enfoque se basa principalmente en empezar desde la capa superior del modelo OSI, en nuestro caso desde la capa de red hasta llegar a la capa física, adaptando la infraestructura de red según las necesidades levantadas en la planeación y diseño de la metodología PPDIOO.

Los pasos del enfoque son según (Bruno & Jordan, 2011)

- Análisis de requerimientos
- Diseño en base al modelo OSI
  - o Capa de red, capa de enlace de datos, y capa física
- Obtener datos adicionales sobre la red

El enfoque reúne las necesidades actuales y futuras de la organización.

#### **2.4.2. Enfoque de abajo hacia arriba.**

Este enfoque está basado más en la experticia que tenga el personal que cumple con la misión del diseño y se la utiliza para permitir la implementación rápida de la solución, el modo de diseño es todo lo contrario al enfoque de arriba hacia abajo.

Debido a que es necesario recoger todos los requerimientos de la red tanto del proveedor como de los clientes que este disponga se utilizará el diseño de enfoque desde arriba.

#### **2.5. Simulación.**

Para la verificación de la funcionalidad del diseño se procederá a realizar la simulación, en la misma se utilizará software que permita emular un escenario real, pero de manera controlada, permitiendo validar el diseño de bajo nivel, ajustar configuraciones, todo esto de manera controlada, en un ambiente de pruebas, para luego su implementación de ser el caso y tener una línea base de configuración lo cual permite realizar scripts para reproducir la configuración en los demás dispositivos sólo cambiando como por ejemplo direcciones IP y descripciones de las interfaces.

Para esta validación existen dos simuladores reconocidos ampliamente en el mercado, y su uso depende del tipo de requerimientos a validar, los mismos que se revisarán a continuación:

##### **2.5.1. Simulador CISCO Packet Tracer.**

La hoja de datos del Simulador, lo describe como (Cisco Sytem Inc., s/f) un entorno de aprendizaje basado en la simulación apto para redes, para personas que recién ingresan en el mundo de las redes diseñen, configuren y solucionen problemas networking a un nivel de complejidad CCNA, y fue creado para suplir la necesidad de la enseñanza directa sobre equipos.

En la Figura 28, se puede apreciar el espacio de trabajo del programa en su versión 7.1, en esta versión también se puede encontrar una topología lógica y la física o de cómo va colocando el equipamiento dentro del datacenter o rack.

La simulación que puede realizar es solamente para el sistema operativo propietario de CISCO como es el Internetwork Operating System IOS, existen dispositivos como enrutadores y conmutadores en donde corren protocolos comunes o utilizados en redes a nivel empresarial, mas no a nivel de proveedor de servicios como por ejemplo protocolo MPLS o de enrutamiento ISIS.

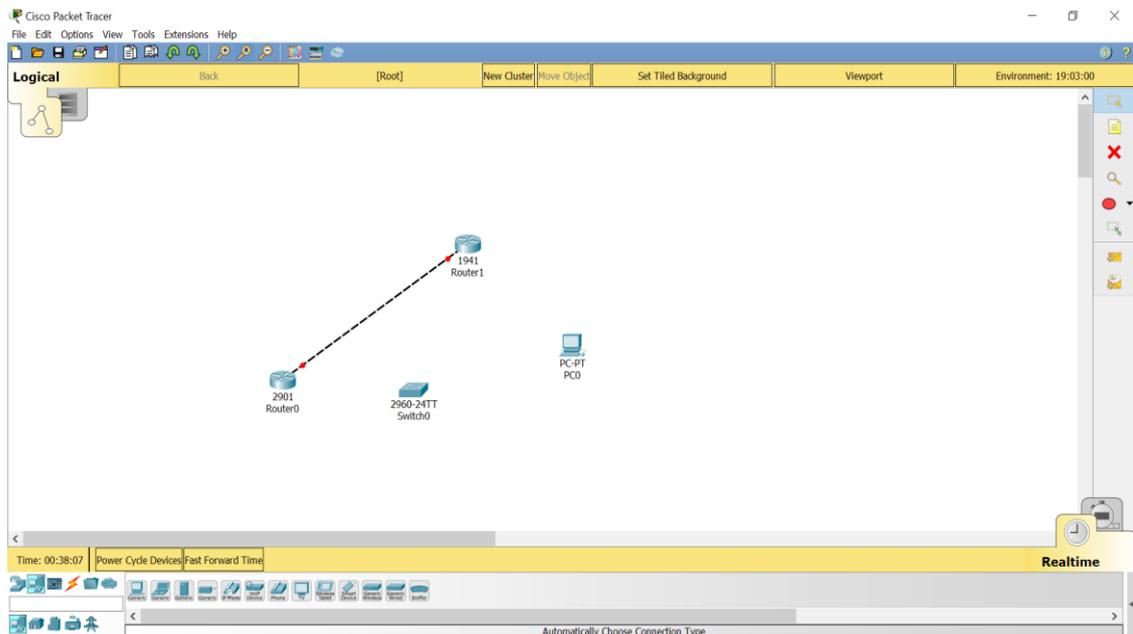


Figura 28: Espacio de trabajo de Cisco packet tracer

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

### 2.5.2. Simulador GNS3.

Es un simulador más avanzado que el descrito anteriormente, en el que incluso sirve para preparar exámenes de certificación de muchos fabricantes, ya que permite simular y emular ambientes reales, tanto para entornos empresariales cuanto para proveedores de servicios, en el cual se puede probar configuraciones, validarlas, montar un laboratorio en donde permita realizar resolución de problemas en ambientes controlados y probar nuevas topologías antes de ponerlas en producción.

En GNS 3 la simulación (GNS3, s/f) corresponde a manipular dispositivos que no tienen ningún sistema operativo pero pueden manejar por ejemplo VLAN y reenvío de información, en cambio la emulación corresponde a que un hardware preconfigurado, se pueda colocar una imagen del sistema operativo y según la licencia de este se pueda configurar con las funcionalidades, de tal manera que esa configuración una vez probada, se la pueda copiar en un dispositivo real.

En su nueva versión tiene una arquitectura para servidor y otro todo en uno, de la misma manera permite vincular con máquinas virtuales en donde se podría cargar kernel de los sistemas operativos que se basan en este como es el caso de CISCO IOS XR o Juniper con su sistema operativo JUNOS.

### 2.5.3. Selección del simulador.

En la Tabla 8, se realiza una comparación de los protocolos soportados entre los simuladores comúnmente conocidos como son el GNS3 y Packet Tracer de CISCO.

Las características seleccionadas para el análisis y selección del simulador están basadas para el proyecto a desarrollar y son:

- Calidad de servicio, para marcado y etiquetado según el levantamiento de requerimientos que necesiten para priorizar el tráfico en todas las capas.
- Protocolos de enrutamiento, para dar conectividad entre dispositivos y servicios.
- Protocolo MPLS, manejar etiquetas desde el núcleo de la red hasta el acceso. Redistribución de las mismas a través de BGP LU.
- L3VPN/VRF debido a que se va a interactuar directamente con estos protocolos en la configuración del backhaul móvil, constituyendo la base principal para la demostración de lo implementado.
- VLAN, para asignar por servicio para conexión hacia el *NodeB* o *eNodeB*

Tabla 8: Características básicas para implementar el backhaul

Característica	CISCO PACKET TRACER	GNS3
QoS	NO	SI
BGP	SI (Limitado)	SI
ISIS	NO	SI
OSPF	SI	SI
MPLS	NO	SI
VLAN	SI	SI
VRF	SI (Sólo VRF lite)	SI

Fuente GNS3

Elaborado por: Autor

Por lo indicado y las características adicionales como integración de múltiples sistemas operativos a través de máquinas virtuales, soporte para varias marcas que permite el simulador GNS3, es el que se utilizará para validar la propuesta de diseño y sus

funcionalidades, en la Figura 29 en donde se puede verificar todas las funcionalidades del programa.

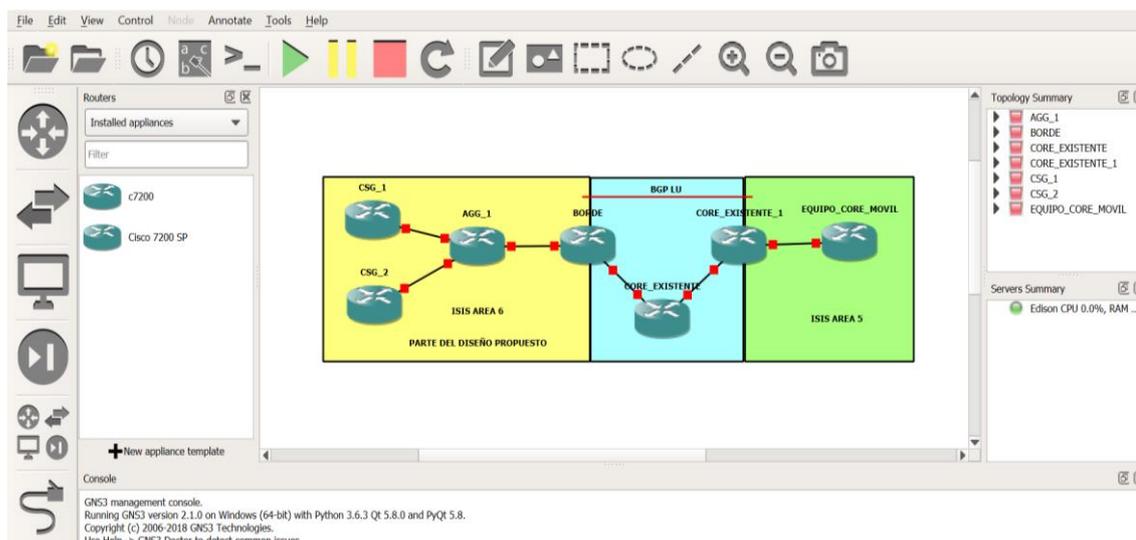


Figura 29: Espacio de trabajo GNS3

Fuente: GNS3

Elaborado por: Autor

El escenario para la simulación consta de la parte actual de la red, en donde se tiene el equipo de núcleo, ya en producción, y la ampliación de la nueva red diseñada, donde el equipo de borde se conectará hacia los equipos de núcleo existentes.

Al equipo de borde se interconectará un equipo de agregación y estos a su vez permitirán la conexión de equipos de acceso llamados enrutadores de celda.

Al ser un diseño jerárquico y nuestro alcance está en la red para Cuenca, se simulará sólo con estos equipos, ya que la configuración para el resto de los elementos de la red es uniforme según la función o rol que desempeñen y sólo variará el direccionamiento IP y el CLNS.

#### 2.5.4. Simulación de calidad de servicio.

Para simular el comportamiento de los paquetes al atravesar una la red desplegada emulando el marcado o etiquetado de prioridades, es necesario realizar una simulación especial, la más de la realizada en GNS3, que permite simular exclusivamente el enrutamiento con distribuciones de rutas, MPLS y validación de configuraciones para obtener una plantilla para implementar nuevos nodos. Razón por la cual, adicional a GNS3, se utilizará el simulador Riverbed Modeler en su edición académica.

En esta simulación se analiza el impacto del comportamiento del tráfico en una red que esta configurada correctamente la calidad de servicio contra la red actual y permite probar de extremo a extremo los diseños antes de poner en producción.

En la Figura 30 se puede observar el espacio de trabajo en el cual se realizará las simulaciones de QoS, este escenario se basa en dos tipos de aplicaciones, una sensible al retardo como Voz sobre IP (VoIP) y la otra que ocupa todo el ancho de banda disponible como es el protocolo de transferencia de archivos, en la topología que va desde el la aplicación al enrutador de celda pasando por un enlace de baja capacidad (2Mbps), hasta el núcleo para entregar a un servidor de la aplicación, siendo sólo estos los elementos necesarios para poder ver el comportamiento de los paquetes aplicando QoS en una red que se encuentra saturada debido a la poca capacidad del enlace.

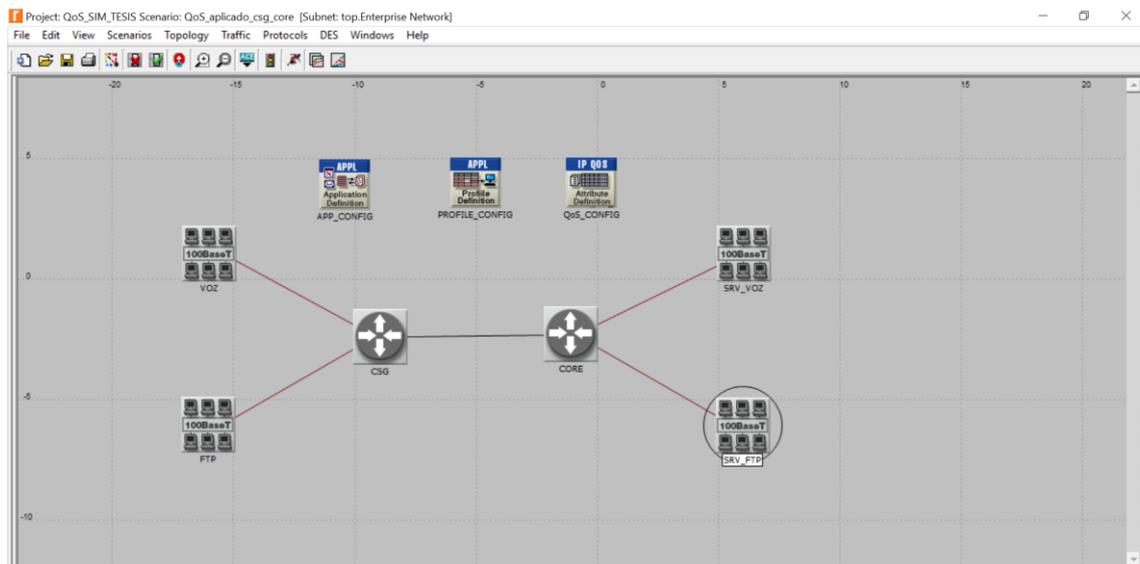


Figura 30: Espacio de trabajo de riverbed

Fuente: Riverbed Modeler

Elaborado por: Autor

**CAPITULO III.**  
**DISEÑO DE LA PROPUESTA**

### **3.1. Introducción.**

Debido a lo expuesto en el primer capítulo, es necesario mejorar las prestaciones de servicio en la red móvil de la CNT, esto garantizará mantener y ganar nuevos usuarios debido a que en el diseño se estandarizará la red para seguir aumentando nodos de forma más ágil, rápida y sin incurrir en mayores cambios, proporcionando altas prestaciones en capacidad, desempeño y disponibilidad; para esto se implementará una red de retorno conocida mayormente como *Mobil Backhaul* (MBH), quien se encargará de realizar el transporte de los servicios de telefonía móvil de extremo a extremo.

