



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

## **DISEÑO DE UNA RED IP MPLS UTILIZANDO LA ARQUITECTURA SEAMLESS PARA UN PROVEEDOR DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES CON COBERTURA EN LA REGION 3 DE ECUADOR**

**HUGO MAURICIO VINUEZA OROZCO**

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGÍSTER EN INTERCONECTIVIDAD DE REDES**

**RIOBAMBA - ECUADOR**

**JULIO 2019**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**CERTIFICACIÓN:**

**EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:**

El trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado: “Diseño de una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless para un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la Región 3 de Ecuador”, de responsabilidad del señor Hugo Mauricio Vinuesa Orozco, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación:

**Dr. Juan Mario Vargas Guambo. M.Sc.**

**PRESIDENTE**

---

**Ing. Boris Fernando Sánchez Moreno. M.Sc.**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Mónica Andrea Zabala Haro. M.Sc.**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

**Ing. Víctor Hugo Benítez Bravo. Mgs**

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Riobamba, Julio 2019

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Hugo Mauricio Vinueza Orozco soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

---

**HUGO MAURICIO VINUEZA OROZCO**  
No. Cédula 0603550310

©2018, Hugo Mauricio Vinueza Orozco

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

---

HUGO MAURICIO VINUEZA OROZCO

No. Cédula 0603550310

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Hugo Mauricio Vinueza Orozco, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

---

HUGO MAURICIO VINUEZA OROZCO  
No. Cédula 0603550310

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	XV	
SUMMARY .....	XV	
CAPÍTULO I		
1. INTRODUCCIÓN .....	1	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1	
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2	
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	2	
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3	
1.5. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS .....	3	
CAPÍTULO II		
2. MARCO DE REFERENCIA .....	5	
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	5	
2.2. MARCO TEÓRICO.....	6	
CAPÍTULO III.....		34
3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	34	
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	34	
3.2. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	34	
3.3. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....	35	
3.4. ALCANCE INVESTIGATIVO.....	35	
3.5. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	35	
3.6. UNIDAD DE ANÁLISIS .....	35	
3.7. SELECCIÓN DE LA MUESTRA.....	36	
3.8. RECOLECCIÓN DE DATOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS .....	36	
3.9. INSTRUMENTOS PARA PROCESAR DATOS RECOPIADOS .....	36	
3.10. VARIABLES E INDICADORES .....	37	
3.11. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	37	
3.11.1. MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	38	
3.12. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	38	
3.13. RECOPIACIÓN DE DATOS .....	41	
3.13.1 CANTIDAD DE RUTAS EN EQUIPOS DE ACCESO.....	41	
3.13.2 LATENCIA EN LA RED .....	42	
3.13.3 JITTER.....	44	
3.14. HERRAMIENTAS.....	45	
3.15. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS .....	46	
3.15.1 PRUEBA DE NORMALIDAD .....	46	
3.15.2 COMPARACIÓN DE DISTRIBUCIONES .....	49	
3.15.3 TEST DE WILCOXON.....	51	
CAPÍTULO IV.....		57
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57	
4.1. INDICADORES .....	57	
4.1.1. NÚMERO DE RUTAS.....	57	
4.1.2. JITTER.....	58	
4.1.3. LATENCIA .....	59	
4.2. COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	62	

## CAPÍTULO V

5. PROPUESTA.....	63
5.1. PROPUESTA .....	63
5.2. NOMENCLATURA Y DIRECCIONAMIENTO.....	63
5.3. DISEÑO FÍSICO.....	65
5.3.1 CORE .....	65
5.3.2 SUBREGIÓN TUNGURAHUA .....	65
5.3.3 SUBREGIÓN CHIMBORAZO .....	67
5.3.4 SUBREGIÓN COTOPAXI.....	69
5.3.5 SUBREGIÓN PASTAZA .....	71
5.4. DISEÑO LÓGICO.....	72
5.4.1 CONECTIVIDAD (IGP) .....	72
5.4.2 SEÑALIZACIÓN .....	75
5.4.3 RFC 3107 .....	76
5.4.4 SESIONES BGP .....	77
5.5 SERVICIOS .....	78
CONCLUSIONES .....	79
RECOMENDACIONES .....	80
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- ADSL:** (Asymmetric Digital Subscriber Line) es un tipo de tecnología de línea de abonado digital (DSL).
- Ancho de Banda (bandwidth):** En conexiones a Internet el ancho de banda es la cantidad de información o de datos que se puede enviar a través de una conexión de red en un periodo de tiempo dado. El ancho de banda se indica generalmente en bites por segundo (BPS), kilobites por segundo (kbps), o megabites por segundo (mps). (Wordpress)
- BB-I:** Línea de alta velocidad o serie de conexiones que forman una ruta principal dentro de una red. El término Backbone de internet a menudo se utiliza para describir las principales conexiones de red que forman internet.
- Best Effort:** En telecomunicaciones se habla de “best effort”, que se podría traducir (aunque habitualmente no se hace) como “el mejor esfuerzo”, para definir la forma de prestar aquellos servicios para los que no existe una garantía de calidad de servicio (QoS). (Alvez, Infraestructura Mpls, 2009)
- BGP:** En comunicaciones, BGP (del inglés Border Gateway Protocol) es un protocolo mediante el cual se intercambia información de encaminamiento o ruteo entre sistemas autónomos. (CISCO, n.d.)
- Calidad de Servicio (QoS):** Es el rendimiento promedio de una red de telefonía o de computadoras, particularmente el rendimiento visto por los usuarios de la red.1Cuantitativamente medir la calidad de servicio son considerados varios aspectos del servicio de red, tales como tasas de errores, ancho de banda, rendimiento, retraso en la transmisión, disponibilidad, jitter, etc. (Black, Uyles D., 2000)

<b>Compartición de Carga (Load Sharing):</b>	Se refiere a la técnica usada para compartir el trabajo a realizar entre varios procesos, ordenadores, discos u otros recursos. Está íntimamente ligado a los sistemas de multiprocesamiento, o que hacen uso de más de una unidad de procesamiento para realizar labores útiles. (Juniper Networks, 2010)
<b>DOMINIO MPLS:</b>	Es el conjunto de encaminadores contiguos capaces de trabajar para enlutar y/o conmutar y que se encuentran dentro de un mismo ámbito administrativo. (Huawei, 2010)
<b>DWDM:</b>	(“Dense Wavelength Division Multiplexing”, Multiplexación por División en Longitudes de Onda Densas). Es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica.
<b>IETF:</b>	(“Internet Engineering Task Force”, Grupo de trabajo en Ingeniería de Internet). Es una organización internacional abierta a la normalización, que tiene como objetivos el contribuir a la ingeniería de Internet actuando en diversas áreas, tales como transporte, encaminamiento, seguridad, entre otras. Es una institución formada básicamente por técnicos en Internet e Informática cuya misión es velar porque la arquitectura de la red y los protocolos técnicos que unen a millones de usuarios de todo el mundo funcionen correctamente.
<b>IGP:</b>	(“Interior Gateway Protocol”, Protocolo de Pasarela Interno). Es un protocolo que genera tablas de enrutamiento dentro de un sistema autónomo.
<b>LDP:</b>	(“Label Distribution Protocol”, Protocolo de distribución de Etiquetas). Es uno de los protocolos de enrutamiento implícito que se utiliza con frecuencia. LDP define el conjunto de procedimientos y mensajes a través de los cuales los LSRs establecen LSPs en una red MPLS.
<b>LER:</b>	(“Layer Edge Router”, Router frontera entre capas). Es el encaminador que se encuentra en el borde de la red MPLS y es el

encargado de añadir cabeceras MPLS entre las cabeceras de red y de enlace del paquete entrante, además también es el encargado de retirar esta información cuando un paquete sale de la red MPLS.

- LIB (Label Information Base):** Es la tabla de software mantenido por IP / MPLS routers capaces de almacenar los detalles de puerto y la etiqueta del router MPLS correspondiente al hacer estallar / empujadas en paquetes MPLS entrantes / salientes. (Alvez, Fundamentos de MPLS VPN)
- LSP:** (“Label Switched Path”, Camino conmutado de etiquetas). Es el camino que describen el conjunto de encaminadores y conmutadores que atraviesan los paquetes de un FEC concreto en un único nivel jerárquico en cuanto a la red MPLS. Todos los paquetes del mismo FEC siguen el mismo LSP de principio a fin (en el dominio MPLS).
- LSR:** (“Label Switch Router”, Conmutador de Etiquetas). Es el conmutador interior de la red MPLS que interpreta el valor de la cabecera MPLS y la modifica si es necesario, pero no añade ni elimina etiquetas MPLS.
- MP-BGP:** Multiprotocol Border Gateway Protocol. BGP con extensiones, permite a BGP transportar información de ruteo por múltiples protocolos de capa de red
- MPLS TE:** Multiprotocol Label Switching Traffic Engineering.
- MPLS:** Multiprotocol Label Switching es un mecanismo de transporte de datos estándar creado por la IETF y definido en el RFC 3031. Opera entre la capa de enlace de datos y la capa de red del modelo OS
- PE (Provider Edge):** Es un enrutador entre una red de área del proveedor de servicios y zonas administradas por otros proveedores de la red. Un proveedor de la red suele ser un proveedor de servicios de Internet. (Alvez, Fundamentos de MPLS VPN)

<b>SDH (Synchronous Digital Hierarchy):</b>	Es una tecnología estándar para la transmisión síncrona de datos en medios ópticos. (Black, Uyles D., 2000)
<b>Throughput:</b>	Es el volumen de trabajo o de información neto que fluye a través de un sistema, como puede ser una red de computadoras
<b>VRFs:</b>	("virtual routing and forwarding") es una instancia virtual y separada de la instancia global de ruteo en el dispositivo; es decir, es casi como tener un segundo router corriendo sus propios procesos de ruteo, independientes de cualquier otro presente en el dispositivo.(Juniper Networks, 2010)