El diseño se realizará en un enfoque de arriba hacia abajo, especificando primero el diseño de alto nivel, para luego a detalle realizar el diseño de bajo nivel, se tomará en cuenta el diseño jerárquico de 3 capas de cisco para redes empresariales, pero con variantes, ya que, en una red de proveedor de servicios, es necesario tomar en cuenta nuevos conceptos como mantener el protocolo MPLS hasta el acceso de este.

### **3.2. Diseño de alto nivel.**

En el diseño de alto nivel, se exponen los protocolos a ser utilizados, la topología, el sincronismo, la calidad de servicio con sus clases para marcado, las MPLS VPN.

#### **3.2.1. Capa 3.**

Esta capa, es fundamental para la comunicación entre equipos que no pertenecen al mismo dominio de broadcast, será diseñada de manera que el direccionamiento IP, al igual que la topología, tenga una estructura jerárquica, que se pueda identificar por su dirección de *loopback* si el equipo pertenece al borde, agregación o enrutador de celda. En cuanto al enrutamiento, se utilizará el protocolo de estado de enlace IS-IS, debido a las prestaciones indicadas en el Capítulo 1 en la sección 1.6.1, con esto se puede implementar todas las funcionalidades de MPLS para levantar sesiones LDP y RSVP para ingeniería de tráfico.

En la parte de servicio para los nodos, se ha definido utilizar MPLS/L3VPN en vez de L2VPN, debido a:

- En 3G: es necesario generar un túnel desde el acceso hasta el equipo de Núcleo en donde se conecta la RNC, de la forma VPLS, lo cual generaría varias conexiones según el número de equipos de acceso se tenga, generando un dominio de difusión muy grande, lo que conlleva a problemas de broadcast, el aprendizaje de direcciones MAC entre todos los equipos.

- En LTE: Se tiene dos interfaces X2 y S1, para lo cual se debería establecer túneles entre el Acceso y la Agregación para generar un clúster y tengan comunicación en capa 2 entre los nodos recién en la agregación tiene un nivel de enrutamiento para llevarlo al EPC, en conjunto con los problemas ya descritos en los servicios L2VPN no la hacen una solución óptima para ser implementada en una red.

### **3.2.2. Capa 2 y Capa 1.**

En capa 2 del modelo referencial OSI, para la interconexión entre los nodos y el equipo del acceso se segmentará dominios de broadcast mediante *VLAN*'s, para servicios tales como OAM, 3G y 4G, en cuanto a la capa física se utilizará enlaces de fibra óptica y enlaces de cobre, para la interconexión de equipos del backhaul y hacia cada *eNodeB*.

### **3.3. SEAMLESS MPLS.**

SEAMLESS MPLS o Unified MPLS en CISCO, para redes móviles permite crear una infraestructura de backhaul móvil escalable, flexible y con resiliencia capaz de adaptarse a cualquier cambio en cuestión de milisegundos y es capaz de adaptarse a tecnologías heredados como 2G mediante L2VPN simulando un circuito virtual hacia su *CORE* y en 3G ya sea mediante L2VPN o L3VPN según el diseño con el que se haya desplegado anteriormente la red y LTE con una sola infraestructura que converge de extremo a extremo, MPLS hasta el acceso.

En un diseño de red normal es decir plana con un sólo dominio de enrutamiento es muy difícil tener ejecutándose el protocolo MPLS hasta el acceso, debido a que los equipos que se requieren en esta capa deberían tener las características de un equipo de núcleo de la red para soportar todos los prefijos de la red a ser enrutados para formar un LSP, los equipos en esta nueva topología comprenden equipos de acceso, pre-agregación, agregación y borde, este último tiene la funcionalidad de un PE.

Admite características esenciales como la sincronización de red (capa física y paquetes), HQoS, OAM, gestión del rendimiento y convergencia rápida. Está optimizado para satisfacer requisitos 4G/LTE avanzados como IPSec y autenticación, comunicación entre *eNodeB* directa a través de la interfaz X2, multidifusión para transporte de video optimizado.

En referencia al diseño a implementar se basará en anillos jerárquicos, es decir equipos con un nivel y rol específico dentro de la red, formando enlaces redundantes para brindar mayor disponibilidad, junto al modelo de tres capas que propone Cisco en su modelo empresarial, que se adaptará para una red de proveedor de servicios.

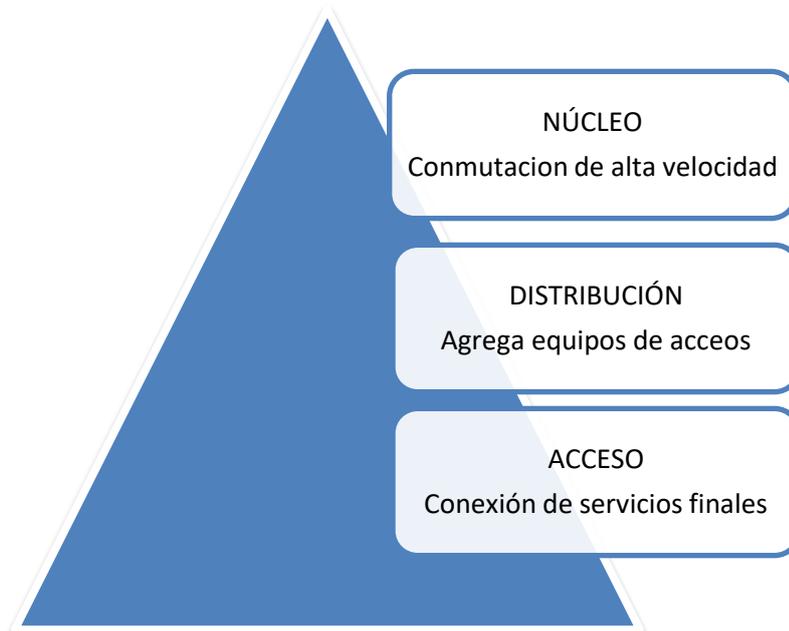


Figura 31: Modelo tradicional de 3 capas de CISCO  
Fuente: Cisco System  
Elaborado por: Autor

### 3.3.1. Núcleo de la red.

Describiendo desde la parte superior, es la primera capa, exclusiva del proveedor de servicios, se interconecta sólo con equipos de su misma clase y con equipos de la capa inferior de manera que ningún servicio es configurado en este, reservando sus capacidades exclusivamente para el transporte y conmutación de etiquetas MPLS a alta velocidad.

### 3.3.2. Distribución de la red.

Se encuentra en la capa intermedia del modelo, tradicionalmente es donde se configuran los servicios para los clientes como VRF e IP para dar conectividad a los clientes, al hablar en términos de MPLS es un Equipo PE, realiza las funciones de colocar y quitar etiquetas, agrega uno a varios equipos de acceso.

### 3.3.3. Acceso de la red.

Anteriormente las redes eran una extensión del metro-ethernet, su idea principal fue extender la cobertura de geográfica de un equipo de distribución y ampliar puertos, el transporte se basa únicamente en Capa 2, que estaba compuesta por equipos llamados conmutadores, esta capa conecta directamente a sus puertos los clientes finales, extendiendo el dominio de broadcast a través de todos los equipos que están conectados directamente, esto hace menos

eficiente la red, ya que si existen tormentas de broadcast se extienden por todos los puertos, generando así un bajo rendimiento.

Para tener redundancia en los enlaces que interconectan los equipos es necesario realizar bucles, que en caso de que no se encuentre configurado correctamente *spanning tree*, se llenaría de tráfico de actualización de *mac address*, descartado el tráfico verdadero, lo que no ocurre cuando se tiene un enlace en capa 3.

Es por esto por lo que los operadores prefieren tener MPLS hasta el acceso, ya que tiene la capacidad de anteponer etiquetas al paquete para realizar una conmutación basada en capa 2 pero con la inteligencia de capa 3.

#### **3.3.4. Adaptación del modelo de tres capas de CISCO.**

La solución del modelo de tres capas sin ninguna modificación no es garantía de mejorar las prestaciones en la red a implementar, es por esto por lo que se han realizado mejoras en el diseño y se ha propuesto llegar con MPLS hasta el acceso, reemplazando los conmutadores, que sólo realizaban un transporte sin mayor decisión en cuanto a saturación y redundancia, por enrutadores que manejen también el protocolo MPLS.

Dentro de la solución propuesta, este modelo de tres capas se ha aislado tanto el dominio IGP de ISIS como la distribución de etiquetas, esto para optimizar recursos en procesamiento ya que instala rutas y etiquetas necesarias, no necesita conocer todos los prefijos de la red, como sucedía antes debido a la topología plana y sin jerarquía, mejorar tiempos debido a que MPLS mejora la capacidad de transporte mediante la conmutación de etiquetas.

En la Figura 32 se observa la implementación del modelo de 3 capas a la red de backhaul, con MPLS hasta el acceso, reemplazando conmutadores por enrutadores, en donde asumen un nuevo nombre según el rol que desempeñan.

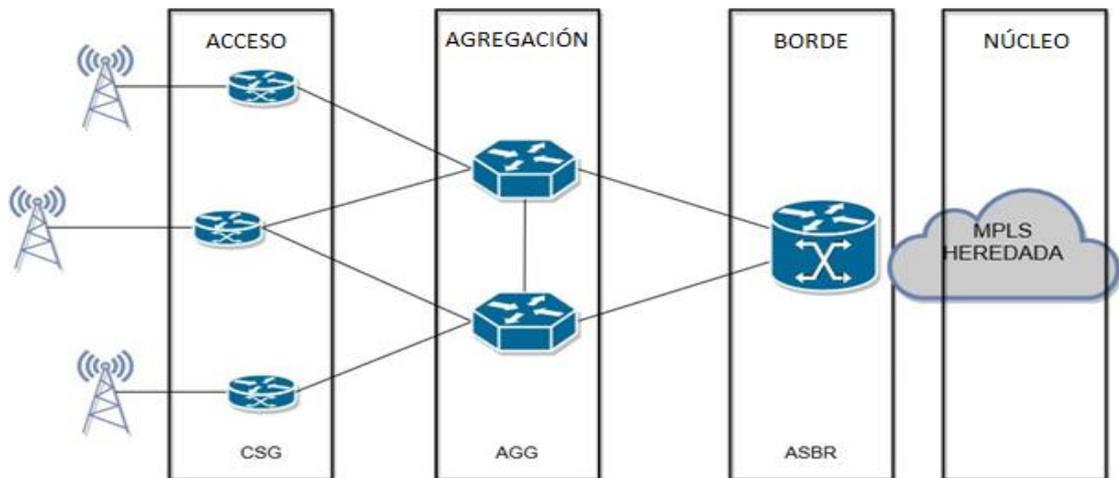


Figura 32: Modelo 3 capas CISCO y su equivalencia en el MBH

Fuente: CNT EP

Elaborado por: Autor

Dentro del diseño del *Mobil Backhaul* tiene su correspondencia en los equipos pasando a denominarse:

#### **3.3.4.1. Enrutador de Celda o Cell Site Gateway (CSG).**

Se encuentra en el acceso, es donde se conecta directamente tanto el *nodeB* como el *eNodeB*, estos equipos debido al diseño propuesto, necesita pocos recursos,

#### **3.3.4.2. Enrutador de Agregación o Agragation Site Gateway (ASG).**

Concentra equipos CSG, está ubicado en la parte de la distribución, actúa como Route Reflector tanto como cliente para el acceso y como cliente del equipo de borde.

#### **3.3.4.3. Enrutador de Borde.**

Jerárquicamente corresponde a una parte del núcleo de la red, tiene conexión directa con los equipos P de la red existente, así como también a otros equipos de las mismas características en la red y para la parte inferior, se interconecta hacia la capa de agregación, dentro del protocolo de enrutamiento de estado de enlace, el equipo cumple la función de ASBR, siendo frontera entre el área de enrutamiento de la red existente con la nueva red que maneja un área distinta de enrutamiento a la actual.

#### **3.3.5. Regiones en Seamless MPLS.**

Dentro del diseño *seamless*, las regiones constituyen una parte fundamental, debido a que la segmentación de la red solventa problemas relacionadas con las redes planas como problemas en rápida convergencia, escalabilidad y resiliencia.

Una región en SEAMLESS MPLS comprende una agrupación de equipos o dispositivos que comparten una misma área dentro del IGP, en nuestro caso un área común en el protocolo de enrutamiento IS-IS, todo esto con el objeto de reducir el número de entradas tanto en las Tablas de enrutamiento, al reducir el número de prefijos aprendidos desde enrutadores fuera del dominio de enrutamiento.