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-3. Operacionalización de variables .....	37
Tabla 2-3. Matriz de consistencia .....	38
Tabla 3-3. Información de los equipos del escenario de pruebas.....	39
Tabla 4-3. Número de rutas por escenario de pruebas .....	41
Tabla 5-3. Datos de la prueba 1 de latencia .....	42
Tabla 6-3. Datos de la prueba 2 de latencia .....	43
Tabla 7-3. Comparación de Jitter .....	45
Tabla 1-4. Número de rutas en los segmentos de red.....	57
Tabla 2-4. Valores de Jitter en la red .....	59
Tabla 3-4. Comparación de Latencia para los Escenarios 1 y 2. ....	60
Tabla 4-4. Comparativa de Resultados .....	61
Tabla 1-5. Campos del nombre de los equipos .....	63
Tabla 2-5. Esquema de direccionamiento propuesto para.....	64
Tabla 3-5. Equipos de la red (Subregión Tungurahua) .....	66
Tabla 4-5. Equipos de la red (Subregión Chimborazo).....	68
Tabla 5-5. Equipos de la red (Subregión Cotopaxi).....	70
Tabla 6-5. Equipos de la red (Subregión Pastaza) .....	71
Tabla 7-5. Valores de Area ID .....	73
Tabla 8-5. NSAP & LEVEL ISIS para red propuesta.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2. Diseño tradicional de red MPLS .....	5
Figura 2-2. Diseño tradicional de red MPLS .....	7
Figura 3-2. Ejemplo de Operación - Red MPLS .....	8
Figura 4-2. Esquema general de una VPN MPLS .....	9
Figura 5-2. Modelo VPN MPLS .....	11
Figura 6-2. VRFs en la red MPLS .....	12
Figura 7-2. Ejemplo de formato para Route Distinguisher .....	13
Figura 8-2. Parámetros RT .....	14
Figura 9-2. Propagación de rutas en una red VPN MPLS. ....	15
Figura 10--2. Reenvío de paquetes en una red VPN MPLS.....	17
Figura 11-2. Comando utilizado para mostrar las rutas VPNv4 en equipos Cisco .....	18
Figura 12-2. Ejemplo de una red VPN MPLS con Grupos RR.....	19
Figura 13-2. Protocolo IS - IS sobre VPN MPLS .....	20
Figura 14-2. Cambios en los equipos MPLS de borde para cada servicio .....	21
Figura 15-2. Arquitectura de red tradicional - Sin convergencia .....	23
Figura 16-2. Convergencia de Red con Seamless MPLS.....	23
Figura 17-2. Entrega de servicios simplificada usando Seamless MPLS .....	24
Figura 18-2. Servicios a través de Seamless MPLS con Pseudo-Wire .....	26
Figura 19-2. Arquitectura Seamless MPLS típica.....	27
Figura 20-2. Aplicación de Seamless MPLS en redes de datos .....	29
Figura 21-2. Seamless MPLS aplicado a usuarios residenciales. ....	30
Figura 22-2. Seamless MPLS aplicado a usuarios corporativos. ....	31
Figura 23-2. Seamless MPLS aplicado a backhaul móvil.....	31
Figura 24-2. Redes de Proveedores de Servicios .....	32
Figura 1-3. Escenario 1 - MPLS simulado en EVE-NG .....	40
Figura 2-3. Escenario 2 – Seamless MPLS simulado en EVE-NG.....	41
Figura 3-3. Resultados de la Prueba de Jitter .....	45
Figura 4-3. Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (MIN) .....	46
Figura 5-3. Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (MIN) - Con Carga.....	47
Figura 6-3. Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (AVG) .....	47
Figura 7-3. Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (AVG) - Con Carga.....	47
Figura 8-3. Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (MAX).....	48
Figura 9-3. Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (MAX) - Con Carga .....	48
Figura 10-3. Resultados de Pruebas de Normalidad Jitter (MIN) .....	48
Figura 11-3. Resultados de Pruebas de Normalidad Jitter (AVG).....	48
Figura 12-3. Resultados de Pruebas de Normalidad Jitter (MAX) .....	49
Figura 13-3. Test Wilcoxon Latencia (min).....	52
Figura 14-3. Test Wilcoxon Latencia (avg) .....	53
Figura 15-3. Test Wilcoxon Latencia (max) .....	53
Figura 16-3. Test Wilcoxon – Jitter .....	54
Figura 17-3. Test Wilcoxon - Jitter (AVG).....	55
Figura 18-3 Test Wilcoxon - Jitter (MÁX) .....	55
Figura 1-5. Core de la Red Propuesta .....	65
Figura 2-5. Red propuesta para Tungurahua.....	67
Figura 3-5. Red propuesta para Chimborazo .....	69
Figura 4-5. Red propuesta para Cotopaxi .....	70
Figura 5-5. Red propuesta para Pastaza .....	72
Figura 6-5. IS-IS NSAP Address .....	73

Figura 7-5. Señalización LDP .....	75
Figura 8-5. Señalización RSVP.....	76
Figura 9-5. Señalización BGP-LU .....	77
Figura 10-5. Esquema de Conectividad .....	77

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Distribución de los valores de latencia (MIN).....	49
Gráfico 2-3. Distribución de los valores de latencia (MIN).....	50
Gráfico 3-3. Distribución de los valores de latencia (AVG).....	50
Gráfico 4-3. Distribución de los valores Jitter (MIN).....	50
Gráfico 5-3. Distribución de los valores de Jitter (MAX).....	51
Gráfico 6-3. Distribución de los valores de Jitter (AVG) .....	51
Gráfico 7-3. Comparación de Latencia (min) .....	52
Gráfico 8-3. Comparación de Latencia (avg).....	53
Gráfico 9-3. Comparación de Latencia (max).....	54
Gráfico 10-3. Comparación de Jitter (min) .....	54
Gráfico 11-3. Comparación de Jitter (avg) .....	55
Gráfico 12-3. Comparación de Jitter(max) .....	56
Gráfico 1-4. Comparación de Número de rutas en Escenarios 1 y 2 .....	58
Gráfico 2-4. Comparación de Valores de Jitter en los escenarios 1 y 2.....	59
Gráfico 3-4. Valores de latencia en los escenarios 1 y 2.....	60

## RESUMEN

En la actualidad el despliegue y crecimiento de los servicios de internet móvil y fijo, genera nuevos patrones de tráfico IP y exigencias para tecnologías como 4G-LTE en las redes de los proveedores de servicios de telecomunicaciones. Con el fin de satisfacer las tasas de datos y baja latencia para las nuevas implementaciones es necesario optimizar y evolucionar la arquitectura de las redes tradicionales para facilitar el crecimiento y garantizar la integración de los futuros servicios convergentes. La arquitectura Seamless MPLS que está basada en protocolos estándar, permite segmentar de forma lógica y jerarquizar la red para escalar en el número de nodos con robustez, simplicidad y mejores prestaciones. El objetivo fue evaluar las arquitecturas MPLS tradicional y Seamless MPLS, para lo cual se implementaron 2 escenarios de pruebas utilizando el software Eve-NG. Se evaluaron las funcionalidades, recopilamos, procesamos datos y se utilizó el test de Wilcoxon para comprobar estadísticamente que existe una diferencia significativa entre los datos obtenidos cada uno de los escenarios y determinar la mejor arquitectura. Los resultados obtenidos demuestran que la arquitectura Seamless MPLS presenta un mejor desempeño considerando que los valores de latencia son mejores hasta en 8%, los valores de Jitter tienen una mejora de hasta un 40%, y un número de rutas significativamente menor en los equipos del segmento de acceso y agregación, lo cual es óptimo para la red. Adicionalmente se presenta una propuesta de diseño de una red con arquitectura MPLS para un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador, la propuesta está basada en las recomendaciones del draft-ietf-mpls-seamless-mpls-07 “Seamless MPLS Architecture”.

**PALABRAS CLAVE:** <REDES DE COMPUTADORES>, <CONMUTACIÓN DE ETIQUETAS MULTIPROTOCOLO (MPLS)>, <SEAMLESS MPLS>, <SEGMENTACIÓN DE LA DE RED>, <LATENCIA>, <JITTER>.

## SUMMARY

Currently, the deployment and growth of movable and fixed internet services generate new patterns of IP traffic and demands for technologies such as 4G-LTE in the networks of telecommunications service providers. In order to satisfy data rates and low latency for new implementations, it is necessary to optimize and evolve the architecture of traditional networks to facilitate their growth and guarantee the integration of future convergent services. Seamless MPLS architecture that is based on standard protocols, allows to logically segment and hierarchize the network to scale in the number of nodes with robustness, simplicity and better performance. The purpose of this review was to assess the traditional MPLS and Seamless MPLS architectures, for which 2 test scenarios were implemented using the Ove-NG software. Functionalities were evaluated, data were collected and processed and the Wilcoxon test was used to statistically verify that there is a significant difference between the data obtained in each of the scenarios and to determine the best architecture. The results obtained show that the Seamless MPLS architecture presents a better performance considering that the latency values are better up to 8%, the Jitter values have an improvement of up to 40%, and a significantly lower number of routes in the equipment of the Access and aggregation segment, which is optimal for the network. Additionally, a proposal for the design of a network with MPLS architecture for a telecommunications service provider with coverage in region 3 of Ecuador is presented. The proposal is based on the recommendations of the draft-ietf-mpls-seamless-mpls-07 "Seamless MPLS Architecture".

**KEYWORDS:** <COMPUTER NETWORKS>, <MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS)>, <SEAMLESS MPLS>, <NETWORK SEGMENTATION>, <LATENCY>, <JITTER>.

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad la mayoría de los proveedores de servicios de telecomunicaciones cuentan redes IP MPLS principalmente en sus capas de core y agregación, sin embargo, en la capa de acceso que es la más cercana al cliente, aún se cuenta con diversas tecnologías y principalmente protocolos de capa 2. Y no se cuenta con una red IP MPLS extendida de extremo a extremo, lo que dificulta el despliegue de servicios que requieren esquemas redundantes y de alta disponibilidad, además que, el no contar con MPLS en la capa de acceso dificulta la operación de la red.

Por otro lado, la necesidad de una buena cobertura para servicios fijos y móviles conllevan a que el operador implemente un gran número de equipos de acceso. Extender MPLS hacia los mismos aportaría significativamente en el crecimiento de las tablas de enrutamiento correspondientes al plano de control de la red MPLS, principalmente en los equipos PE (Provider Edge), este crecimiento exponencial de rutas afecta al plano de control de la red en términos de convergencia e inclusive puede llegar a bordear los límites de memoria en los equipos PE, lo que pondría en riesgo la alta disponibilidad del sistema.

Adicionalmente para implementar nuevas tecnologías como 4G LTE se requieren una red de transporte MPLS que sea capaz de adaptarse a nuevos patrones de tráfico con mejores características principalmente en latencia en throughput (rendimiento) ya que los e-node B de 4G LTE se deben comunicar entre si directamente.

En la industria de las telecomunicaciones el año 2011 el IETF (Internet Engineering Task Force) elaboró un draft denominado “Seamless MPLS Architecture” en conjunto con los fabricantes Cisco y Juniper, en el que se incluyen únicamente descripciones conceptuales de la arquitectura, la última actualización de este draft fue la versión 7 de Julio del 2014, si bien este documento indica la Implementación de Seamless MPLS, en el mismo no se detallan todos los aspectos involucrados en la solución.

Luego de la última versión del draft los principales fabricantes de la industria no han realizado nuevos aportes al draft, y más bien avanzaron desarrollando su propia solución, Juniper y Huawei lo continuaron llamando Seamless y Cisco lo denomina Unified MPLS.

En Ecuador en el año 2016 realizó una investigación titulada “OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE ACCESO IP PARA INTERCONECTAR NODOS LTE (IP RAN) HACIA EL CORE DE SERVICIOS DE LA PLATAFORMA DE DATOS MÓVILES” (Paredes, 2016) que, si bien propone un diseño que consiste en segmentar la red bajo una arquitectura Seamless, el mismo está enfocado a redes de acceso IP-RAN para servicios LTE y no a una red MPLS multiservicios. Adicionalmente esta investigación se la desarrolló en Quito, ciudad en la que existe una mayor densidad poblacional a la de las provincias de Tungurahua, Pastaza, Cotopaxi y Chimborazo que conforman la región 3 del Ecuador.

En lo referente a la industria, los proveedores de servicios de Ecuador cuentan con redes MPLS tradicionales, todas las provincias y regiones del país están conectadas a una única red, lo cual no es óptimo ya que todos los dispositivos conectados aportan al crecimiento de las tablas de enrutamiento añadiéndole complejidad a la red.

Al tratarse de redes multiservicios existen distintas plataformas (equipos BRAS, servidores de contenido de cache, etc.) que concentran una excesiva cantidad tráfico en las principales ciudades, lo cual no es óptimo y requiere una mayor cantidad de recursos de transmisión.

## **1.2. Formulación del problema**

El diseño una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless en un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador, permitirá segmentar la red y extender MPLS hacia la capa de acceso, con lo cual se optimiza y mejora el rendimiento de la red.