Al incrementar nuevos equipos, como los CSG es necesario sólo tener direccionamiento IP correspondiente, su dirección NSAP para el protocolo de enrutamiento, lo que facilita la escalabilidad y facilidad para el crecimiento de la red.

En caso de resolución de problemas, se facilita de forma sustancial, esto pues se aíslan los problemas por capas y no son difundidas a toda la red como generalmente pasa en las redes planas; de la misma manera reduce los requerimientos de hardware en los equipos sobre todo en los accesos, permitiendo de esta manera tener equipos dentro de nuestra red que lleven el protocolo MPLS hasta el acceso de la red.

Existe en la actualidad un alcance para redistribuir etiquetas MPLS a través de regiones, tradicionalmente MPLS necesitaba conocer toda la red, pero a partir de la implementación de BGP-LU descrito en el RFC 3107, permite distribuir etiquetas a través de BGP

#### ***3.3.5.1. Conectividad Intra Región.***

Para la conectividad entre equipos del backhaul de la misma región se utilizará el IGP IS-IS, cada equipo dentro de un nivel L1 para la agregación y acceso y L2 para el equipo borde, controlando la distribución de rutas con listas de acceso de esta forma prevenir que se llene la tabla con rutas de otras regiones y MPLS en combinación con LDP y RSVP para señalización entre enlaces adyacentes.

#### ***3.3.5.2. Conectividad Inter Región.***

Para interconectar distintas regiones es necesario habilitar el protocolo BGP-LU, debido a que toda la comunicación entre equipos de CNT será mediante MPLS, y al estar aisladas por regiones no tiene en su Tabla FIB las etiquetas atadas a las IPs, por lo que estas se distribuirán mediante BGP, se habilitará RR para aislar más la red, mediante iBGP se levantará sesiones en donde va de la siguiente manera:

- El equipo de borde será cliente del Route reflector de la red móvil general.
- Se habilitará el Route reflector en el equipo de borde para tener como cliente a los equipos de agregación.

- Se habilitará el Route reflector en la capa de agregación para tener como cliente al equipo de acceso.

De esta forma se distribuirán etiquetas por toda la red sin tener instaladas en su tabla de enrutamiento todos los prefijos.

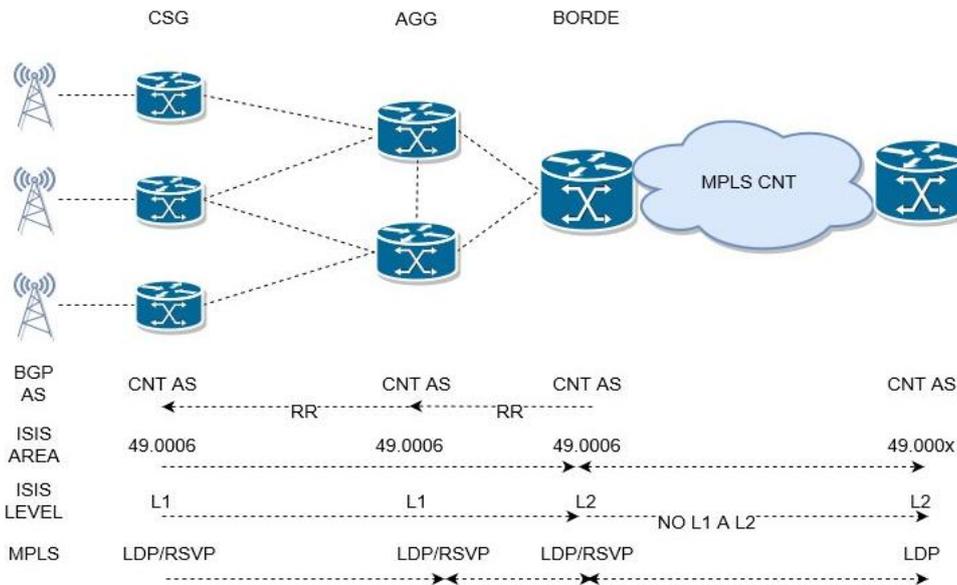


Figura 33: Protocolos a utilizar  
Fuente: Juniper Mobile backhaul  
Elaborado por: Autor

En la Figura 33 se puede ver de manera gráfica los protocolos a utilizar y hasta donde avanzan según el rol del equipo.

### 3.3.6. Sincronismo.

Al ser una red basada en FDD, se utilizará el estándar IEEE 1588v2, esto es fundamental para realizar el sincronismo en la red sobre todo en los *eNodeB* y las funcionalidades como *handover* tan utilizadas en redes de cuarta generación, para su distribución en la red se basará en PTP, con una implementación redundante, según los servidores PTP que se dispongan en la red, los equipos tendrán la siguiente jerarquía:

- El equipo de borde es cliente del PTP máster de CNT y Servidor para la capa de agregación
- El equipo de agregación es cliente para la capa de borde y servidor para los enrutadores de celda
- Los equipos CSG son clientes los equipos de agregación

Todos los equipos en el presente diseño tienen una jerarquía y es independiente del protocolo de enrutamiento y señalización MPLS

En la Figura 34 se observa cómo se prevé el diseño de la red de sincronismo para la CNT EP en el móvil backhaul

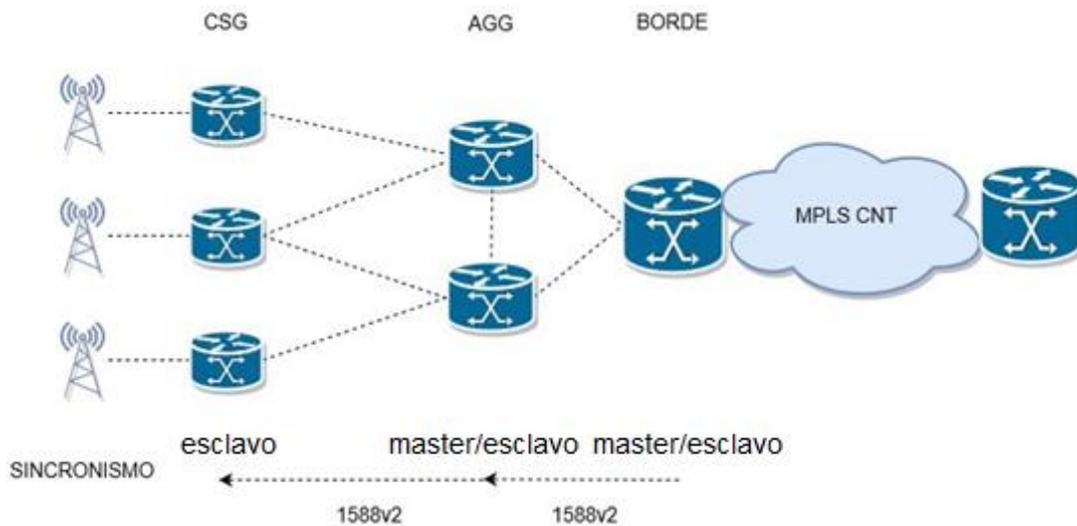


Figura 34: Diseño sincronismo MBH  
 Fuente: Juniper MBH  
 Elaborado por: Autor

### 3.3.7. Calidad de servicio.

Para la entrega garantizada de tráfico y que el usuario tenga una buena percepción de la red, se tomará en cuenta lo indicado en el 3GPP, para clasificar y dar prioridad cada paquete generado, de acuerdo con la Tabla 9

Tabla 9: QoS Clases de servicio LTE 3GPP

Identificadores de clase	Prioridad
QCI 1	2
QCI 2	4
QCI 3	3
QCI 4	5
QCI 5	1
QCI 6	6
QCI 7	7
QCI 8	8

Fuente: 3GPP  
 Elaborado por: Autor

En cambio, en la Tabla 10, corresponde al mapeo de servicios con las distintas clases y sus equivalencias tanto para reenvío expedito y el aseguramiento de ancho de banda, para ser implementado en el backhaul.

Tabla 10: QoS para MBH

Clase de reenvío	Code Points							Servicio
	PLP	802.1p	DSCP	EXP (para MPLS)	Prioridad	Cola	Ancho de banda de reserva	
Control de red	Bajo	7	CS7	7	Alta	3	5%	Sincronismo, BGP, IGP
Tiempo real	Bajo	5	EF	5	Alta	2	30%	Llamadas de Voz QCI1
Señalización y OAM	Bajo	4	AF4x	4	Baja	4	5%	Gestión de la red móvil, Señalización IMS QCI 5

Fuente: 3GPP  
Elaborado por: Autor

Donde PLP es la prioridad de paquetes que se pueden perder, 802.1p es el primer marcado en capa 2, DCSP el marcado en IP y EXP el marcado para imponer prioridades en MPLS.

### 3.3.8. Topología.

La topología está basada en el modelo Hub and Spoke, que va descendiendo desde el equipo de borde como Hub y los equipos de acceso sus Spoke, y luego ir formando anillos de redundancia, sobre todo en el nivel de agregación y borde, para luego ir complementando anillos a nivel de acceso, ya que en este diseño es factible realizar esto, debido a que es más fácil dar mayor respaldo a nivel de Capa 3 que formar anillos en capa 2.

### 3.4. Diseño de bajo nivel.

Para el presente diseño se procederá a ir descendiendo desde la capa de Red hasta la capa física.

#### 3.4.1. Direccionamiento IP.

Para el direccionamiento IP se utilizará una red clase A privada (10.0.0.0/8) que tienen como características 3 octetos para realizar subredes o asignación de host, este tipo de red sólo tiene contexto local o dentro del dominio del proveedor de servicios, existe dos niveles de direccionamiento a utilizar en el presente diseño

### 3.4.1.1. Direccionamiento de MBH.

Como se mencionó en la sección 3.3 se tiene distintos niveles de enrutador según su rol, en base a esto se ha propuesto el siguiente esquema de direccionamiento como se puede observar en la Figura 35, el primer octeto no varía debido a que tiene máscara 255.0.0.0, el siguiente octeto va a dar la identificación de la región en la que se ubica el equipo en el caso del diseño para la ciudad de Cuenca, según SENPLADES (SENPLADES, 2012) La provincia del Azuay se encuentra en la zona 6, esto nos proporciona ya parte del segundo octeto, que se complementa con el rol que cumple el equipo dentro de la red.

Tabla 11: Complemento de IP por rol de equipo

ROL	Posición
Borde	0
Agregación	1
Acceso	2

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

El tercer octeto se determina por la importancia del equipo u orden alfabético de la localidad y el ultimo octeto corresponde a la interfaz loopback en este caso la interfaz es la 100.

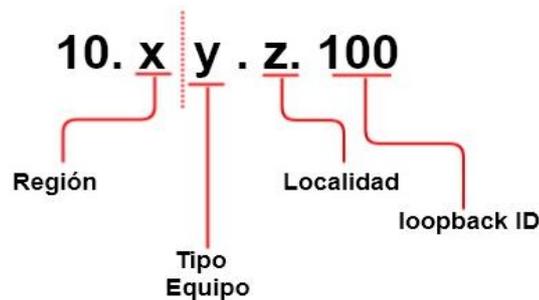


Figura 35: Determinación de Direccionamiento IP

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

En la Tabla 12 se observa el direccionamiento para cada equipo a ser implementado en la red

Tabla 12: Direccionamiento de equipos loopback100

RED	REGION	TIPO EQUIPO	2DO OCTETO	LOCALIDAD	3ER OCTETO	4TO OCTETO	IP RESULTANTE
10	6	0: BORDE	60	<b>CTR (BORDE)</b>	1	100	10.60.1.100
		1: ASG	61	<b>EST (ASG)</b>	10	100	10.61.10.100
				<b>P. IND (ASG)</b>	20	100	10.61.20.100
				<b>RAM (ASG)</b>	30	100	10.61.30.100

				CTR	100	100	10.62.100.100
				BTN	105	100	10.62.105.100
				EST	110	100	10.62.110.100
				TTE	115	100	10.62.115.100
				P. IND	120	100	10.62.120.100
				BLLA	125	100	10.62.125.100
				RAM	130	100	10.62.130.100
				AER	135	100	10.62.135.100
		2: CSG	62	ARO	140	100	10.62.140.100
				MIL	145	100	10.62.145.100
				RED	150	100	10.62.150.100
				REM	155	100	10.62.155.100
				TRQ	160	100	10.62.160.100
				DNB	165	100	10.62.165.100
				HYNC	170	100	10.62.170.100
				ORV	175	100	10.62.175.100
				POLTC	180	100	10.62.180.100

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

Con respecto a los enlaces WAN generados por cada conexión que se tiene, se plantea el direccionamiento con una red de barra 30, en la que se generará  $2^n - 1$  direcciones utilizables, cada dirección dependerá de la red del equipo superior al que se va a conectar directamente.

### 3.4.2. Enrutamiento.

Se tiene dos instancias de enrutamiento, la de IS-IS y BGP.

#### 3.4.2.1. IS-IS.

La dirección NSAP dependerá exclusivamente de la dirección IP de *loopback* destinada a cada equipo de la siguiente manera:

- Para el equipo de borde: 49.0006.0100.6000.x100.00, en donde x representa la variación del equipo.
- Para los equipos de agregación 49.0006.0100.610x.0100.00 en donde x representa la variación del equipo.
- Para los equipos de acceso 49.0006.0100.62xx.0100.00 en donde x representa la variación del equipo.

Para este diseño en particular el proceso de enrutamiento al necesitar un nombre se lo colocará el nombre del rol a desempeñar en la red.

Sólo el equipo de borde pertenecerá a dos niveles de IS-IS, L1 para su red hacia el acceso y L2 para interconectarse con el resto de la red MPLS existente, es aquí donde se colocarán filtros para no permitir la difusión de rutas de L1 a L2, de esta manera se controlará las actualizaciones en las Tablas de enrutamiento por inestabilidad de la red.

### 3.4.2.2. BGP.

El AS será definido por CNT EP al momento de la implementación, se activará la funcionalidad de redistribuir etiquetas mediante BGP-LU, realizando agrupaciones para que se puedan actualizar y distribuir las MPLS L3VPN, mediante MP-BGP

### 3.4.3. MPLS L3VPN.

Para cada interfaz es necesario contar con una instancia de L3VPN de la siguiente manera: En 3G, es necesario que el *nodeB* se conecte hasta la RNC quien brinda todos los recursos, por eso esta L3VPN no es muy elaborada, ya que es necesario importar y exportar la misma Tabla de enrutamiento, como se puede apreciar en la Tabla 13

Tabla 13: Planeación de VRF 3G

ip vrf HSPA	común hspa
rd 64512:100003	
route-target export 64512:100003	
route-target import 64512:100003	
ip vrf OAM	común hspa
rd 64512:100002	
route-target export 64512:100002	
route-target import 64512:100002	

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

En cambio, para LTE se tiene una interfaz S1 y X2, pero por cuestiones de diseño éstas comparten un mismo direccionamiento y VLAN, por lo que el tráfico y actualizaciones de rutas mediante MP-BGP se contrala importando y exportando sólo las Tablas necesarias, de forma que S1 que lleva el tráfico desde el *eNodeB* hasta el EPC debe tener todas las rutas de dichos nodos, en cambio para tráfico de la interfaz X1 se determina un grupo de cobertura que está dado por el equipo agregador al cual se conectan todos los equipos CSG, es aquí donde se importan y exportan sólo los elementos seleccionados para el fin de cumplir con tareas como *handover*, en la Figura 36 se puede apreciar lo antes indicado.

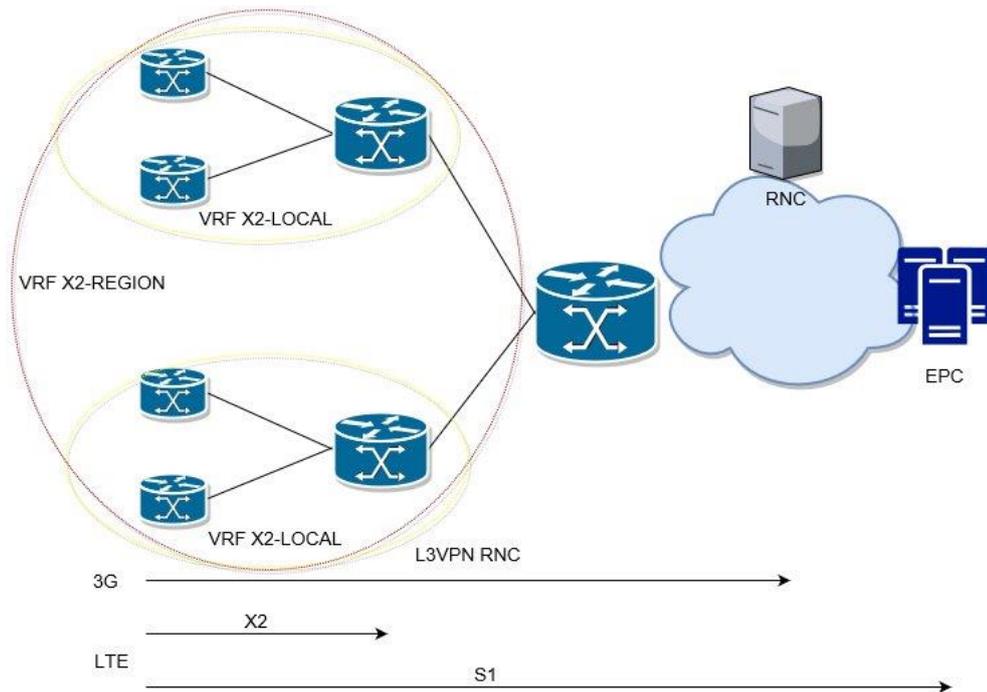


Figura 36: Diseño L3VPN

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

En la Tabla 14 se define específicamente como se realizará la importación y exportación de las rutas para LTE, en sus interfaces para S1 y X2.

Tabla 14: Diseño L3VPN para LTE

ip vrf LTE	CORE LTE
rd 64512:100001	
route-target export 64512:100001	
route-target import 64512:100001	
route-target import 64512:100101	
ip vrf LTE	CLUSTER LTE EST
rd 64512:100101	
route-target export 64512:100101	
route-target import 64512:100101	
route-target import 64512:100001	

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

En la Figura 37 se encuentra definida la topología en su totalidad, que en conjunto con el direccionamiento IP que se encuentra en los anexos, serán la solución para mejorar las prestaciones de la red LTE y 3G en la ciudad de Cuenca, en la que consta, la integración del backhaul hacia la red MPLS mediante un equipo de borde, hacia el equipo que dentro de la red MPLS tradicional cumple la función de *provider* (P) que conducirá el tráfico exclusivamente para LTE y la interconexión hacia el borde existente para tráfico hacia la RNC.

El equipo de borde va a ser el encargado de pasar las etiquetas desde las distintas redes hasta la capa de acceso, también sirve de frontera para evitar el paso excesivo de rutas de la red MPLS existente, este a su vez es cliente de RR existentes para la red móvil y servidor para los Agregadores, tanto para MP-BGP como para distribuir etiquetas y hablar MPLS entre todos los equipos del backhaul.

Dentro del diseño iBGP, en los equipos que cumplen el rol de agregación, funcionan como RR de los equipos de accesos; todos los equipos de acceso que se conectan directamente a cada agregador y forman clúster para la interfaz X2 mediante MP-BGP, es decir tiene las rutas de la VRF para X2 de su clúster instaladas en la tabla de enrutamiento y solo una ruta hacia el EPC. Estos equipos agregadores llevan también las etiquetas MPLS mediante BGP LU para vincularlos a sus Tablas FIB y mediante IS-IS se conocen todas las rutas de la región, lo que permite tener alta disponibilidad.

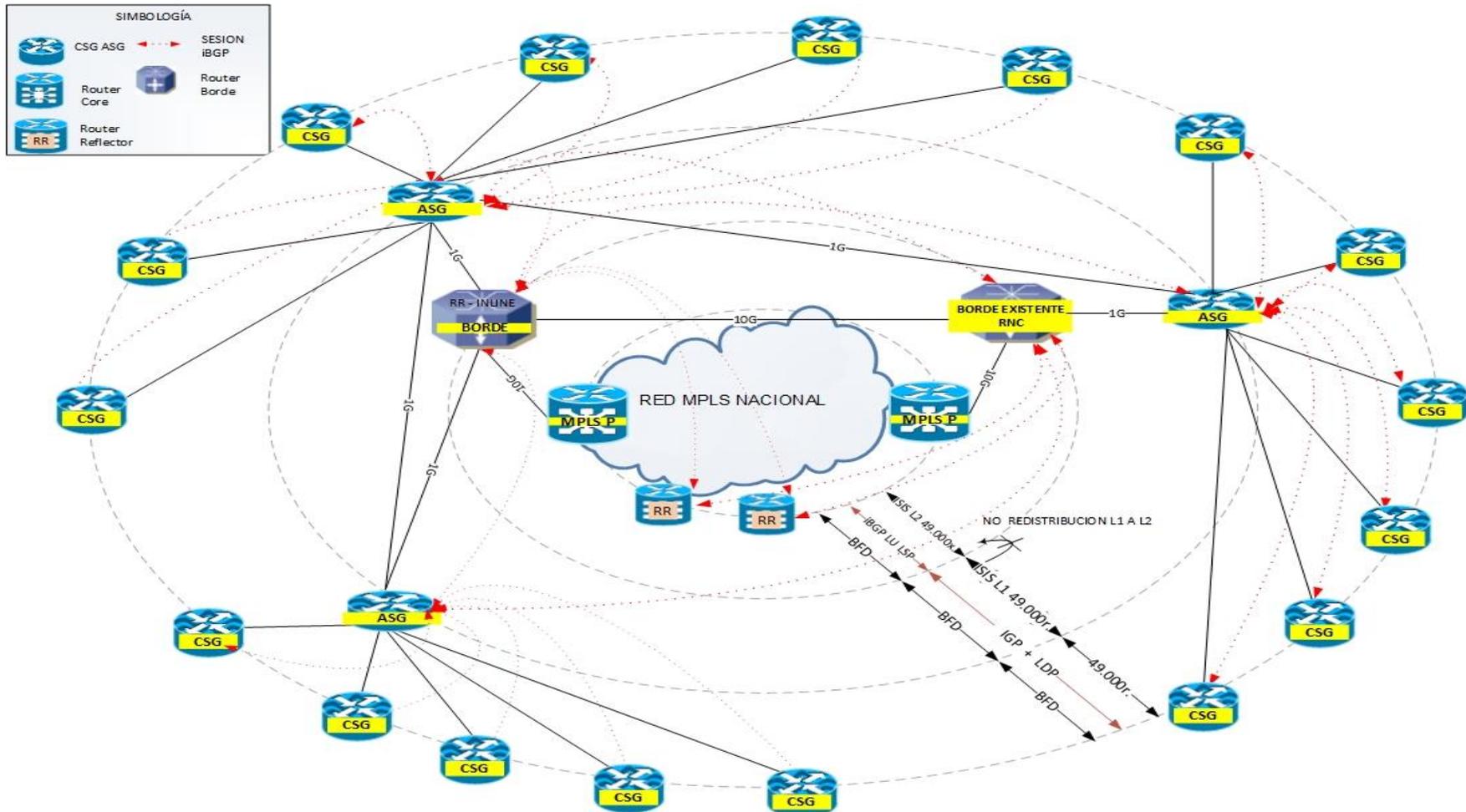


Figura 37: Diseño Propuesto  
 Fuente: Autor  
 Elaborado por: Autor

### 3.5. Simulación y validaciones de diseño de red.

La validación se realizará mediante ambiente controlado en simulador, se tomará imágenes de CISCO IOS (C7200-ADVIPSERVICESK9-M), de un enrutador 7200, para todas las capas, como se indica es un modelo escalable y permite introducir todo tipo de equipos, que manejen los protocolos levantados en el diseño de bajo nivel.

En la Figura 38, se indica el escenario para pruebas y validaciones, se considera dos equipos para CSG, un equipo en la capa de agregación (AGG), un equipo de borde para el backhaul y una topología de prueba del MPLS existente. Debido a que la distribución de rutas es similar para todos los equipos en las distintas capas, y al ser un diseño escalable, para la implementación sólo es necesario copiar la plantilla expuesta en el anexo, cambiando la región en la L3VPN y el direccionamiento asignado para el equipo y con esto ir ampliando la red según las necesidades.

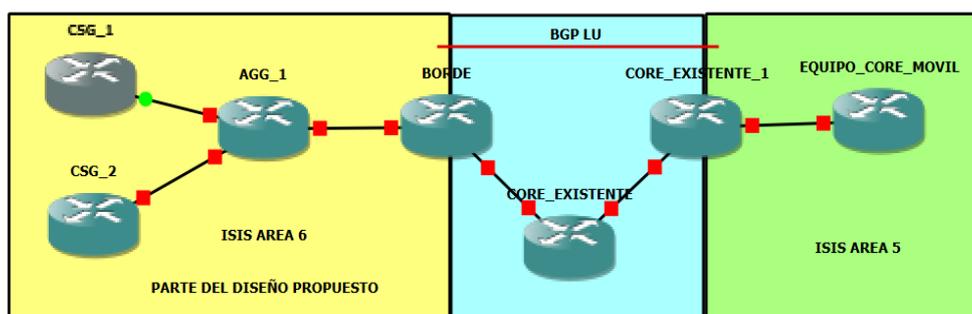


Figura 38: Escenario de pruebas

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

En la Figura 39 se verifica el número de rutas aprendidas mediante el comando *show ip route summary*, en donde se verifican que el equipo de borde es quien más rutas tiene y el de menor rutas es el acceso, cumpliendo así que el equipo a utilizar en como CSG no necesita muchos recursos, a comparación de lo indicado en el capítulo dos (Figura 21) en donde se realizó el levantamiento de la cantidad de prefijos de red aprendidos en una red de topología plana, en donde los equipos de la red de CNT están obligados a conocer todas las rutas para así poder formar LSP y tener habilitado MPLS.

```

BORDE
BORDE#sh ip route summary
IP routing table name is default (0x0)
IP routing table maximum-paths is 32
Route Source Networks Subnets Replicates Overhead Memory (bytes)
connected 0 5 0 300 900
static 0 0 0 0 0
isis BORDE 0 8 0 480 1440
  Level 1: 5 Level 2: 3 Inter-area: 0
bgp 1000 0 1 0 60 180
  External: 0 Internal: 1 Local: 0
internal 4 1440
Total 4 14 0 840 3960
BORDE#

AGG_1
AGG_1#sh ip route summary
IP routing table name is default (0x0)
IP routing table maximum-paths is 32
Route Source Networks Subnets Replicates Overhead Memory (bytes)
connected 0 7 0 420 1260
static 0 0 0 0 0
isis ASG 0 3 0 180 540
  Level 1: 3 Level 2: 0 Inter-area: 0
bgp 1000 0 1 0 60 180
  External: 0 Internal: 1 Local: 0
internal 2 940
Total 2 11 0 660 2920
AGG_1#

CSG_1
CSG_1#sh ip route summary
IP routing table name is default (0x0)
IP routing table maximum-paths is 32
Route Source Networks Subnets Replicates Overhead Memory (bytes)
connected 0 3 0 180 540
static 0 0 0 0 0
isis ASG 0 5 0 300 900
  Level 1: 5 Level 2: 0 Inter-area: 0
bgp 1000 0 1 0 60 180
  External: 0 Internal: 1 Local: 0
internal 2 900
Total 2 9 0 540 2520
CSG_1#