## **1.3. Justificación de la investigación**

El propósito de esta investigación es mejorar el rendimiento, aumentar la disponibilidad de los equipos de la capa de acceso y facilitar el crecimiento de la red MPLS, mediante una propuesta de diseño basado en la arquitectura Seamless (draft-ietf-mpls-seamless-mpls-07). que busca transformar la arquitectura comúnmente plana de MPLS hacia una estructura jerárquica en la cual la red esté conformada por diferentes dominios independientes a nivel de IGP (por ejemplo: Core, Agregación y Acceso) que no intercambien rutas entre sí, salvo las direcciones IPv4 /32 que sean requeridas de manera selectiva. Este intercambio selectivo de rutas permite a la red continuar escalando y además minimiza la cantidad de rutas IP en cada dominio, optimizándose así la convergencia ante fallas.

Segmentar la red y extender MPLS hacia los equipos la capa de acceso, permitirá a los proveedores de servicios del Ecuador brindar mejores servicios. Con la arquitectura Seamless, ciertas plataformas y servidores (Equipos BRAS y Servidores de Cache, DNS, etc) deben migrar hacia una arquitectura distribuida más cercana y de mejor respuesta al cliente, lo que mejorará la satisfacción de los mismos. De manera particular para la región 3 de Ecuador se propondrá una reingeniería que permita distribuir de manera adecuada cada uno de los equipos y plataformas para un óptimo aprovechamiento de los recursos existentes.

Adicionalmente, el presente estudio permitirá desarrollar una guía con recomendaciones de diseño para los distintos administradores de red. Esta guía facilitará a los profesionales del campo de las telecomunicaciones evolucionar las redes MPLS tradicionales hacia una arquitectura Seamless.

#### **1.4. Objetivos de la investigación**

##### **1.5.1. General**

- Diseñar una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless en un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador, para optimizar el rendimiento y facilitar el crecimiento de la red.

##### **1.5.2. Específicos**

- Diseñar una red con una estructura jerárquica (arquitectura Seamless) conformada por diferentes dominios independientes a nivel de IGP, para reducir la cantidad de rutas IP en cada dominio
- Elaborar un diseño de red basado en la Arquitectura Seamless MPLS que permita extender MPLS hacia la capa de acceso para mejorar la disponibilidad (de los equipos de acceso) y de los servicios.
- Evaluar los parámetros de rendimiento de la arquitectura de las redes MPLS tradicionales y la arquitectura de la red propuesta.
- Elaborar una guía de diseño que facilite a los administradores de red la toma de decisiones para la implementación de la arquitectura Seamless.

#### **1.5. Planteamiento de hipótesis**

A continuación, se plantea la hipótesis alternativa (Ha) y la hipótesis nula (Ho):

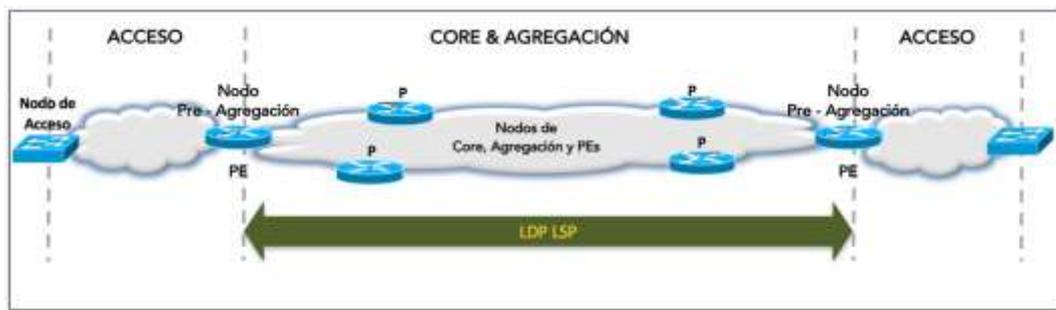
- **Ha=** El Diseño de una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless para un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador., reducirá la cantidad de rutas en las capas de acceso y agregación, y mejorará la latencia de la red.
- **Ho=** El Diseño de una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless para un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador., NO reducirá la cantidad de rutas en las capas de acceso y agregación, y NO mejorará la latencia de la red.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO DE REFERENCIA

#### 2.1. Antecedentes del problema

Por más de una década se han realizado despliegues exitosos de redes MPLS en proveedores de servicios de telecomunicaciones en Latinoamérica, este protocolo ha brindado muchas ventajas, principalmente en términos de simplicidad de operación, privacidad y despliegue de servicios. En la actualidad con los nuevos patrones de tráfico IP y exigencias de latencia que 4G-LTE trae consigo, como afirma (Lavado, 2014) es claro que MPLS L3-VPN es la tecnología ideal para integrar dicha aplicación en una red de servicios convergente. La figura 1-2 muestra una red MPLS tradicional.



**Figura 1-2.** Diseño tradicional de red MPLS

Fuente: (Lavado, 2014)

Sin embargo, “la extensión e integración de MPLS hacia las plataformas de acceso traen consigo nuevos retos en términos de escalabilidad y convergencia”, (Lavado, 2014), los mismos que se detallan a continuación:

#### **Escalabilidad**

- Los equipos de acceso no suelen tener memoria suficiente para albergar las tablas de rutas de toda la red.
- Utilizar filtros a nivel IGP complica la operación.

#### **Convergencia**

- Mientras más nodos de acceso existan en la red MPLS plana, más lenta será la convergencia en toda la red.

## **2.2. Marco teórico**

Tal como se conoce, las redes de core y agregación (sean éstas, redes de área metropolitana, MAN por sus siglas en inglés) usan la tecnología MPLS (Multiprotocol Label Switching) por las ventajas que ésta ofrece en el despliegue, seguridad de la información, administración y corrección de incidentes de las mismas. Una de las principales aplicaciones de las redes MPLS en los proveedores de servicios (Service Providers) es la creación de túneles VPN MPLS para brindar servicios de conectividad y transmisión de paquetes a clientes corporativos que tienen dos o más sedes separadas geográficamente.

De esta manera, las redes MPLS entregan servicios Ethernet a través de diferentes dominios, es decir, las redes de core y metropolitana son manejadas a través de dominios distintos. Por consiguiente, al manejar dominios por separado no se aprovechan los beneficios de MPLS en un esquema end-to-end por cuanto los dispositivos del cliente (CPE, Customer Premises Equipment) usados para el acceso presenta características limitadas al momento de integrarlo a Multiprotocol Label Switching.

En los últimos tiempos, el objetivo a considerar es integrar los dominios de agregación y acceso al dominio de core para aprovechar las ventajas ofrecidas por las redes MPLS en un ambiente end-to-end considerando el hecho de que los dispositivos de acceso no cuentan con características MPLS avanzadas, tienen capacidades limitadas de escalabilidad y mantendrán su simplicidad. El mencionado objetivo se alcanza con la adopción de la tecnología Seamless MPLS que es una arquitectura de red que considera protocolos maduros y conocidos como BGP, ISIS y LDP. Por consiguiente, es fácil deducir que habrá muchas opciones para el despliegue de esta arquitectura, pero se adopta una única estructura para la principal función de la misma por cuanto Seamless MPLS debe ser independiente de las marcas de equipos que la conforman. (MPLS Working Group, 2014, pág. 3)

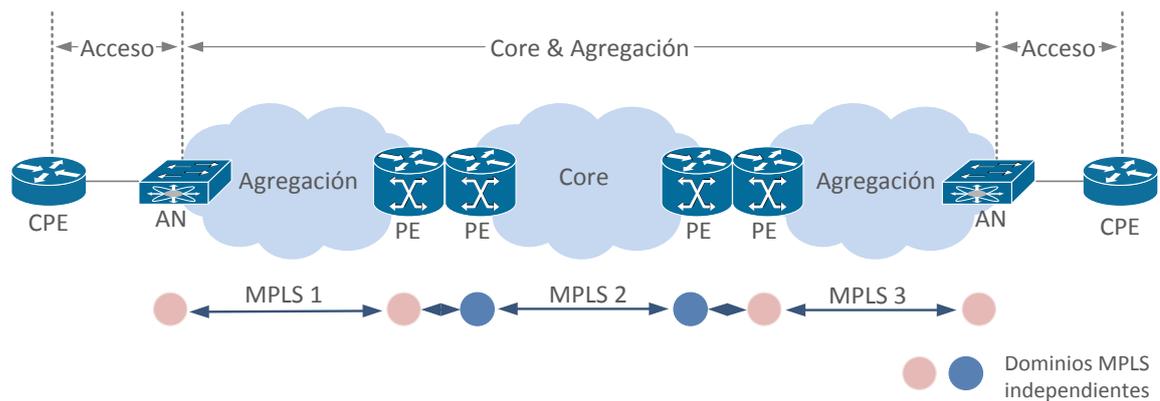
### **2.2.1. MPLS**

La tecnología Multiprotocol Label Switching (MPLS) es muy conocida en los ambientes de networking y usa etiquetas adjuntas a los paquetes para su envío en las redes de datos. De acuerdo a lo indicado por (Cisco Systems Inc., 2007), esta tecnología pasó a ser muy utilizada en redes –en especial de proveedores de servicios o ISP– en muy poco tiempo debido a que a diferencia de otras tecnologías (ATM, Frame Relay) los routers MPLS no usan las direcciones IP de destino para el reenvío de paquetes.

De hecho, con el uso de etiquetas, la tecnología MPLS soluciona los inconvenientes relacionados con el manejo de grandes tablas de enrutamiento en los equipos que deben realizar conmutación de paquetes basada únicamente en el protocolo IP.

### 2.2.1.1. Arquitectura de una red MPLS

Las redes MPLS fundamentalmente están compuestas por equipos que realizan conmutación de etiquetas con el objetivo de transmitir paquetes hacia un destino pre-determinado. Una red MPLS tradicional tiene segmentos definidos los cuales se muestran en la Figura 2-2.



**Figura 2-2.** Diseño tradicional de red MPLS

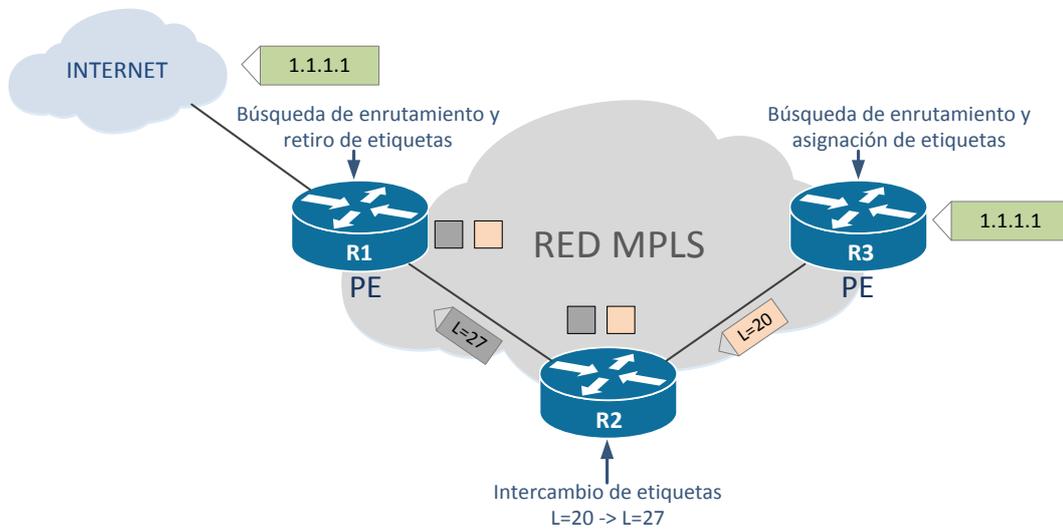
**Fuente:** (Juniper Networks Inc, 2016, pág. 9)

Tal como se puede apreciar en la figura precedente, una red MPLS cuenta con segmentos de core y agregación que están delimitados por equipos PE (Provider Edge) que constituyen nodos de pre-agregación. Por otro lado, se tienen los segmentos de acceso que, si bien sus equipos no cuentan con características MPLS, se deben tomar en cuenta por cuanto representan a los usuarios finales que se benefician de los servicios provistos a partir de este tipo de redes.