```

Figura 39: Rutas aprendidas

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

Se valida las etiquetas MPLS aprendidas hasta el acceso como se puede verificar en la Figura 40, en donde se mapea las IPs de las L3VPN a una etiqueta y de la misma manera se verifica la operatividad de BGP-LU, repartiendo las etiquetas que solamente necesita el CSG para llegar a su destino, en este punto no se puede tener una comparación con el levantamiento anterior, debido a que el acceso era mediante equipos que solo manejan hasta la capa dos del modelo referencial OSI.

```

CSG_1#show mpls forwarding-table
Local Outgoing Prefix Bytes Label Outgoing Next Hop
Label Label or Tunnel Id Switched interface
16 Pop Label 33.33.33.33/32[V] \
0 aggregate/HSPA
17 Pop Label 11.11.11.11/32[V] \
0 aggregate/OAM
18 Pop Label 44.44.44.44/32[V] \
0 aggregate/LTE
19 Pop Label 10.61.10.100/32 0
Gi0/0 10.61.10.1
20 Pop Label 10.60.91.8/30 0
Gi0/0 10.61.10.1
21 Pop Label 10.61.10.8/30 0
Gi0/0 10.61.10.1
22 17 10.62.110.100/32 0
Gi0/0 10.61.10.1
23 18 10.60.1.100/32 0
Gi0/0 10.61.10.1
CSG_1#show bgp ipv4 unicast labels
Network Next Hop In label/Out label
6.6.6.6/32 10.60.1.100 nolabel/24
10.61.10.100/32 10.61.10.100 nolabel/imp-null
10.62.100.100/32 0.0.0.0 imp-null/nolabel
10.62.110.100/32 10.62.110.100 nolabel/imp-null

```

Figura 40: Asignación de etiquetas MPLS

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

### 3.6. Simulación y validaciones QoS.

El escenario planteado para la validación de QoS, consiste en equipos terminales que maneja dos tipos de tráfico uno que debe tener prioridad como son: paquetes de VoIP y tráfico de transferencia de archivos FTP, que ocupa todo el ancho de banda disponible como se puede observar en la Figura 41. Se cuenta de dos enrutadores, el uno que hace la función de enrutador de celda y el otro de *core*, el cual entrega paquetes a sus servidores ya sea para VoIP o FTP. El enlace que une los dos enrutadores, por motivos de simulación y validación, cuenta con una capacidad de 2Mbps, con esto se verificará el comportamiento de los paquetes al momento de aplicar o quitar las marcas de prioridad.

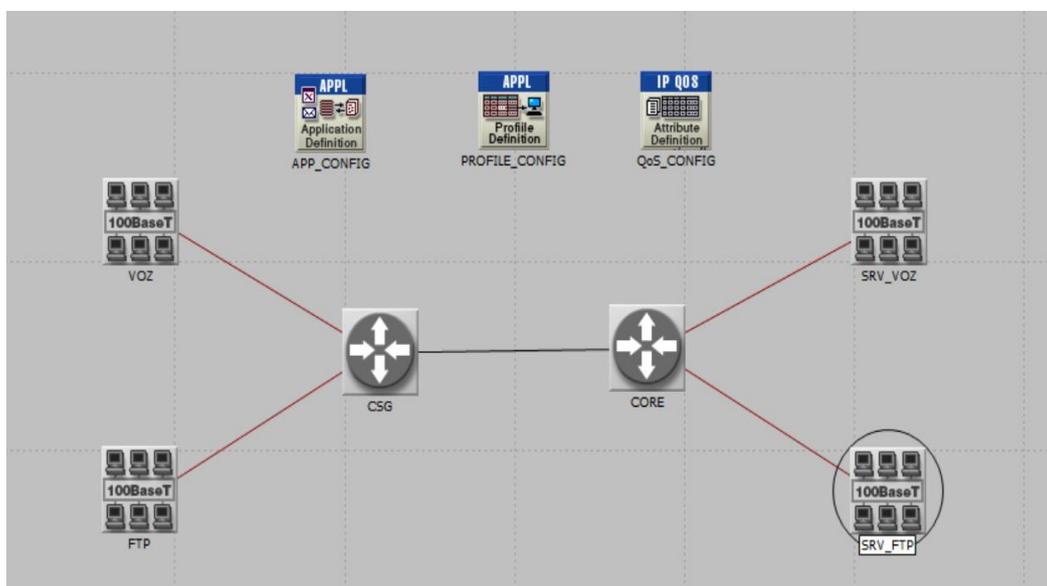


Figura 41: Topología para simulación de QoS

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

Como se observa en la Figura 42, se muestra cómo se configura los distintos tipos de servicios, que será asociados a los dispositivos finales y la asociación de estas aplicaciones a los perfiles creados para el QoS, para el caso puntual de VoIP, se ha considerado lo diseñado en la sección 3.4, con prioridad para tráfico en tiempo real marcado como envío expedito EF, para en caso de congestión de los enlaces se dé prioridad a los paquetes con esta marca.

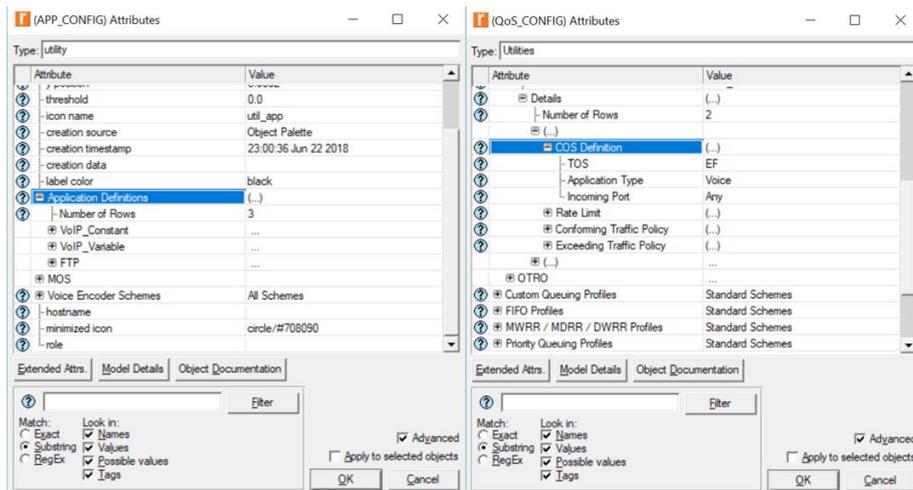


Figura 42: Configuración de aplicaciones en riverbed

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

En el análisis realizado de la simulación se puede observar en la Figura 43, el tráfico que circula entre el enlace de 2Mbps a partir del minuto 2, se eleva el número de paquetes enviados y el comportamiento para el tráfico sin calidad de servicio es irregular, no respeta el encolamiento y a priorización, mientras que cuando se aplica QoS marcando correctamente los paquetes, el tráfico es ordenado y regular, sin presentarse pérdida de paquetes

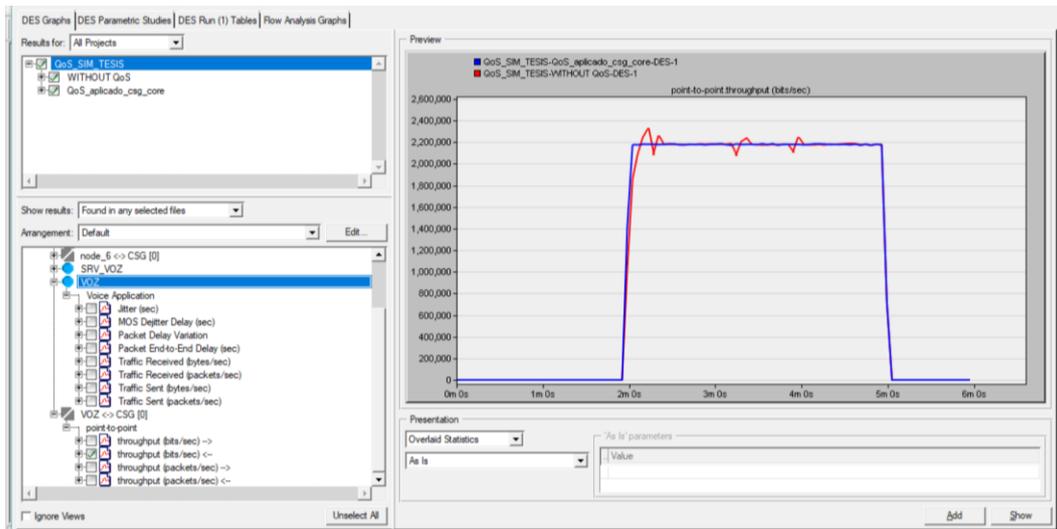


Figura 43: Resultado de simulación del throughput entre CSG-CORE

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

En la Figura 44, se puede observar el *jitter*, para el caso de paquetes marcados de prioridad, se mantiene dentro de los parámetros establecidos como tiempos menor a un

milisegundo, pérdida de paquetes, sin variaciones que ayudan para una buena comunicación; mientras que en los paquetes sin QoS existen pérdidas, y una variación considerable en el tiempo de entrega de extremo a extremo.

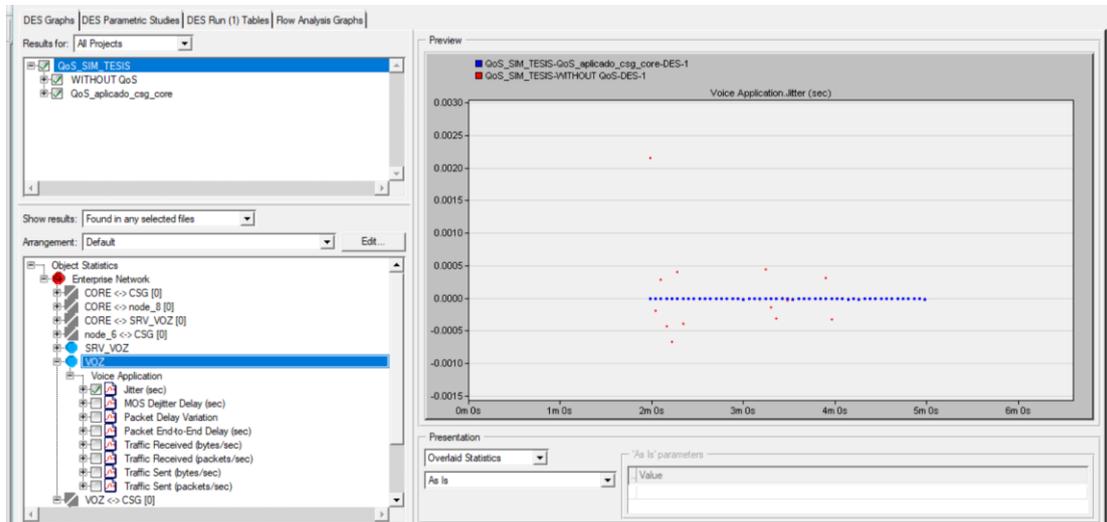


Figura 44: Resultado de la simulación parámetro Jitter

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

La variación de retardo de paquetes es notable con mayor claridad en los paquetes marcados con QoS, en donde no existe mayor novedad en los paquetes enviados a su destino, mientras que, en los paquetes sin prioridad, existe mayor retardo, implicando así que la comunicación no sea la adecuada.

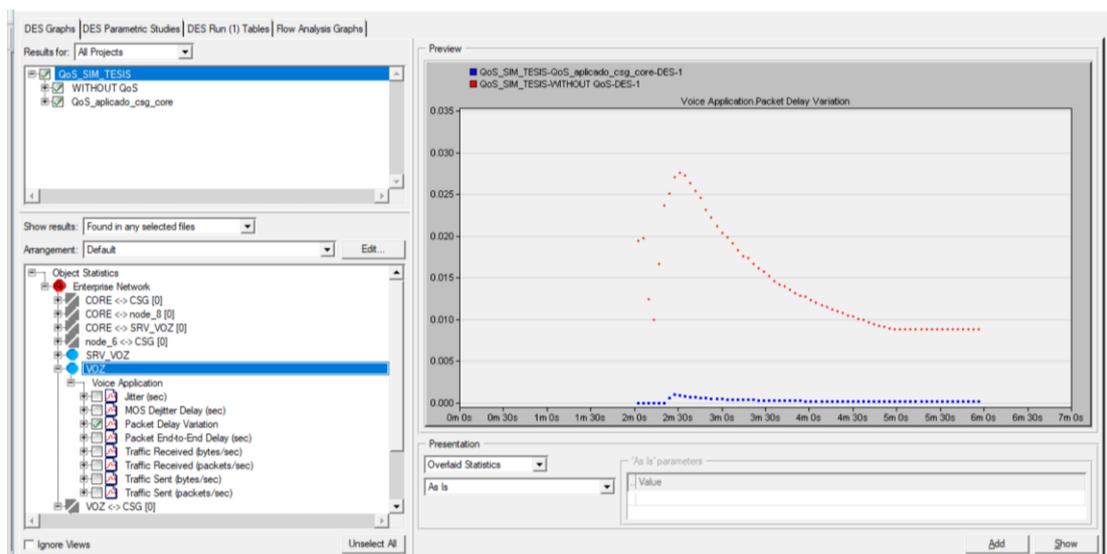


Figura 45: Resultado de la simulación parámetro variación de retardo de paquetes

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

Estos resultados comparados con los obtenidos en el levantamiento realizado en el capítulo 2, en donde a gran capacidad de transmisión se ven reducidos por el tráfico de la red fija en su mayoría y de la red móvil circula por allí, siempre hay congestión y eso y al no tener un correcto marcado de paquetes y su reserva de recursos en toda la red hace que el jitter (Figura 24), pérdida de paquetes (Figura 25) sean considerables, al contrario que en las simulaciones en donde se ha validado la efectividad del marcado de paquetes como reenvío expedito, dando una mayor prioridad al tráfico de voz.

Dando como resultado la efectividad de tener equipos con MPLS hasta el acceso, con soporte de QoS en toda la red.

**CAPITULO IV.**  
**ANÁLISIS FINANCIERO**

#### **4.1. Introducción.**

Después de haber realizado la propuesta técnica y verificar que ésta es viable, es necesario conocer si en el ámbito financiero del proyecto también lo es, razón por la cual se realizará a continuación el análisis, en donde se verificará la rentabilidad para la empresa al implementar el proyecto.

Para esto es necesario determinar los costos de inversión que implica la implementación del backhaul, como equipos, materiales y mano de obra, a tal punto que se encuentre operativo para la puesta en producción, tanto en las capas de acceso, agregación y borde, seleccionando de los proveedores que CNT EP; actualmente tiene en sus redes operando.

#### **4.2. Análisis entre marcas utilizadas por la empresa.**

En la Tabla 15 se realiza un análisis de las principales marcas que CNT tiene en su red, en donde la calificación menor es cero (0) que implica el no cumplimiento y la más alta es cinco (5) o que supera las expectativas, dentro de las características más representativas se ha escogido los parámetros:

- Confiabilidad: en cuanto a la robustez, garantía y posicionamiento de la marca.
- Licencia: para habilitar ciertas características que son indispensables dentro de este proyecto y que en ciertas marcas tienen un valor adicional.
- Soporte: es de vital importancia para resolver cualquier anomalía ya sea por configuraciones o defectos de fábrica en software o hardware, el costo que implica implementar un equipo de cierta marca.
- Compatibilidad: el último uno de los más importantes, el cómo se va a comportar con la red que ya se encuentra diseñada en el core de la red y que va a interactuar directamente con el proyecto.

Es de esta forma que la sumatoria de cada característica acorde a la rúbrica elaborada (ver Tabla 15) permitirá escoger el proveedor para poder analizar los costos.

Tabla 15: Rúbrica para selección de proveedor

Característica	Cisco	Huawei	Juniper
Confiabilidad	5 (Existe garantía extendida de los equipos, la marca es mundialmente conocida)	3 (Para garantía extendida es necesario comprar un complemento)	4 (Existe garantía extendida de los equipos, la marca recién está siendo introducida en el país)
Licencia	3(Es necesario adquirir licencia para características especiales)	2 (Es necesario adquirir licencia para cada característica a implementar)	5 (licencia honorífica, para habilitar funcionalidades incluida en el hardware)
Soporte	5 (Múltiples certificaciones y personal capacitado, existe varios distribuidores y repuestos)	5(Múltiples certificaciones y personal capacitado, existe varios distribuidores y repuestos)	3 (No existe varios distribuidores en el País, no existe personal con certificaciones)
Compatibilidad con red actual	5 (Red actual con el mismo proveedor, maneja mismo rango de etiquetas MPLS)	2(Distinto rango de etiquetas MPLS, necesita de licencias para converger)	3 (Distinto rango de etiquetas MPLS)
TOTAL	18	12	15

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

Frente al análisis realizado, en cuanto a confiabilidad, licencia, soporte y compatibilidad con la red actual debido a que en todos los equipos de la red MPLS que CNT EP tiene desplegada son de la misma marca, se realiza la selección del vendedor CISCO, quien alcanza la mayor calificación dentro del proyecto, con los parámetros analizados y es con esta marca que se va a desarrollar el análisis económico que implica la implementación del backhaul para la red LTE y 3G de la ciudad de Cuenca.

#### 4.3. Equipos para la implementación.

Debido a las capacidades requeridas, en cada segmento de la red se ha seleccionado, según los requerimientos y recomendaciones del proveedor para la implementación de un backhaul móvil, la serie (Cisco, 2017)ASR 9000 en concreto el equipo ASR9006 que cuenta con seis ranuras para tarjetas de servicio y procesadoras, especial para borde o

núcleo de la red. Permite implementar todas las características del diseño realizado y permite tráfico hasta de 100G en una interfaz, en cuanto al equipo que desempeñara el rol de agregación se escogerá el ASR903 (Cisco, 2014b), Además este equipo permite implementar cualquier servicio de voz, video y datos, con un manejo de protocolos de enrutamiento dinámico como ISIS, OSPF y calidad de servicio, con alta disponibilidad debido a sus tarjetas de procesamiento y fuentes redundantes, para el acceso se utilizará el ASR901,(Cisco, 2014a), que tiene la características para ser instalado en cada celda de la red LTE, un bajo consumo, un chasis compacto con fuente redundante que soporta interfaces de 1000Mbps, con características de enrutamiento dinámico, con menores recursos que el ASR903 y soporte para MPLS L2VPN y L3VPN

En la Figura 46, se puede observar el equipo según su rol, como están conectados en la red y los modelos correspondientes para la implementación.

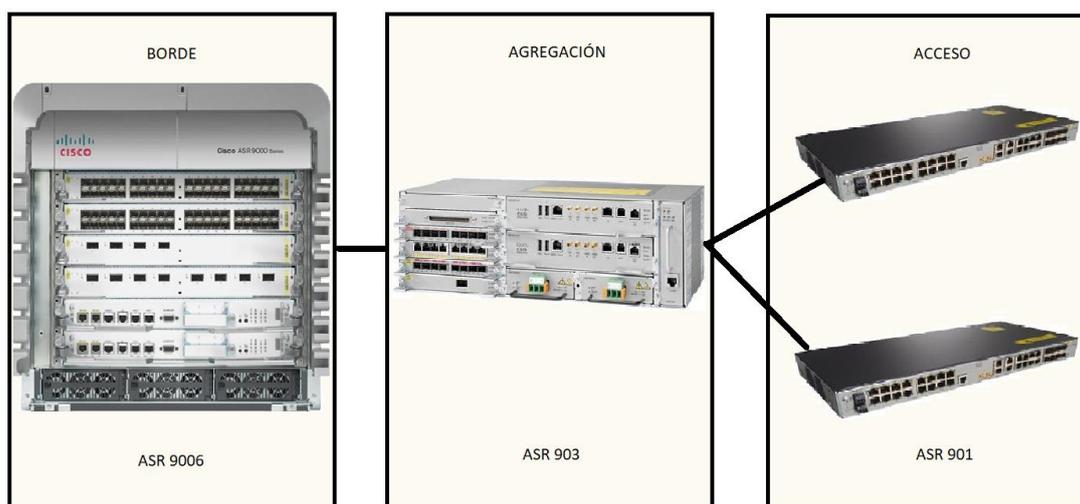


Figura 46: Equipos según el rol para el MBH

Fuente:(Sabir, 2014)

Elaborado por: Autor

#### 4.4. Costos referenciales para la implementación del MBH.

El costo para la implementación del proyecto se ha dado en base al levantamiento realizado en el diseño, en donde se determinó el número de equipos a ser utilizados, así como cada elemento con el que contara para su operación.

De la misma manera, se analizará el costo de la implementación de los equipos para la puesta en producción, sin tomar en cuenta las configuraciones, debido a que se tiene ya la línea base para el funcionamiento correcto

#### 4.4.1. Costo equipos para el acceso (CSG).

En la Tabla 16 se analiza los costos del hardware y software necesario para el normal funcionamiento.

Tabla 16: Costo equipos de acceso ASR901 y accesorios

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Equipamiento (incluye tarjetas procesadoras y de servicio)	17	\$ 3.162,50	\$ 53.762,50
2	SFP 1000LX	34	\$ 251,85	\$ 8.562,90
3	LICENCIA	17	\$ 825,00	\$ 14.025,00
			TOTAL CSG:	\$ 76.350,40

Fuente: CNT EP  
Elaborado por: Autor

#### 4.4.2. Costo equipos para la agregación (AGG).

En la Tabla 17 se analiza el costo del equipamiento necesario, así como el software para la implementación, la cantidad de transceptores pequeños (SFP) es debido al número de conexiones que reciben desde los equipos de acceso y del número de enlaces hacia el equipo de borde.

Tabla 17: Costo equipos de acceso ASR903 y accesorios

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Equipamiento (incluye tarjetas procesadoras y de servicio)	3	\$ 24.541,00	\$ 73.623,00
2	SFP 1000LX	30	251,85	\$ 7.555,50
3	LICENCIA	3	\$ 3.300,00	\$ 9.900,00
			TOTAL AGG	\$ 91.078,50

Fuente: CNT EP  
Elaborado por: Autor

#### 4.4.3. Costo equipos para el borde.

En la Tabla 18 se observa los costos que implica la compra del equipamiento necesario para la implementación del equipo que cumpla las funciones de borde, a diferencia del equipo para acceso o agregación se adicionan elementos como SFP de 10Gbps para la interconexión con el núcleo de la red, ya que son enlaces de mayor capacidad debido a que aglomera el tráfico de los agregadores para llevarlos al EPC, y también es necesario

adquirir el software que implica el kernel basado en Linux que tiene como sistema operativo, llamado IOS XR.

Tabla 18: Costo equipos de acceso ASR9006 y accesorios

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Equipamiento (incluye tarjetas procesadoras y de servicio)	1	\$ 229.442,25	\$ 229.442,25
2	SFP 1000LX	10	\$ 251,85	\$ 2.518,50
3	10G SFP LR	4	\$ 2.162,00	\$ 8.648,00
4	SOFTWARE	1	\$ 32.775,00	\$ 32.775,00
TOTAL BORDE				\$ 273.383,75

Fuente: CNT EP  
Elaborado por: Autor

#### 4.4.4. Costo de instalación.

Para la instalación de los equipos e integración del mismo es necesario contar con personal calificado, materiales como fibras ópticas, mano de obra, en la Tabla 19 se puede apreciar los costos de cada uno de los ítems considerados para la implementación

Tabla 19: Costos instalación de equipos en distintos nodos

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario	Precio total
3	Soporte de personal calificado (con certificaciones vigentes del fabricante)	4	UN	\$ 2.500,00	\$ 10.000,00
4	INSTALACION DE EQUIPOS CSG (incluye materiales y mano de obra)	17	UN	\$ 3.000,00	\$ 51.000,00
5	INSTALACION DE EQUIPOS AGG (incluye materiales y mano de obra)	3	UN	\$ 7.000,00	\$ 21.000,00
6	INSTALACION DE EQUIPO DE BORDE (incluye materiales y mano de obra)	1	UN	\$ 15.000,00	\$ 15.000,00
TOTAL				\$	97.000,00

Fuente: CNT EP  
Elaborado por: Autor

Costo total para la implementación es de: \$537.812,65 que incluye equipos, y mano de obra.

El detalle de todos los elementos necesarios para cada equipo como componentes de hardware y software se puede ver en el Anexo 6.

#### 4.5. Justificación económica del proyecto.

La viabilidad económica de la propuesta se realizará a partir del análisis de la tasa de retorno de inversión o TIR que evalúa al proyecto en base a las utilidades que se puedan generar, midiendo porcentualmente su rentabilidad y el valor actual neto o VAN para determinar la viabilidad del proyecto, analizando los ingresos y egresos presentados desde la implementación hasta un cierto periodo de tiempo.

##### 4.5.1. Ingresos telefonía móvil.

La CNT EP ocupa el tercer lugar en cuanto a cartera de clientes por el número de usuarios es la tercera operadora en telefonía móvil, en la Tabla 20 se puede observar el crecimiento de usuarios en el periodo de enero a marzo de 2018, agrupados por modalidad de pago; para el caso de Cuenca, del total de clientes expuestos en la Tabla, tiene un porcentaje del 3,4% aproximadamente, pero al tratarse de una red móvil, se debe tomar en cuenta que todos los usuarios podrían utilizar en cualquier momento las redes desplegadas en la ciudad, por lo que es de suma importancia mantener un servicio de calidad.

Tabla 20: Total Clientes CNT EP

MES/AÑO	CNT EP		TOTAL
	PREPAGO	POSPAGO	
Ene 2018	1.680.355	551.837	<b>2.232.192</b>
Feb 2018	1.732.715	559.950	<b>2.292.665</b>
Mar 2018	1.799.470	574.174	<b>2.373.644</b>

Fuente: ARCOTEL, recuperado el 16 de abril de 2018

Elaborado por: Autor

En el Anexo 5, se da a conocer con mayor detalle los planes que CNT EP tiene actualmente para ser comercializados, en la Tabla 21 se indica el promedio de ingresos mensual por facturación de clientes de telefonía móvil en la ciudad de Cuenca.