### 2.2.1.2. Principio de funcionamiento de MPLS

Según (Network Faculty, 2017), el principio de operación de las redes MPLS se basa en asignar etiquetas a direcciones de destino que cada equipo puede alcanzar dentro de una red de este tipo. El equipo que hace de entrada a la red se denomina LSR-Edge y éste asigna etiquetas a los prefijos o direcciones IP que los equipos vecinos pueden alcanzar. Las etiquetas son anunciadas internamente dentro de la red MPLS y luego de dada la convergencia, cada equipo tendrá dos etiquetas: la primera que identifica hacia qué interface enviar el paquete y la segunda representa la nueva etiqueta que tendrá el paquete. De esta manera los enrutadores MPLS ya no manejan conmutación de paquetes basado en IP.

A continuación, se muestra un diagrama con la transmisión de un paquete que tiene como destino el servidor DNS de Cloudflare en Internet, el cual tiene la dirección IPv4 1.1.1.1:



**Figura 3-2.** Ejemplo de Operación - Red MPLS

**Fuente:** (Network Faculty, 2017)

- Tal como se puede apreciar en la Figura 3-2, se tiene una red MPLS conformada por tres routers R1, R2 y R3.
- Para el paquete que tiene como destino la dirección 1.1.1.1 (Internet), R3 actúa como dispositivo de entrada a la red MPLS –por ello se denomina LSR-Edge o Provider Edge (PE) – y asigna etiquetas conforme a la información que intercambia con los elementos de la red en interno. Para este caso, los routers R2 y R1 envían a R3 información de ruteo la cual indica que los mismos pueden alcanzar a 1.1.1.1; y R3 a su vez asigna etiquetas a dicha dirección.
- Los routers R2 y R1 mantienen dos etiquetas al final de la convergencia de la red.
- Si R3 recibe un paquete con 1.1.1.1 como dirección de destino, asignará una etiqueta y lo enviará por la red MPLS.
- Todos los routers MPLS tienen como principio de operación el conmutar una etiqueta de un paquete por otra y enviar el mismo por una interface específica.
- Finalmente, R1 elimina las etiquetas y se envía el paquete hacia Internet.

### 2.2.1.3. Beneficios de MPLS

De acuerdo a (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 6), entre los beneficios que brinda la tecnología MPLS se pueden anotar:

- Uso de una infraestructura de red unificada.
- El núcleo (por su traducción al inglés, core) no requiere del protocolo BGP (Border Gateway Protocol).
- Se tiene un modelo peer-to-peer para MPLS VPN.
- Flujo de tráfico óptimo.
- Ingeniería de Tráfico.

Si bien se han identificado varios beneficios de las redes MPLS, sin duda alguna se debe anotar la aplicación de las mismas en la provisión de servicios integrados usando soluciones VPN L3 y VPN L2.

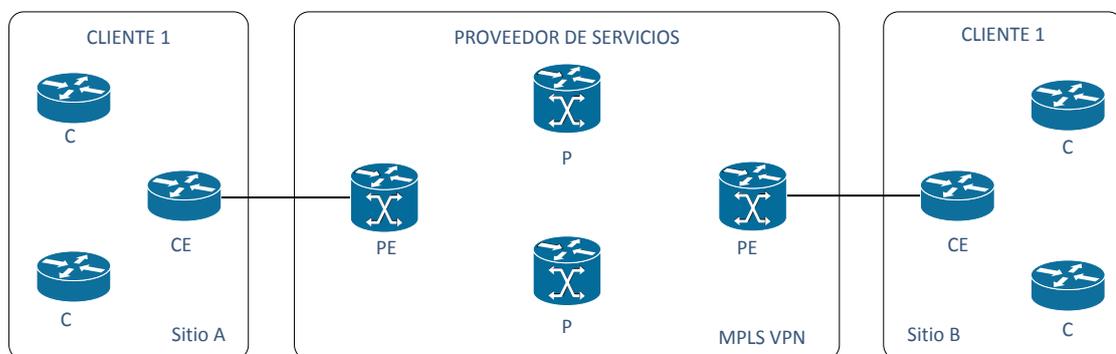
### 2.2.2. MPLS VPN L3 / VPN L2

Las redes MPLS VPN comprenden la aplicación más difundida de la tecnología MPLS. Las VPN de MPLS permiten tener escalabilidad y dividen en segmentos más pequeños a las redes, lo cual es necesario –a menudo– por cuanto se tiene una infraestructura única para proveer redes aisladas a departamentos de un cliente o entre clientes.

#### 2.2.2.1. Modelo VPN MPLS

Con base en (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 174), es importante tomar en cuenta que en el modelo de VPN MPLS, el proveedor de servicios está proporcionando una infraestructura pública común a sus suscriptores a través de su red ya establecida.

En la Figura 4-2, se muestra un esquema general de una VPN MPLS.



**Figura 4-2.** Esquema general de una VPN MPLS

**Fuente:** (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 174)

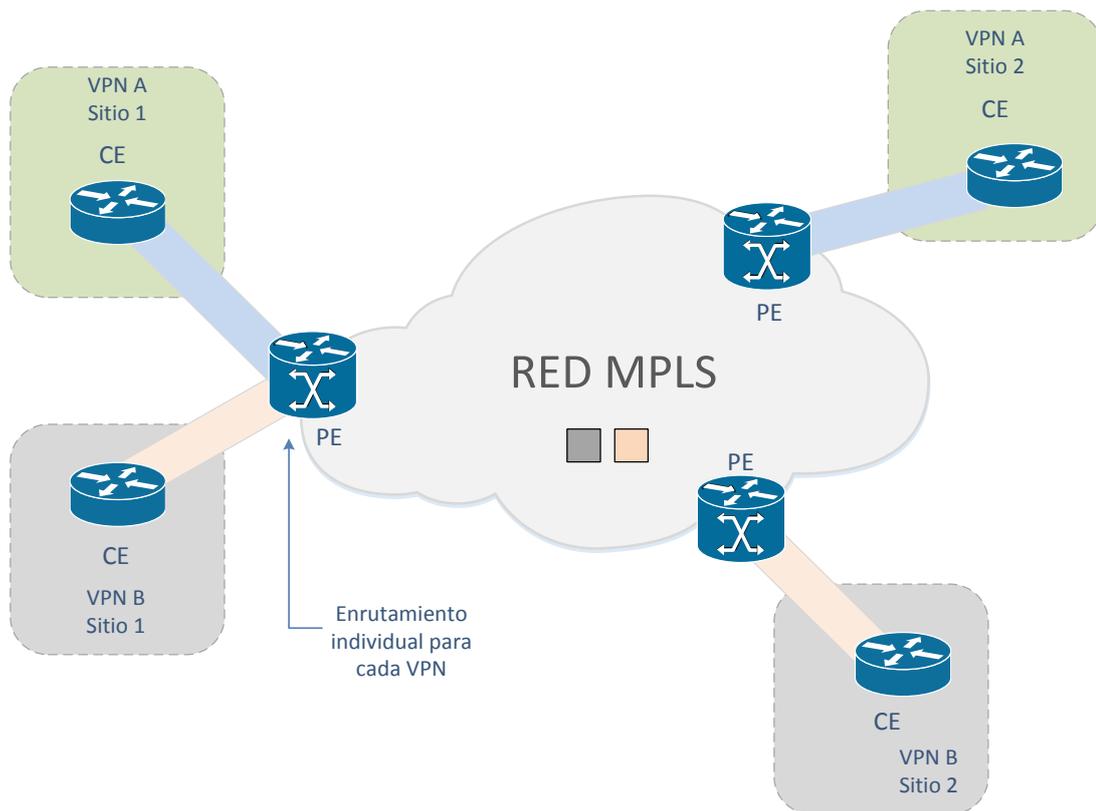
Los componentes mostrados en la figura anterior se describen a continuación:

- Dispositivo PE (Provider Edge): son equipos de límite del proveedor de servicios que están directamente conectados en capa 3 (L3) con los equipos de límite del cliente CE (Customer Edge). Al estar conectados en L3, tanto los equipos PE como los CE deben manejar algún protocolo de enrutamiento entre ellos.
- Dispositivo P (Provider): son ruteadores que no están conectados directamente con los ruteadores del cliente pero que forman parte de la infraestructura MPLS del proveedor de servicios. Es importante anotar que los equipos PE y P tienen la capacidad de manejar etiquetas MPLS y a su vez, reenviar paquetes que contengan etiquetas.
- Dispositivo CE (Customer Edge): son equipos de límite del cliente que están conectados directamente hacia los equipos PE descritos previamente. Los dispositivos CE no necesitan manejar MPLS.
- Dispositivo C (Customer): son ruteadores que no están directamente conectados a los equipos PE del proveedor.

Las soluciones VPN MPLS aprovechan la tecnología MPLS para evitar que los ruteadores P manejen información de enrutamiento para cada una de las VPN formadas con el objetivo de conectar sitios o dependencias de clientes los cuales pueden tener incluso el mismo segmento IP privado. En otras palabras, con MPLS los equipos P realizarían el reenvío de paquetes con base en etiquetas y no en direcciones IP de destino; por consiguiente, no existe necesidad de manejar protocolos como BGP (Border Gateway Protocol), el cual es muy útil cuando se tienen tablas de enrutamiento grandes. (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 175)

En este tipo de soluciones, los ruteadores PE de los extremos son los únicos que conocen las rutas de las VPN MPLS, lo cual permite la escalabilidad del sistema por cuanto el núcleo de la red MPLS estará exento de cambios cuando una nueva VPN sea agregada.

En resumen, la figura 5-2 muestra un esquema de enrutamiento individual para cada VPN lo cual conocen solamente los equipos PE.



**Figura 5-2.** Modelo VPN MPLS

Fuente: (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 176)

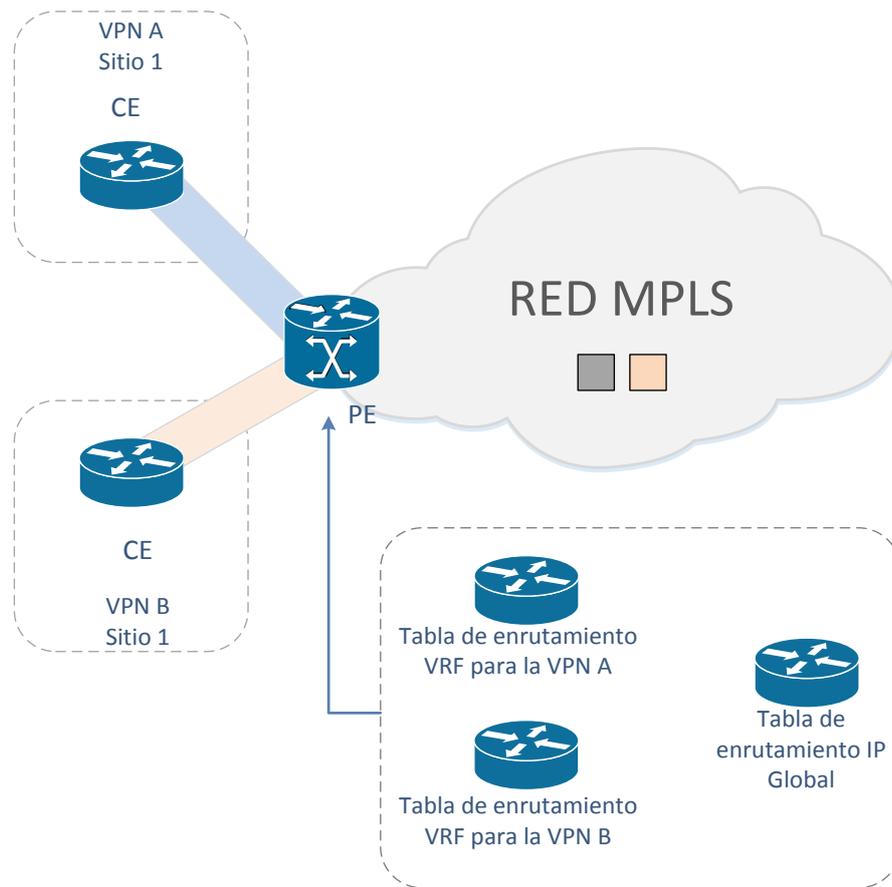
#### 2.2.2.2. Componentes VPN MPLS

Según indica (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 176) la solución VPN MPLS cuenta con componentes que se encuentran en los equipos de límite del proveedor (PE). Dichos componentes son:

- Enrutamiento/envío virtual (Virtual Routing Forwarding, VRF).
- Clasificador de Ruta (Route Distinguisher, RD)
- Objetivos de Ruta (Route Targets, RT)
- Propagación de rutas a través de MP – BGP.
- Reenvío de paquetes con etiquetas.

#### Virtual Routing Forwarding (VRF)

Una VRF es una instancia dentro del equipo PE que combina tablas de enrutamiento, tablas de re-envío y protocolos IP asociados. Es importante anotar que un equipo PE tiene una instancia VFR para cada VPN asociada al mismo. La Figura 6-2 muestra un dispositivo PE que contiene tanto una tabla de enrutamiento IP global como una tabla de enrutamiento para una VRF en particular. (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 176)



**Figura 6-2.** VRFs en la red MPLS

Fuente: (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 177)

Tal como se puede apreciar a partir de la figura anterior, cada VPN tendrá una tabla de enrutamiento por separado por cuanto se tendrá una tabla de enrutamiento privada denominada VRF para cada VPN o cliente configurado en el dispositivo PE. Dicho esto, es inevitable aclarar que la interface del router PE que se conecta al router CE pertenecerá a una sola VRF. Asimismo, tal como se tiene una tabla de enrutamiento para cada VPN, se tiene una tabla de reenvío o forwarding por cada VPN.

### Route Distinguisher (RD)

Con base en lo descrito en (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 179), el concepto Route Distinguisher (RD) aparece ante la necesidad de solventar los inconvenientes generados por tener segmentos de red idénticos entre varios clientes que necesitan contar con conectividad privada a través de una red MPLS.

La propagación de tráfico a través de una MPLS VPN se realiza mediante el protocolo GBP, el cual requiere tener segmentos IP únicos para llevar a cabo la comunicación.

Si dichos segmentos se repitiesen como es el caso de dos clientes que manejen la misma red IPv4, el protocolo BGP tendría problemas para llevar a cabo el envío de paquetes. Debido a estos inconvenientes se define el parámetro Route Distinguisher para proporcionar un identificador único para el segmento de cada cliente y así diferenciarlo de los demás sin importar que se parezcan.

El parámetro RD es un campo de 64 bits que permite representar a segmentos IP como únicos dentro de una VRF. Es importante aclarar que la función de un RD no es identificar a la VPN ya que escenarios complejos pueden tener varios RD asociados con una VPN.

El formato más usado para un RD es:

*ASN:nn*

Dónde:

ASN = Número de sistema autónomo que la IANA asigna al Proveedor de Servicios.

nn: Número que el Proveedor de Servicios asigna de manera única a la VRF.

Por ejemplo, en router Cisco, se tendrá el siguiente resultado respecto al parámetro RD:

```
sydney#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
sydney(config)#ip vrf ?
WORD VPN Routing/Forwarding instance name
sydney(config)#ip vrf cust-one
sydney(config-vrf)#rd ?
ASN:nn or IP-address:nn VPN Route Distinguisher
sydney(config-vrf)#rd 1:1
```

**Figura 7-2.** Ejemplo de formato para Route Distinguisher

**Fuente:** (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 180)

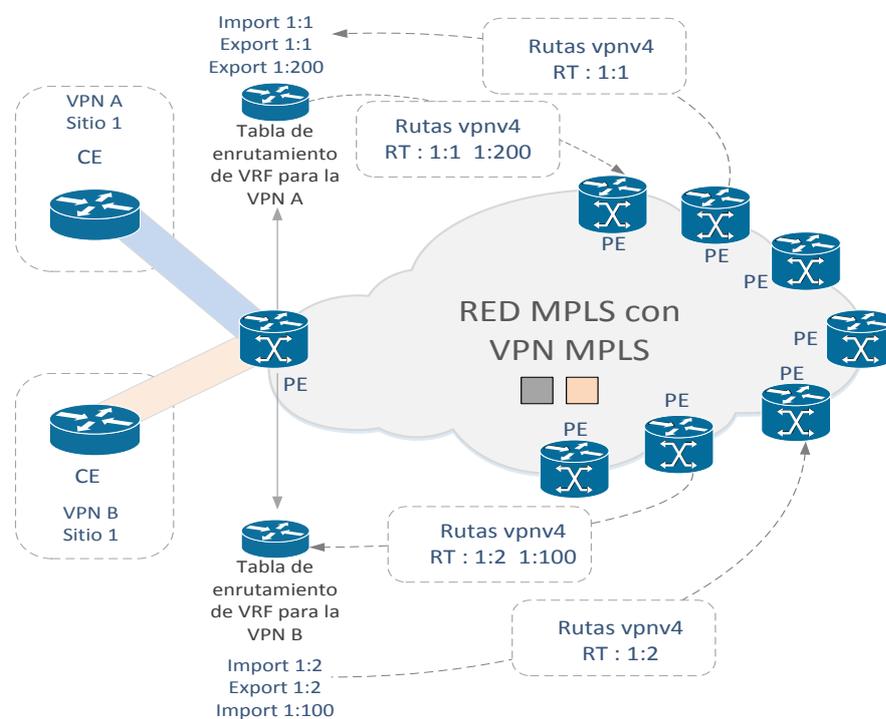
### **Route Targets (RT)**

El parámetro Route Targets (RT) es usado para controlar la comunicación entre una VPN de un cliente 1 con la VPN de un cliente 2 en lo que se denomina extranet y la comunicación dentro de la VPN de un cliente denominada intranet. El parámetro RT es también conocido como la comunidad BGP que indica qué rutas se deben importar desde el protocolo MP – BGP (exterior) hacia la VRF. (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 180).

En este punto se deben analizar dos escenarios:

- Exportar un RT: significa que la ruta VPNv4 recibe un parámetro adicional (comunidad RT) cuando la misma es redistribuida desde la tabla de la VRF hacia la tabla MP – BGP.
- Importar un RT: significa que la ruta VPNv4 recibida desde el MP –BGP es comparada para analizar similitudes con la(s) comunidad(es) configurada(s). Si se obtiene una coincidencia se acepta la ruta o caso contrario, se la rechaza.

En la figura 8-2 se muestra que el parámetro RT controla qué rutas son importadas desde los PE remotos hacia VRF definidas y a su vez controla con qué RT las rutas VPNv4 son exportadas hacia los PE. Es importante anotar que más de un RT puede estar vinculado a una ruta VPNv4.



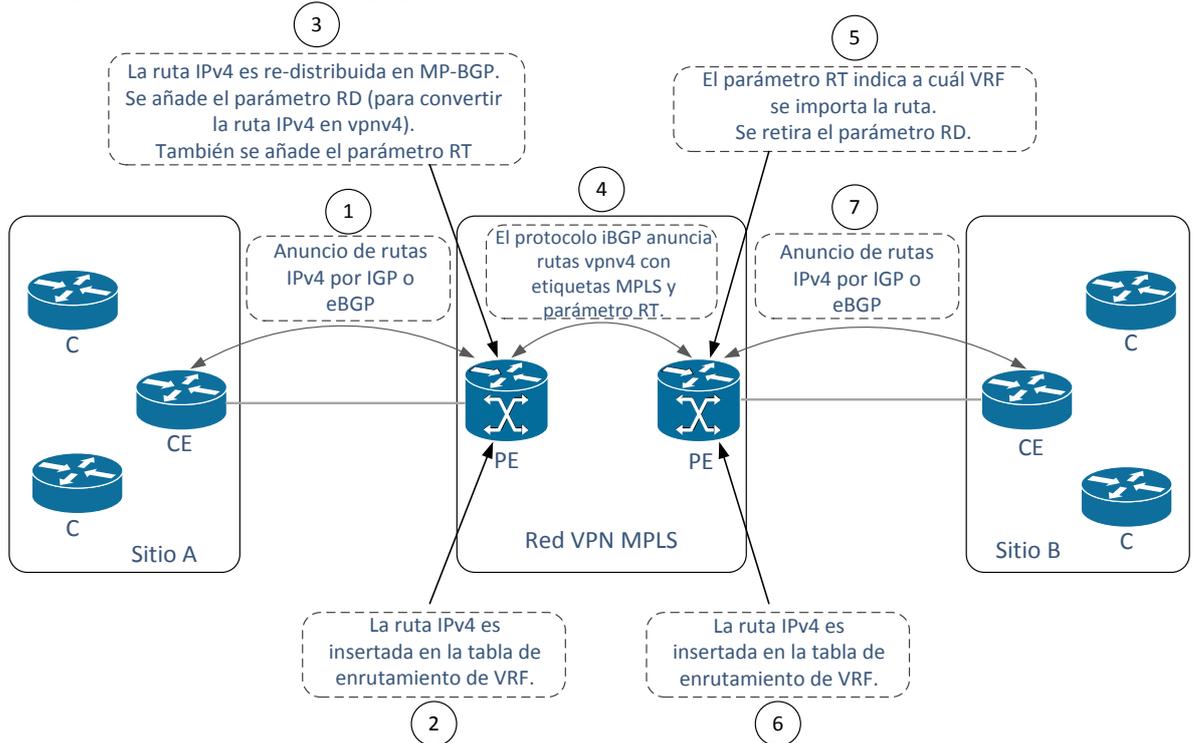
**Figura 8-2.** Parámetros RT

Fuente: (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 181)

### Propagación de rutas en redes VPN MPLS

El protocolo encargado del transporte de paquetes dentro de la red del Proveedor de Servicios es Border Gateway Protocol (BGP) el cual es estable y está diseñado para manejar cientos de miles de rutas, según se describe en (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 185). Debido a que las rutas de las redes VPN MPLS son configuradas simplemente al añadir el parámetro Route Distinguisher (RD) – convirtiéndose éstas en rutas VPNv4–, todas las rutas de un determinado cliente pueden ser transportadas de manera segura a través de la red VPN MPLS.

La figura 9-2 muestra la propagación de rutas en una red VPN MPLS.