Tabla 21: Ingreso promedio CNT EP

Porcentaje Clientes	Facturación Promedio
3,40%	503652,30

Fuente: CNT EP

Elaborado por: Autor

#### **4.5.2. Análisis TIR VAN y flujo de caja.**

Con los datos obtenidos en la selección del proveedor de equipos, costos de implementación e ingresos por conceptos de facturación de telefonía móvil, se ha determinado la viabilidad económica de la implementación del proyecto, En la Tabla 22 se puede observar el análisis realizado, en el campo tiempo de proyecto se obtiene de la garantía y el soporte que la marca ofrece tanto en hardware cómo software y el diseño realizado que es capaz de soportar un cambio generacional sin recurrir a cambios de equipos, sino más bien a actualizaciones en las configuraciones, que están incluidos en los costes que implica mantenimiento y se lo hace anualmente en conjunto con lo que implica tener al equipamiento en buenas condiciones. Para el cálculo del VAN se ha establecido un interés del 9% anual, tasa que una institución financiera paga en promedio; incrementos de 10% en facturación de la telefonía móvil y 10% en incremento de los servicios básicos dentro de cada año desde el inicio del proyecto, hasta la finalización de vida útil del mismo.

Tabla 22: Flujo de caja, TIR y VAN

PROYECTO BACKHAUL+ CISCO		
CONCEPTO	MONTO	DESCRIPCIÓN
COSTO DE INVERSIÓN PROYECTO	\$ 537.812,65	Costo de implementación del proyecto
MANTENIMIENTO PROYECTO	\$ 20.000,00	Costo de mantenimiento anual (lógico y físico)
TIEMPO DE PROYECTO	10	El fabricante otorga hasta 10 años para garantía y repuestos (Vida Útil) o End of life
INGRESOS ACTUAL	\$ 503.652,30	Valor de ingreso mensual: Tomando en cuenta planes prepago y postpago masivos y corporativos en la ciudad de Cuenca
INGRESOS FUTUROS (ANUAL)	10%	Porcentaje de incremento anual por Venta de telefonía móvil
INCREMENTO DE SERVICIOS BÁSICOS	10%	Porcentaje de incremento anual por pago de servicios básicos (energía eléctrica)
TASA DE INTERÉS	9%	Tasa de interés comparable con institución financiera para cálculo del VAN

FLUJO DE CAJA PROYECTADO											
AÑOS		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
<b>INGRESOS</b>											
VENTAS TRANSMISIÓN		6.043.828	6.648.210	7.313.031	8.044.335	8.848.768	9.733.645	10.707.009	11.777.710	12.955.481	14.251.029
AHORRO (ANTERIOR TRANSMISIÓN)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>6.043.828</b>	<b>6.648.210</b>	<b>7.313.031</b>	<b>8.044.335</b>	<b>8.848.768</b>	<b>9.733.645</b>	<b>10.707.009</b>	<b>11.777.710</b>	<b>12.955.481</b>	<b>14.251.029</b>
<b>EGRESOS</b>											
<b>COSTOS FIJOS</b>											
COSTO MANTENIMIENTO		20.000	22.000	24.200	26.620	29.282	32.210	35.431	38.974	42.872	47.159
<b>COSTO VARIABLE</b>											
SERVICIOS BÁSICOS		300,00	330,00	363,00	399,30	439,23	483,15	531,47	584,62	643,08	707,38
<b>TOTAL EGRESOS</b>		<b>20.300</b>	<b>22.330</b>	<b>24.563</b>	<b>27.019</b>	<b>29.721</b>	<b>32.693</b>	<b>35.963</b>	<b>39.559</b>	<b>43.515</b>	<b>47.866</b>
<b>FLUJO OPERACIONAL</b>		<b>6.023.528</b>	<b>6.625.880</b>	<b>7.288.468</b>	<b>8.017.315</b>	<b>8.819.047</b>	<b>9.700.951</b>	<b>10.671.047</b>	<b>11.738.151</b>	<b>12.911.966</b>	<b>14.203.163</b>
INVERSIÓN	(537.813)	6.023.528	6.625.880	7.288.468	8.017.315	8.819.047	9.700.951	10.671.047	11.738.151	12.911.966	14.203.163
TIR	1130%										
VAN	\$52.350.529										

ALTERNATIVA: PROYECTO BACKHAUL+ CISCO	
$\text{Margen Neto de Utilidad} = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Ventas netas}}$	
	6.023.528
	6.043.828
	<b>99,66%</b>

ALTERNATIVA: PROYECTO BACKHAUL+ CISCO											
AÑOS		AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10
FLUJO OPERACIONAL		6.023.528	6.625.880	7.288.468	8.017.315	8.819.047	9.700.951	10.671.047	11.738.151	12.911.966	14.203.163
INVERSIÓN		537.813									
PAYBACK		<b>1</b>									

Fuente: CNT EP  
Elaborado por: Autor

En la Tabla 23 se muestra un resumen de monto a invertir, el margen de utilidad y el retorno de inversión que es de un año, demostrando así la viabilidad del proyecto y su rápida recuperación de lo invertido.

Tabla 23: Resumen análisis financiero

OPCIÓN	INVERSIÓN	VAN	TIR	MARGEN NETO DE UTILIDAD	PAY BACK (años)	
PROYECTO BACKHAUL+ CISCO	\$ 537.812,65	\$ 52.350.529	1130%	99,66%	1	✓

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

## CONCLUSIONES

El proyecto, a través de sus distintas fases, ha cumplido a satisfacción todos los objetivos propuestos. En base al levantamiento inicial o línea base se ha diseñado una solución técnica como financieramente viable, habiendo realizado previamente una evaluación de tecnologías y pruebas de validación mediante simulaciones.

El diseño del *Mobile backhaul* incorporando características de calidad de servicio para la red móvil de CNT EP en la ciudad de Cuenca, permitirá mejorar notablemente la prestación de servicios que actualmente ofrece, mejorando la experiencia del usuario y permitiendo ampliar la red sin la necesidad de realizar mayores inversiones en la red de transporte, e inclusive realizar un cambio de generación sin tener que cambiar equipos del backhaul, solamente realizar adaptaciones a la configuración, tomados en cuenta dentro del análisis financiero, cosa que con la red actual no permitiría debido a que comparte infraestructura con la red fija que ocupa muchos recursos tanto lógicos como de hardware.

Mediante datos de fuentes abiertas como la ARCOTEL, permitió determinar el crecimiento de usuarios que están adoptando la tecnología 4G/LTE como principal fuente de comunicación móvil, de esto la importancia para su implementación y rápido despliegue.

La red diseñada está conformada por tres tipos de equipos que cumplen diferentes roles en la red: los de bajos recursos están ubicados en el acceso, llamado dentro del MBH como CSG; de recursos intermedios llamadas agregación o AGG, y de mayores capacidades ya que sirve de frontera entre la red diseñada con el núcleo llamado equipo de borde.

El monto total de inversión para el despliegue y puesta en producción del proyecto es de \$537.812,65, tanto para la mano de obra como la compra de equipos, esto tomado de precios referenciales que tiene CNT EP para realizar contrataciones mediante el portal de compras públicas denominado cómo giro específico de negocio, con un retorno de inversión en un año después de su puesta en operación, siendo viable el proyecto como fue diseñado.

## **RECOMENDACIONES**

Para el diseño de la red, es necesario contar con el levantamiento actualizado, de esta manera saber lo que se va a implementar y como se va a integrar a la red existente, de preferencia se debe tener una ingeniería de detalle de lo anterior para en base a esto modificar la red.

En cuanto a las validaciones es necesario tener los KPI de la red actual, de esta forma al implementar el proyecto se pueda hacer notar la diferencia al tener una red implementada solo para la red móvil, en donde se distinga de manera eficiente los paquetes que necesitan ser priorizados mediante QoS.

Antes de la implementación es necesario validar todas las configuraciones en un ambiente controlado, para evitar problemas en la red al momento de poner los equipos en producción.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARCOTEL. (s/f). Radiobases por operador y tecnología nivel provincial. Recuperado a partir de [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/09/1.2-Radiobases-por-operador-y-tecnologia-nivel-provincial\\_NOVIEMBRE\\_2017.xlsx](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/09/1.2-Radiobases-por-operador-y-tecnologia-nivel-provincial_NOVIEMBRE_2017.xlsx)
- Bruno, A., & Jordan, S. (2011). *CCDA 640-864 Official Cert Guide*. Indianapolis: CISCO PRESS.
- Cisco. (2014a). Cisco ASR 901S Series Aggregation Services Routers, (November 2013), 1–13.
- Cisco. (2014b). Cisco ASR 903 Series Aggregation Services Routers, (November 2013), 1–13.
- CISCO. (2014). Campus, 34. Recuperado a partir de [http://www.cisco.com/c/dam/r/es/la/internet-of-everything-ioe/assets/pdfs/en-05\\_campus-wireless\\_wp\\_cte\\_es-xl\\_42333.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/r/es/la/internet-of-everything-ioe/assets/pdfs/en-05_campus-wireless_wp_cte_es-xl_42333.pdf)
- Cisco, B. (2017). Recharging Your Network with the Cisco ASR 9000.
- Cisco Sytem Inc. (s/f). CISCO PACKET TRACER. Recuperado el 10 de abril de 2018, a partir de [https://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/training-events/netacad/course\\_catalog/docs/Cisco\\_PacketTracer\\_DS.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/en_us/training-events/netacad/course_catalog/docs/Cisco_PacketTracer_DS.pdf)
- Cisco Sytem Inc. (2009). *Implementing Cisco IP Routing - Student Guide* (Vol. 2). San José, CA.
- Cisco Sytem Inc. (2012). *Deploying Cisco Service Provider Network Routing*. San José, CA.
- CNT EP. (s/f). CNT EP. Recuperado el 18 de mayo de 2018, a partir de <https://www.cnt.gob.ec/movil/>
- Comparaci, A. C., los, C., Cisco, S., Xr, I. O. S., Subinterfaces, M. T. U., Evc, N., ... Xr, I. O. S. (s/f). Comportamiento MTU en el Cisco IOS XR y el Routers del Cisco IOS.
- De Ghein, L. (2007). *MPLS FUNDAMENTALS*. (Cisco Press, Ed.). Indianapolis.
- E. Rosen, A. Viswanathan, & R. Callon. (2001). RFC-3031, 1–61.
- Gan, D. (2001). RFC-3209, 1–61.
- GNS3. (s/f). Getting Started with GNS3. Recuperado el 10 de abril de 2018, a partir de [https://docs.gns3.com/1PvtRW5eAb8RJZ11maEYD9\\_aLY8kkdhgaMB0wPCz8a3](https://docs.gns3.com/1PvtRW5eAb8RJZ11maEYD9_aLY8kkdhgaMB0wPCz8a3)

8/index.html

- Gomezjurado, J., Núñez, J., Cordero, J., & Uyaguari, F. (2014). *Historia de las telecomunicaciones en el Ecuador*. Quito: Academia Nacional de Historia.
- Half, F., & Communication, V. (2013). Evolution from 2G over 3G to 4G, (2013), 2–8.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. (McGRAW-HILL, Ed.) (sexta). México D.F.
- Johansson, K., Bergman, J., & Gerstenberger, D. (2009). Multi-Carrier HSPA Evolution.
- Juniper. (2013). Junos OS. Group VPNs Feature Guide for Security Devices. Recuperado a partir de [http://www.juniper.net/techpubs/en\\_US/junos12.1x45/information-products/pathway-pages/security/security-vpn-group.pdf](http://www.juniper.net/techpubs/en_US/junos12.1x45/information-products/pathway-pages/security/security-vpn-group.pdf)
- JUNIPER. (2013). Universal Access and Aggregation Mobile.
- Luis F. Pedraza, DaniloLópez, O. S. (2011). Enrutamiento basado en el algoritmo de Dijkstra para una red de radio cognitiva Routing based on Dijkstra ' s algorithm to a cognitive radio network. *Tecnura*, 15(30), 93–100. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2011.2.a09>
- Medhi, D., & Ramasamy, K. (2018). Routing and Traffic Engineering in Software Defined Networks. *Network Routing*, (Chapter 7), 378–395. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800737-2.00013-2>
- Rekhter, Y., & Chandra, R. (2000). RFC-2858, 1–11.
- Sabir, S. A. (2014). IP RAN Backhaul A Learning Experience.
- SENPLADES. (2012). Folleto Informativo Desconcentración. Quito: SENPLADES. Recuperado a partir de [www.planificacion.gob.ec](http://www.planificacion.gob.ec)
- Tanenbaum, A., & Wetherall, D. (2012). *Redes de Computadoras*. (PEARSON EDUCATION, Ed.) (Quinta). Naucalpan de Juárez.