**Figura 9-2.** Propagación de rutas en una red VPN MPLS.

**Fuente:** (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 186)

A partir de la figura anterior se puede describir el mecanismo de propagación de rutas en una red VPN MPLS de la siguiente manera:

1. El router PE recibe las rutas desde el router CE usando los protocolos Interior Gateway Protocol (IGP) o external BGP (eBGP).
2. Las rutas recibidas en el paso 1 son ubicadas en la tabla de enrutamiento de VRF.
3. La VRF que se usa para el envío de tráfico es aquella que está definida en la interface del PE conectada con el router CE.
4. A las rutas recibidas (numeral 1 y 2) se añade el parámetro Route Distinguisher (RD) asignado a una determinada VRF. En este punto, es necesario indicar que al añadir el parámetro RD se tiene como resultado rutas VPNv4 que son ubicadas en las tablas de MP – BGP.
5. El protocolo BGP se encarga de distribuir las rutas VPNv4 a todos los dispositivos PE de la red VPN MPLS.
6. En los routers PE, se retiran los parámetros RD de las rutas VPNv4 y se añaden las mismas a la tabla de enrutamiento de VRF como simples rutas IPv4. Nota: que una ruta sea o no ubicada en la tabla de enrutamiento de VRF depende del parámetro RT asociada a la misma por cuanto éste indica la importación de rutas hacia una VRF.

7. Las rutas IPv4 (simples) son anunciadas hacia el ruteador CE usando el protocolo IGP o eBGP que están corriendo entre los dispositivos CE y PE.

Finalmente, se deben considerar las siguientes condiciones para la correcta propagación de rutas en una red VPN MPLS:

Debido a que el protocolo BGP realiza el enrutamiento en el Proveedor de Servicios en un sistema autónomo (AS), se tiene el protocolo iBGP corriendo entre los dispositivos PE.

La propagación desde eBGP –que se ejecuta entre los dispositivos PE y CE– hacia MP-BGP de la red VPN MPLS y viceversa se realiza de manera automática y no requiere configuración adicional. No obstante, la re-distribución de MP-BGP en el protocolo IGP (que corre entre los dispositivos PE y CE) requiere configuración por cuanto no es automática.

### **Re-envío de paquetes en una red VPN MPLS**

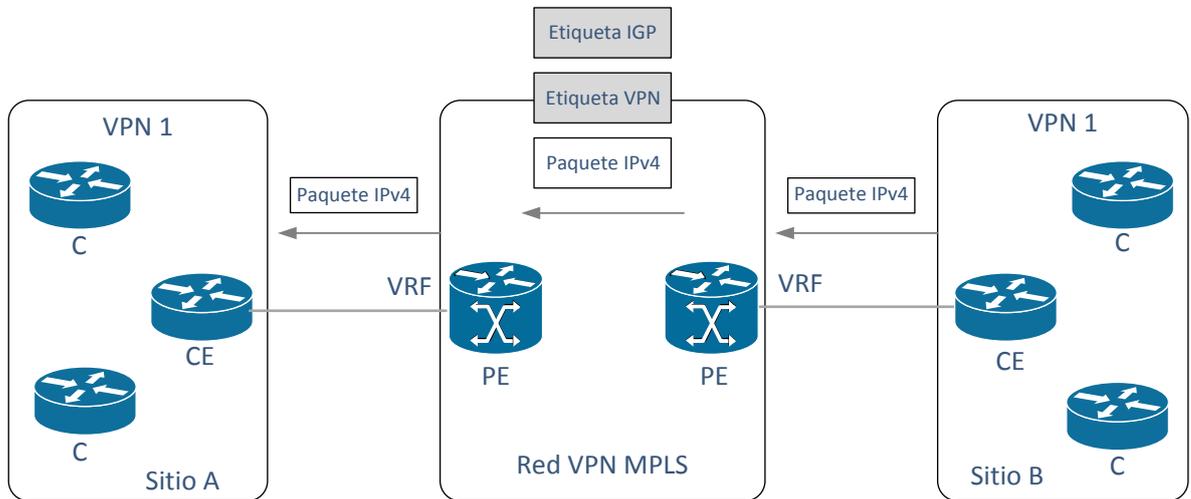
Tal como se describió en el principio de funcionamiento, las redes MPLS usan etiquetas para la transmisión de tráfico por cuanto las mismas no pueden re-enviar paquetes IP puros entre sus ruteadores P. En definitiva, los ruteadores P no tienen información de enrutamiento hacia y desde las VRFs por ello deben contar con datos de etiquetas para realizar el re-envío de tráfico y la forma más común de lograr esto es configurando el protocolo LDP (Label Distribution Protocol) entre los dispositivos P y PE de manera que entre los mismos todo el tráfico sea conmutado en base a etiquetas.

Otra manera, aunque menos común, es utilizar el protocolo RSVP con extensiones de Traffic Engineering (TE) en lo que se denomina MPLS TE. Así, los paquetes IP son luego reenviados con una etiqueta desde el enrutador PE de ingreso al enrutador PE de salida y de esta manera un enrutador P nunca tiene que realizar una búsqueda de la dirección IP de destino. Esta es la forma en que se conmutan los paquetes entre el enrutador PE de entrada y el enrutador PE de salida. Esta etiqueta se denomina etiqueta IGP, porque es la etiqueta que está vinculada a un prefijo IPv4 en la tabla de enrutamiento global del enrutador P y PE, y el IGP de la red del proveedor del servicio se encarga de anunciarlo. (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 187)

La etiqueta IGP es usada solamente para la transmisión de paquetes dentro de la red del Proveedor de Servicios. Tanto la etiqueta IGP como la cabecera IP no cuentan con información sobre la VRF a la que pertenece un paquete y por ello, es necesaria la adición de otra etiqueta para determinar dicha VRF. Dicho esto, todos los paquetes de un cliente en específico son re-enviados con dos etiquetas siendo la IGP la etiqueta superior y la VPN la etiqueta inferior.

Como es de suponer, la etiqueta de VPN debe ser colocada por el enrutador PE de entrada para indicar al enrutador PE de salida la VRF a la cual pertenece el paquete.

La Figura 10-2 muestra, de manera simple, el re-envío de paquetes en una red VPN MPLS en el cual se añaden etiquetas IGP y VPN.



**Figura 10--2.** Reenvío de paquetes en una red VPN MPLS

Fuente: (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 188)

### 2.2.3. Protocolo Border Gateway Protocol (BGP)

De acuerdo a (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 188; CISCO, BGP Unified MPLS iBGP Client), BGP ha sido usado por varios años y es el protocolo estándar para enrutamiento entre dominios. De hecho, la misma red de Internet funciona mediante BGP por cuanto los Proveedores de Servicios lo usan para el enrutamiento entre ellos. Es importante indicar que estos Proveedores usan eBGP para la comunicación con otros y usan iBGP para el enrutamiento dentro de sus propias redes.

Está comprobado que el protocolo BGP puede manejar miles de rutas y ofrece mecanismos para respaldo de las mismas frente a inconvenientes que pueden presentarse; asimismo BGP permite la implementación de políticas flexibles y extensas. Por esta última razón, BGP es el mejor candidato para manejar las rutas de una VPN MPLS. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, el parámetro RD transforma a una ruta IPv4 en una ruta VPNv4 y son estas rutas VPNv4 las que el protocolo iBGP necesita transportar entre los enrutadores PE.

#### 2.2.4. Rutas VPNv4

El campo de 64 bits perteneciente al parámetro RD y el prefijo IPv4 de 32 bits conforman el prefijo VPNv4 que consta de 96 bits. El protocolo MP – BGP anuncia estos prefijos VPNv4 entre los enrutadores PE. Para el caso de los enrutadores Cisco, se puede ver los prefijos VPNv4 que son transportados por BGP mediante el comando mostrado en la figura 11-2. (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 193)

```
show ip bgp vpnv4 {all | rd route-distinguisher | vrf vrf-name} [rib-failure]
[ip-prefix/length [longer-prefixes] [output-modifiers]] [network-address [mask]
[longer-prefixes][labels]
```

**Figura 11-2.** Comando utilizado para mostrar las rutas VPNv4 en equipos Cisco

Fuente: (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 193)

#### 2.2.5. Route Reflector (RR)

En función de lo indicado por (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 197), el protocolo iBGP requiere que todos los nodos que lo usan estén en un esquema full mesh lo cual presenta una dificultad cuando las redes crecen y sobrepasan un tamaño definido. Esto es, al tener una red con  $n$  dispositivos trabajando bajo BGP, pues cada uno de ellos tendrá que establecer comunicaciones con  $n-1$  equipos y por ende habrán  $n*(n-1)/2$  sesiones BGP levantadas entre éstos. Para sobrellevar este inconveniente se implementan lo que comúnmente se conocen como Route Reflectors (RR).

El dispositivo RR es un componente –que trabaja con BGP– cuya función es reflejar rutas de otros equipos que también manejan dicho protocolo. De esta manera, los equipos que trabajan con BGP se comunicarán con el RR mas no con otros equipos BGP y se mantendrá la comunicación como si estuvieran en el esquema full mesh mencionado anteriormente.

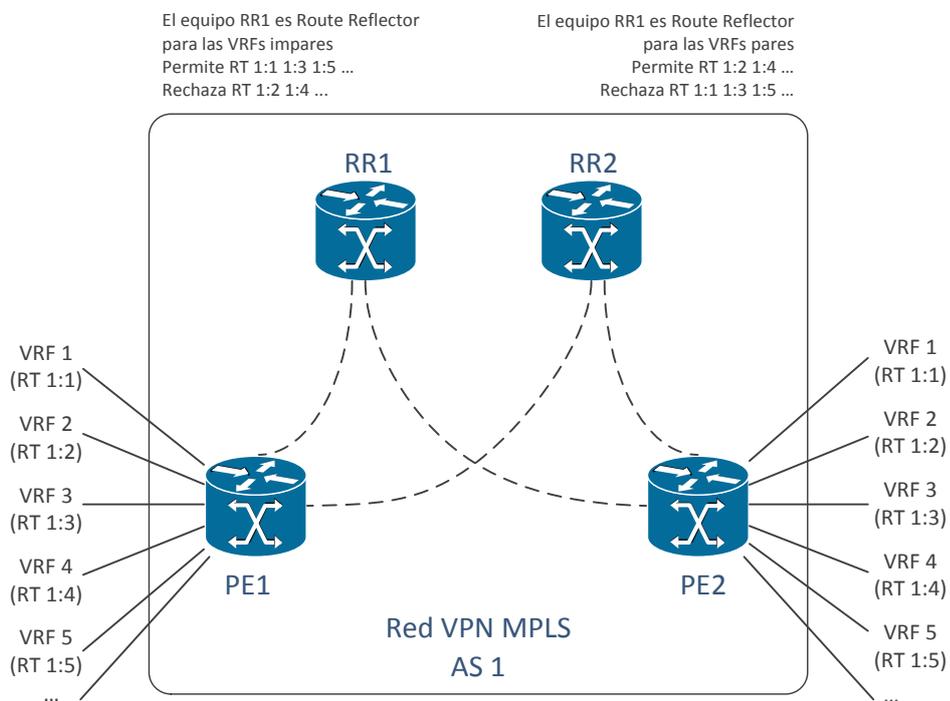
Los equipos que actúan como RR reflejan o re-envían las rutas que reciben. Para el caso de las VPN MPLS, los equipos RR reflejarán los parámetros VPNv4 los cuales cuentan con etiquetas. Es importante indicar que no es recomendable usar a un RR para re-enviar tráfico por cuanto son pocos los equipos que cuentan con esta función y no siempre la trayectoria por un RR es la más óptima.

Debido a que un RR acepta y guarda rutas BGP, su memoria no puede ser aprovechada como lo hace un equipo con funciones de PE. Para solventar este inconveniente se configuran grupos de RR para dividir la carga a reflejar que en este caso serían las rutas VPNv4.

### 2.2.6. Grupos RR

Se puede dividir a todo el conjunto de rutas VPNv4 en segmentos que pueden ser manejados por varios RR o por grupos de RR dentro de una red VPN MPLS. Es innecesario que uno o varios RR cuenten con todas las rutas VPNv4 en sus tablas BGP. Al dividir el número de rutas se incrementa la escalabilidad de la red.

La figura 12-2 muestra un ejemplo del uso de Grupos RR. En el esquema se tienen dos RR en los cuales se ha configurado un Grupo RR para un conjunto de rutas VPNv4. Uno de los RR maneja los anuncios de VPNv4 con parámetros RT pares mientras que el otro maneja aquellos con RT impares. (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 198)



**Figura 12-2.** Ejemplo de una red VPN MPLS con Grupos RR

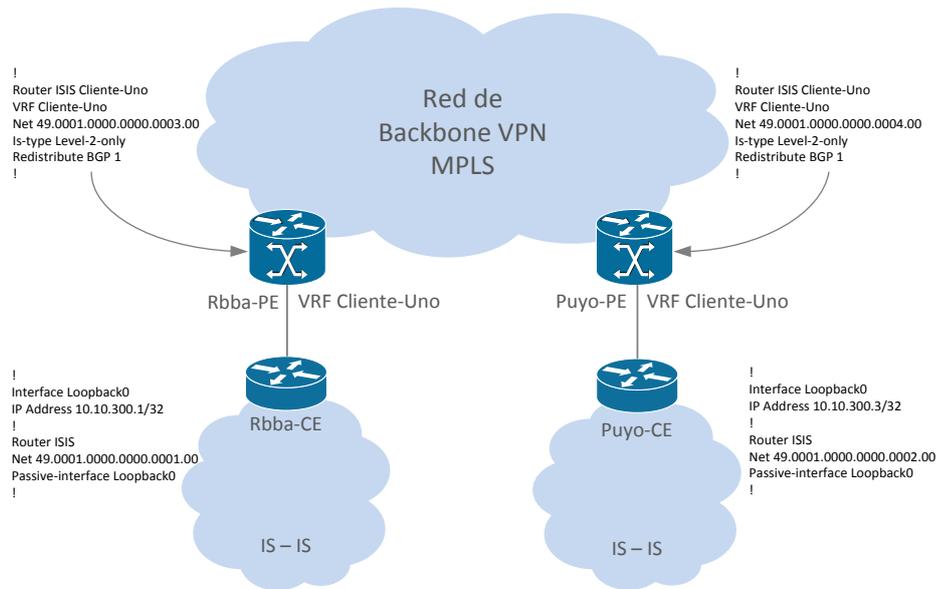
**Fuente:** (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 199)

### 2.2.7. IS – IS

(Cisco Systems Inc., 2007, pág. 226), indica que uno de los posibles protocolos de enrutamiento usados para la comunicación entre los equipos PE y CE es el muy conocido IS – IS que es del tipo estado de enlace. A diferencia del protocolo OSPF, IS – IS corre directamente sobre la capa 2 y no sobre IP. Por el hecho de que IS – IS funciona entre los equipos CE y PE, se requiere que este protocolo conozca información de VRFs presentes en los equipos Provider Edge (PE).

Tal como sucede con otros protocolos de enrutamiento usados para esta función (por ejemplo, OSPF, EIGRP, RIP), cada VRF cuenta con su propio proceso de enrutamiento IS – IS, base de datos IS – IS y tabla de rutas.

La figura 13-2 muestra una red simple con IS – IS. Se puede apreciar que dos sitios con IS – IS están conectados entre sí a través del backbone de la red VPN MPLS. El proceso IS – IS para un cliente de VPN determinado es Cliente-Uno.



**Figura 13-2.** Protocolo IS - IS sobre VPN MPLS

**Fuente:** (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 227)

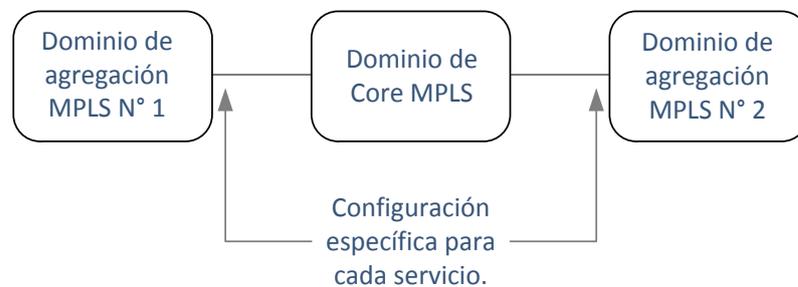
### 2.2.8. Seamless MPLS

Es conocido que la tecnología MPLS en estos tiempos es usada tanto en la capa de acceso como en la capa de servicio siendo las VPN MPLS un claro ejemplo del segundo caso. Si bien en ambos casos se utilizan los mismos protocolos, se utilizan distintas perspectivas en temas como señalización, aprovisionamiento, control, escalabilidad, entre otras. Debido a esto la capa de servicios tiene tráfico relacionado netamente con los servicios provistos al usuario final y por ello se puede implementar una propia arquitectura y manejar protocolos únicos. (MPLS Working Group, 2014, pág. 5)

El principal objetivo de implementar la tecnología Seamless MPLS es proveer una arquitectura que soporte una amplia variedad de servicios en una red MPLS única integrando los segmentos de acceso, agregación y core. La mencionada arquitectura puede ser usada para proveer servicios residenciales, servir de backhaul a la red móvil, proveer servicios corporativos, así como soportar re-enrutamiento rápido, redundancia y balanceo de carga. Además, una red

Seamless MPLS cuenta con tal flexibilidad que nuevos servicios pueden ser creados en cualquier parte de la red y los mismos pueden ser movidos entre localidades de manera fácil.

Según (Cisco Systems Inc., 2007, pág. 6), algunas redes de agregación tienen implementada la tecnología MPLS, pero las mismas están limitadas por áreas de agregación conocidas como dominios. Estos dominios están conectados al core que también maneja MPLS. Sin embargo, es bien sabido que los servicios no están limitados a un solo dominio y que utilizan varios de éstos en su camino hacia y desde el segmento de core. Por lo antes dicho, es muy común que los equipos de borde tanto en la red de core como en la de agregación requieran configuraciones adicionales para permitir el paso de tráfico de servicios. Algunos de estos servicios requieren cambios en las configuraciones incluso de las herramientas de aprovisionamiento como lo muestra la Figura 14-2:



**Figura 14-2.** Cambios en los equipos MPLS de borde para cada servicio

Fuente: (MPLS Working Group, 2014, pág. 7)

Para complementar el principal objetivo que se alcanza con la implementación de Seamless MPLS se puede mencionar que mediante esta tecnología se evita los cambios de configuración y/o añadir nuevos parámetros en los equipos de borde para los dominios de agregación y core. (ZTE Networks, 2016)

Seamless MPLS conecta todos los dominios MPLS de agregación en una sola capa de transporte independientemente de los servicios en sí.

La arquitectura Seamless MPLS separa las capas de servicio y transporte e integra el acceso, la agregación y el core en una sola plataforma. Una de las grandes ventajas es que los problemas en la capa de transporte solo deben resolverse una vez (y las soluciones están disponibles para todos los servicios). Con Seamless MPLS no es necesario utilizar configuraciones específicas del servicio en nodos intermedios; todos los servicios se pueden implementar de manera integral.

Por otro lado, es importante señalar que Seamless MPLS es una arquitectura o diseño de red – más que un protocolo– que expande el dominio MPLS al segmento de acceso y combina a este segmento con los dominios de core y agregación en uno solo.

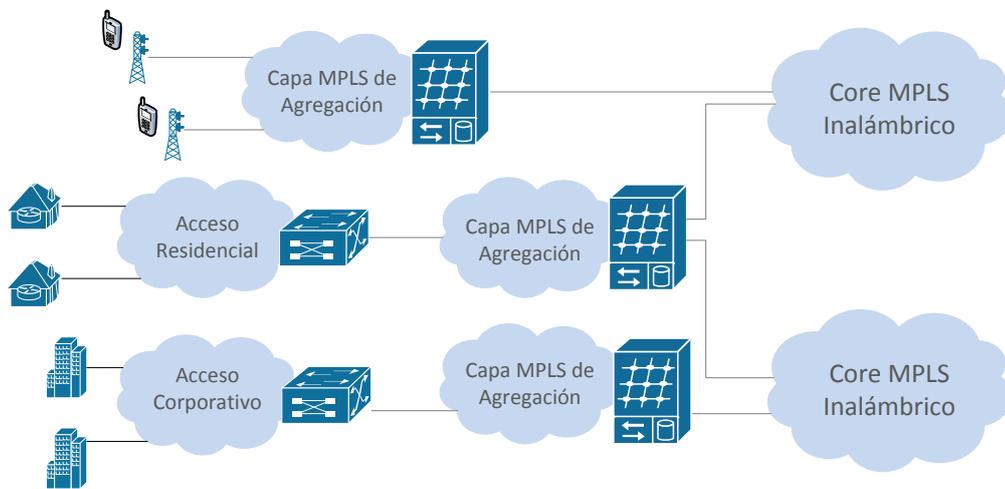
Originalmente, Seamless MPLS fue diseñado para transportar servicios metropolitanos de red fija. Una gran cantidad de dispositivos de acceso de capa 3 que incluyen OLT convergentes que admiten funciones simples de la tecnología MPLS se implementan para la actualización de la red de acceso metropolitana. Estos dispositivos de acceso de capa 3 usan MPLS PW o L2VPN para llevar a casa los servicios de banda ancha.

#### **2.2.8.1. Ventajas de Seamless MPLS**

Según lo que indica (ZTE Networks, 2016), la arquitectura Seamless MPLS tiene las siguientes ventajas:

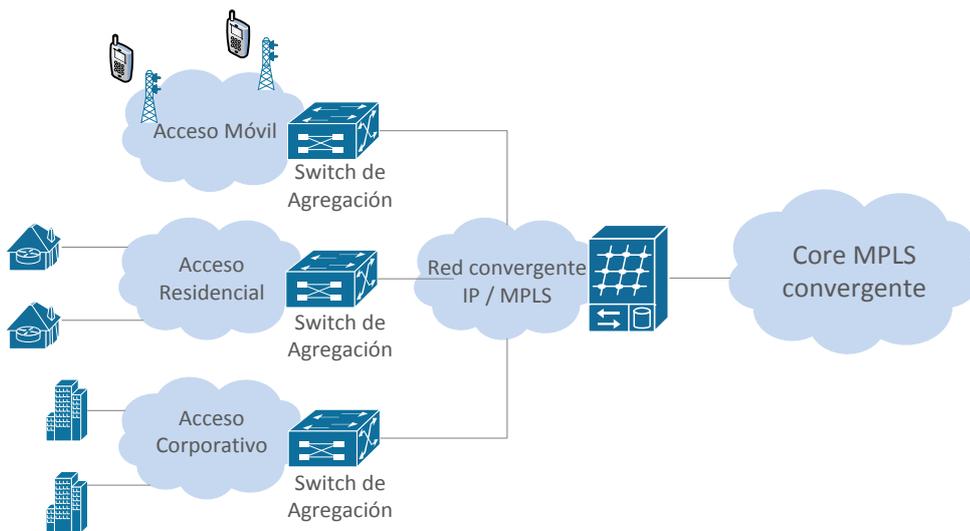
- Utiliza de manera unificada el protocolo IP y la tecnología MPLS sin modificar o extenderlos. Cabe recalcar que tanto IP como MPLS son maduros y facilita la interoperabilidad de red entre varios proveedores.
- Proporciona MPLS OAM unificado, así como tecnologías de protección y recuperación para implementar la conmutación de protección rápida de extremo a extremo.
- Permite una implementación de los servicios rápida y flexible. La configuración de servicios se realiza en dispositivos de red de acceso en lugar de otros nodos. Esto aumenta en gran medida la eficacia del aprovisionamiento de servicios. Además, la implementación del servicio es independiente de la arquitectura de la red. En otras palabras, los puntos de acceso no necesitan conocer parámetros del segmento MAN y la arquitectura de la red de backbone, y los puntos de servicio se pueden implementar en cualquier lugar de la red.
- Proporciona túneles unificados para redes móviles y de línea fija para llevar diversos servicios para usuarios domésticos, usuarios de negocios y estaciones base móviles. Con la convergencia fija y móvil, todos los servicios se transportan en una red.
- Asimismo, en base a lo descrito en (Juniper Networks Inc, 2016, pág. 8), la arquitectura Seamless MPLS permite contar con un solo core en el cual convergen varias tecnologías sin importar el medio de transmisión. Los Proveedores de Servicios están migrando desde redes de acceso y core tradicionales mostrados en la Figura 15-2 hacia este diseño de backhaul residencial, corporativo y móvil convergente para gestionar la nueva velocidad de implementación de

servicios y flexibilidad en los nodos de servicio, y también para garantizar que el servicio extremo a extremo esté disponible independientemente de los cambios en la red.