## **ANEXOS**

### ANEXO 1. Direccionamiento total.

Tabla 24: Dimensionamiento IP total

NODO	TIPO	EQUIPO DESTINO	DIRECCIONAMIENTO					
			LOOPBACK	IP ADDRESS	NET	RED WAN	L	R
CTR	CSG	EST (ASG)	100	10.62.100.100	49.0006.0100.6210.0100.00	10.61.110.0/30	2	1
TRQ	CSG	RAM (ASG)	100	10.62.160.100	49.0006.0100.6216.0100.00	10.61.130.0/30	2	1
RAM	CSG	RAM (ASG)	100	10.62.130.100	49.0006.0100.6211.0100.00	10.61.130.4/30	6	5
REM	CSG	EST (ASG)	100	10.62.155.100	49.0006.0100.6215.5100.00	10.61.110.4/30	6	5
EST	CSG	EST (ASG)	100	10.62.110.100	49.0006.0100.6211.0100.00	10.61.110.8/30	10	9
MIL	CSG	EST (ASG)	100	10.62.145.100	49.0006.0100.6213.5100.00	10.61.110.12/30	14	13
HYNC	CSG	P. IND (ASG)	100	10.62.170.100	49.0006.0100.6217.0100.00	10.61.120.0/30	2	1
ARO	CSG	EST (ASG)	100	10.62.140.100	49.0006.0100.6213.0100.00	10.61.110.16/30	18	17
RED	CSG	P. IND (ASG)	100	10.62.150.100	49.0006.0100.6215.0100.00	10.61.120.4/30	6	5
AER	CSG	P. IND (ASG)	100	10.62.135.100	49.0006.0100.6211.5100.00	10.61.120.8/30	10	9
TTE	CSG	P. IND (ASG)	100	10.62.115.100	49.0006.0100.6211.5100.00	10.61.120.12/30	14	13
BLLA	CSG	RAM (ASG)	100	10.62.125.100	49.0006.0100.6212.5100.00	10.61.130.8/30	10	9
DNB	CSG	EST (ASG)	100	10.62.165.100	49.0006.0100.6216.5100.00	10.61.110.20/30	22	21
BTN	CSG	RAM (ASG)	100	10.62.105.100	49.0006.0100.6210.5100.00	10.61.130.12/30	14	13
ORV	CSG	RAM (ASG)	100	10.62.175.100	49.0006.0100.6217.5100.00	10.61.130.16/30	18	17
POLTC	CSG	P. IND (ASG)	100	10.62.180.100	49.0006.0100.6218.0100.00	10.61.120.16/30	18	17
P. IND	CSG	P. IND (ASG)	100	10.62.120.100	49.0006.0100.6212.0100.00	10.61.120.20/30	22	21
<b>CTR (BORDE)</b>	<b>BORDE</b>	MPLS CORE P EXISTENTE	100	10.60.1.100	49.0006.0100.6000.1100.00	10.60.101.0/30	1	2
		BORDE IP RAN RNC (EXISTENTE)				10.30.101.0/30	1	2
<b>EST (ASG)</b>	<b>ASG</b>	CTR (BORDE)	100	10.61.10.100	49.0006.0100.6101.0100.00	10.60.101.4/30	6	5
<b>P. IND (ASG)</b>	<b>ASG</b>	BORDE IP RAN RNC (EXISTENTE)	100	10.61.20.100	49.0006.0100.6102.0100.00	10.30.101.4/30	6	5
		EST (ASG)				10.61.120.0/30	1	2
<b>RAM (ASG)</b>	<b>ASG</b>	CTR (BORDE)	100	10.61.30.100	49.0006.0100.6101.0100.00	10.60.101.8/30	10	9
		EST (ASG)				10.61.130.0/30	1	2

Fuente: Autor

Elaborado por: Autor

## ANEXO 2. Script de configuración equipo de BORDE.

```
hostname BORDE
!
!
interface LoopbackXXX
ip address 10.60.1.100 255.255.255.255
ip router isis BORDE
isis tag 100
!
interface GigabitEthernet0/0
ip address 10.10.1.1 255.255.255.252
ip router isis BORDE
media-type gbic
speed auto
duplex auto
negotiation auto
mpls ip
isis circuit-type level-2-only
!
interface GigabitEthernet1/0
ip address 10.60.91.9 255.255.255.252
desc To_AGG1
ip router isis BORDE
negotiation auto
mpls ip
isis circuit-type level-1
!
enrutador isis BORDE
net 49.0006.0100.6000.1100.00
redistribute isis ip level-1 into level-2 route-map L1toL2
mpls ldp sync
mpls traffic-eng router-id Loopback100
!
enrutador bgp 1000
bgp enrutador-id 10.60.1.100
bgp log-neighbor-changes
neighbor 10.61.10.100 remote-as 1000
neighbor 10.61.10.100 update-source Loopback100
neighbor 10.61.10.100 route-reflector-client
neighbor 10.61.10.100 next-hop-self all
neighbor 10.61.10.100 send-label
neighbor 5.5.5.5 remote-as 1000
neighbor 5.5.5.5 update-source Loopback100
neighbor 5.5.5.5 route-reflector-client
neighbor 5.5.5.5 next-hop-self all
neighbor 5.5.5.5 send-label
!
address-family vpnv4
neighbor 10.61.10.100 activate
neighbor 10.61.10.100 send-community both
```

```

neighbor 10.61.10.100 route-reflector-client
neighbor 5.5.5.5 activate
neighbor 5.5.5.5 send-community both
exit-address-family
!
ip forward-protocol nd
!
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
!
route-map L1toL2 permit 10
match tag 100
!
end

```

### **ANEXO 3. Script de configuración equipo Agregador.**

```

hostname AGG_1
!
interface Loopback100
ip address 10.61.10.100 255.255.255.255
ip enrutador isis ASG
!
interface GigabitEthernet0/0
ip address 10.61.10.1 255.255.255.252
desc toCSG_1
ip enrutador isis ASG
media-type gbic
speed auto
duplex auto
negotiation auto
mpls ip
isis circuit-type level-1
!
interface GigabitEthernet1/0
desc toBORDE_1
ip address 10.60.91.10 255.255.255.252
ip enrutador isis ASG
negotiation auto
mpls ip
isis circuit-type level-1
!
interface GigabitEthernet2/0
desc toCSG_2
ip address 10.61.10.9 255.255.255.252
ip enrutador isis ASG
NO SH
mpls ip
isis circuit-type level-1
!
enrutador isis ASG

```

```

net 49.0006.0100.6101.0100.00
is-type level-1
passive-interface Loopback100
mpls ldp sync
mpls traffic-eng enrutador-id Loopback100
!
enrutador bgp 1000
bgp enrutador-id 10.61.10.100
bgp log-neighbor-changes
neighbor 10.62.100.100 remote-as 1000
neighbor 10.62.100.100 update-source Loopback100
neighbor 10.62.110.100 remote-as 1000
neighbor 10.62.110.100 update-source Loopback100
neighbor 10.60.1.100 remote-as 1000
neighbor 10.60.1.100 update-source Loopback100
!
address-family ipv4
network 10.61.10.100 mask 255.255.255.255
neighbor 10.62.100.100 activate
neighbor 10.62.100.100 route-reflector-client
neighbor 10.62.100.100 send-label
neighbor 10.62.110.100 activate
neighbor 10.62.110.100 route-reflector-client
neighbor 10.62.110.100 send-label
neighbor 10.60.1.100 activate
neighbor 10.60.1.100 send-label
exit-address-family
!
address-family vpnv4
neighbor 10.62.100.100 activate
neighbor 10.62.100.100 send-community both
neighbor 10.62.100.100 route-reflector-client
neighbor 10.62.110.100 activate
neighbor 10.62.110.100 send-community both
neighbor 10.62.110.100 route-reflector-client
neighbor 10.60.1.100 activate
neighbor 10.60.1.100 send-community both
exit-address-family
!
end

```

#### **ANEXO 4. Script de configuración equipo CSG.**

```

hostname CSG_1
!
ip vrf HSPA
rd 64512:100003
route-target export 64512:100003
route-target import 64512:100003
!
ip vrf LTE
rd 64512:161001
export map VRFtoCORE

```

```

route-target export 64512:161011
route-target import 64512:100001
route-target import 64512:161011
route-target import 64512:161012
!
ip vrf OAM
rd 64512:111111
route-target export 64512:111111
route-target import 64512:111111
!
interface Loopback1
ip vrf forwarding OAM
ip address 11.11.11.11 255.255.255.255
!
interface Loopback3
ip vrf forwarding HSPA
ip address 31.31.31.33 255.255.255.255
!
interface Loopback4
ip vrf forwarding LTE
ip address 44.44.44.44 255.255.255.255
!
interface Loopback100
ip address 10.62.100.100 255.255.255.255
ip enrutador isis CSG
!
interface GigabitEthernet0/0
ip address 10.61.10.2 255.255.255.252
ip enrutador isis CSG
media-type gbic
speed 1000
duplex full
negotiation auto
mpls ip
isis circuit-type level-1
!
enrutador isis CSG
net 49.0006.0100.6210.0100.00
passive-interface Loopback100
mpls ldp sync
mpls traffic-eng enrutador-id Loopback100
!
enrutador bgp 1000
bgp enrutador-id 10.62.100.100
bgp log-neighbor-changes
neighbor 10.61.10.100 remote-as 1000
neighbor 10.61.10.100 update-source Loopback100
!
address-family ipv4
network 10.62.100.100 mask 255.255.255.255
neighbor 10.61.10.100 activate
neighbor 10.61.10.100 send-label
exit-address-family

```

```

!
address-family vpnv4
  neighbor 10.61.10.100 activate
  neighbor 10.61.10.100 send-community both
exit-address-family
!
address-family ipv4 vrf HSPA
  redistribute connected
  redistribute static
exit-address-family
!
address-family ipv4 vrf LTE
  redistribute connected
  redistribute static
exit-address-family
!
address-family ipv4 vrf OAM
  redistribute connected
  redistribute static
exit-address-family
!
route-map VRFtoCORE permit 5
  set extcommunity rt 64512:161001 additive
!
!
End

```

#### Calidad de Servicio

```

class-map match-any CM-VoIP
  match precedence 5
  match qos-group 5
class-map match-any CM-Video-OUT
  match qos-group 4
class-map match-any CM-NOTCRITICOS-OUT
  match qos-group 2
class-map match-any CM-Controlred
  match precedence 6 7
  match qos-group 6
class-map match-any CM-CRITICOS-OUT
  match qos-group 3
class-map match-any CM-VoIP-OUT
  match qos-group 5
class-map match-any CM-Video
  match precedence 4
  match qos-group 4
class-map match-any CM-CRITICOS
  match precedence 3
  match qos-group 3
class-map match-any CM-Controlred-OUT
  match qos-group 6
class-map match-any CM-NOTCRITICOS
  match precedence 1 2

```

```

match qos-group 1
!
policy-map PM-POLICE
class CM-VoIP
bandwidth percent 15
class CM-Controlred
bandwidth percent 3
class CM-Video
bandwidth percent 15
class CM-CIRITCOS
bandwidth percent 20
class CM-NOTCRITICOS
bandwidth percent 25
class class-default
policy-map PM-POLICE-OUT
class CM-VoIP-OUT
priority percent 10
class CM-Controlred-OUT
bandwidth percent 3
class CM-Video-OUT
bandwidth percent 20
class CM-CRITICOS-OUT
bandwidth percent 20
random-detect
class CM-NOTCRITICOS-OUT
bandwidth percent 40
random-detect
class class-default
random-detect

```

## ANEXO 5. Planes de telefonía móvil de CNT EP

### Plan Móvil Empresas Públicas

Tabla 25: Plan Empresas Públicas

CBM	GB	BONO GB	MINUTOS CUALQUIER DESTINO NACIONAL	LLAMADAS A FIJOS CNT	LLAMADAS A MOVIL CNT	LLAMADAS LDI
\$ 10,00	0.5		100	\$2	\$3	-
\$ 15,00	1	0.5	125	ILIMITADO	\$3	-
\$ 20,00	1.5	0.5	150	ILIMITADO	\$3	.
\$ 25,00	2	0.5	250	ILIMITADO	ILIMITADO	25
\$ 35,00	3	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	25
\$ 45,00	3.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	50
\$ 55,00	4.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	50
\$ 65,00	6.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	50
\$ 80,00	8.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	100
\$100,00	11.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	100
\$140,00	14.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	100

Fuente: CNT EP recuperado de [www.cnt.gob.ec](http://www.cnt.gob.ec) el 18 de mayo de 2018

Elaborado por: Autor

## Plan Móvil Empresas Privadas

Tabla 26: Plan Móvil empresas privadas

CBM	GB	BONO GB	MINUTOS CUALQUIER DESTINO NACIONAL	LLAMADAS A FIJOS CNT	LLAMADAS A MOVIL CNT	LLAMADAS LDI
\$ 10,00	0.5		100	\$2	\$2	-
\$ 15,00	1	0.5	125	ILIMITADO	\$2	-
\$ 20,00	1.5	0.5	150	ILIMITADO	\$2	.
\$ 25,00	2	0.5	250	ILIMITADO	ILIMITADO	25
\$ 35,00	3	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	25
\$ 45,00	3.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	50
\$ 55,00	4.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	50
\$ 65,00	6.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	50
\$ 80,00	8.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	100
\$100,00	11.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	100
\$140,00	14.5	0.5	ILIMITADO	ILIMITADO	ILIMITADO	100

Fuente: CNT EP recuperado de [www.cnt.gob.ec](http://www.cnt.gob.ec) el 18 de mayo de 2018

Elaborado por: Autor

## ANEXO 6. Elementos a ser considerados en la implementación de la red

### Elementos para equipo de acceso

Tabla 27: Elementos para equipo de acceso

Descripción	Cantidad
A901-6CZ-F-D	1
GLC-LH-SMD	2
SOFTWARE	
SL-A901-A=	1

Fuente: CNT EP

Elaborado por: Autor

### Elementos para equipo de Agregación

Tabla 28: Elementos para equipo de agregación

Descripción	Cantidad
ASR903	1
A903-FAN	2
A903-RSP1A-55	2
A900-PWR550-D	2
A900-IMA8S	2
SOFTWARE	
L-SLASR903-A=	1

Fuente: CNT EP

Elaborado por: Autor

### Elementos para equipo de Borde

Tabla 29: Elementos para equipo de borde

Descripción	Cantidad
ASR-9006-DC	1
PWR-2KW-DC-V2	2
ASR-9006-FAN	1
ASR-9006-FILTER	1
A9K-RSP440-TR	2
A9K-MOD80-TR 80G	2
A9K-MPA-20X1GE	1
A9K-MPA-4X10GE	1
XFP10GLR-192SR-L	1
SOFTWARE	
A9K-03.07	1
A9K-AIP-LIC-E	1

Fuente: CNT EP  
 Elaborado por: Autor