**Figura 15-2.** Arquitectura de red tradicional - Sin convergencia

**Fuente:** (Juniper Networks Inc, 2016, pág. 8)

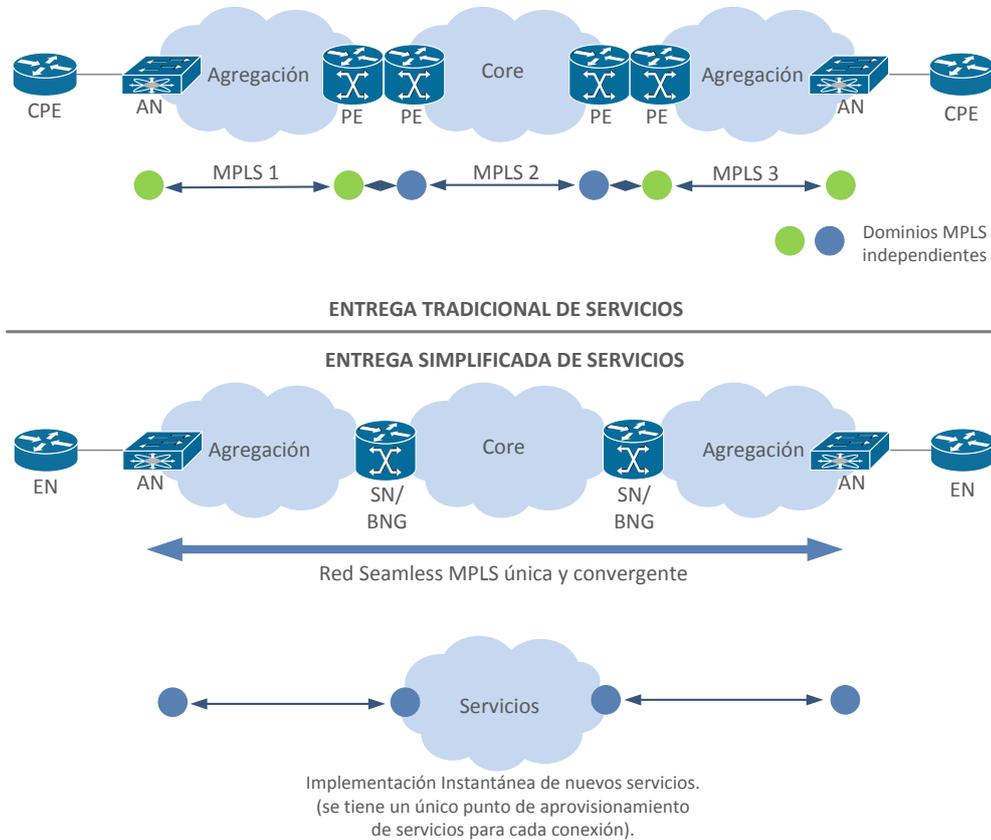


**Figura 16-2.** Convergencia de Red con Seamless MPLS

**Fuente:** (Juniper Networks Inc, 2016, pág. 8)

- La arquitectura Seamless MPLS con la característica pseudo-wire (PW) de extremo ofrece los siguientes beneficios (Juniper Networks Inc, 2016, pág. 8):
- Permite la implementación de una red escalable y agnóstica de servicios.
- Garantiza la disponibilidad de servicios de extremo a extremo frente a cualquier escenario de falla.
- Ofrece acuerdos de nivel de servicio de red que se adapten a diversos servicios.
- Permite contar con una nueva velocidad de introducción/implementación de servicios.

- Permite hacer frente a complejidades operacionales.
- Uno de los beneficios más importantes de Seamless MPLS es la implementación simplificada de servicios de manera instantánea, tal como se puede apreciar en la Figura 17-2 en la cual se compara la forma tradicional de entrega de servicios frente a una manera simplificada al usar Seamless MPLS.



**Figura 17-2.** Entrega de servicios simplificada usando Seamless MPLS

**Fuente:** (Juniper Networks Inc, 2016, pág. 9)

Tal como se puede apreciar en la imagen precedente, la arquitectura Seamless MPLS provee una infraestructura flexible para extender el segmento de acceso hacia dispositivos que brindan servicios de borde tales como BNGs y gateways de redes móviles; servicios que pueden estar centralizados o no, dependiendo de la escalabilidad y costos.

El hecho de llevar la tecnología MPLS al segmento de acceso y permitir el reenvío de paquetes MPLS de extremo a extremo a través de la red requiere nuevas funcionalidades y características, y, por supuesto, una arquitectura sistemática que pueda escalar a decenas de miles de nodos. Por ello, se debe reflexionar sobre el diseño de la arquitectura a adoptar y los equipos con los que se trabajaría por cuanto los mismos deben permitir una migración fluida desde las redes tradicionales a una red MPLS escalable de extremo a extremo.

### 2.2.8.2. Efectos de Seamless MPLS

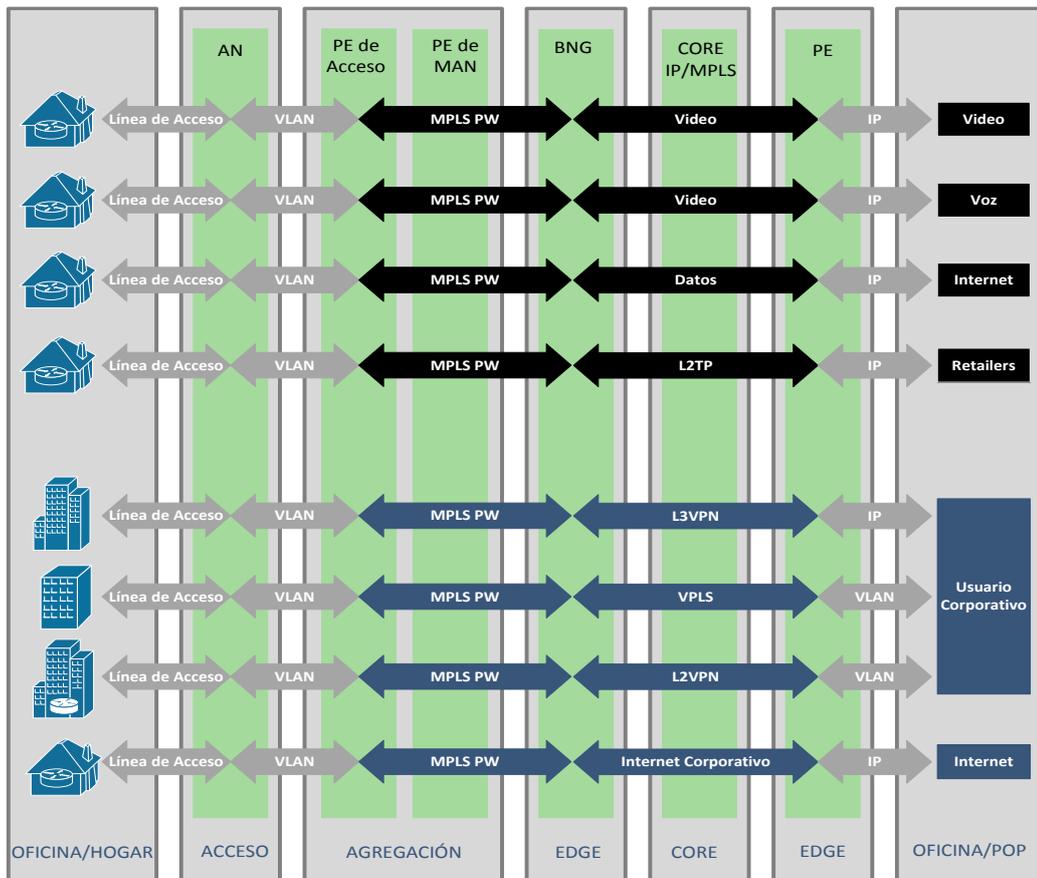
Al trasladar la tecnología MPLS al segmento de acceso (mediante Seamless MPLS) tiene como resultado (Juniper Networks Inc, 2016, pág. 10):

- Flexibilidad de servicios, aprovisionamiento simplificado, operaciones simplificadas.
- La arquitectura Seamless MPLS es una manera sistemática de contar con la tecnología MPLS de extremo a extremo entre los nodos de acceso, todo esto con el re-envío de paquetes basado en etiquetas MPLS. Eso significa que todo lo relacionado con el aprovisionamiento de servicios y operación de la red están basados en MPLS. Con esta arquitectura existe una separación definida entre el plano de control, el plano de administración y el plano de datos; lo cual permite desacoplar los segmentos de aprovisionamiento de servicios y el segmento de transporte como tal. Asimismo, Seamless MPLS permite optimizar y simplificar el aprovisionamiento de servicios minimizando, de esta manera, el número de puntos en los cuales los servicios son creados.
- Flexibilidad y rápida recuperación ante fallos con convergencia de servicios de extremo a extremo.
- El objetivo de Seamless MPLS es extender los mismos beneficios de ingeniería de tráfico de extremo a extremo a través de la red de acceso. La tecnología MPLS tiene capacidades significativas de ingeniería de tráfico, lo que permite la restauración del servicio de extremo a extremo en caso de fallos. La capacidad de realizar ingeniería de tráfico basada en las condiciones de la red en tiempo real permite cumplir con acuerdos de nivel de servicio (SLA), disponibilidad de servicio garantizada y restauración de servicios en cuestión de segundos con mecanismos de re-enrutamiento rápido en caso de fallas de enlace o nodo.
- Contar con escalabilidad al orden de 100.000 nodos en toda la red sin comprometer ninguno de los beneficios de MPLS.
- Seamless MPLS mejora la capacidad de escalar según sea necesario. Los segmentos WAN o de core normalmente constan de 100 a 1000 nodos L3, pero las redes de acceso y agregación metropolitanas podrían contener muchos nodos, con cientos de subredes de acceso y agregación en una sola red. El resultado es una red que puede escalar a más de 100.000 nodos.

### 2.2.8.3. Seamless MPLS con Pseudo-Wire

La Figura 18-2 muestra una serie de servicios convergidos en una arquitectura común Seamless MPLS incluidos servicios residenciales (como video, datos y L2TP) y servicios comerciales (como L3VPN, VPLS, L2VPN e Internet).

Al contar con una terminación directa en el dispositivo BNG para servicios comerciales y residenciales convergentes, los proveedores de servicios obtienen un diseño simplificado desde una perspectiva de aprovisionamiento (menos puntos de aprovisionamiento). (Juniper Networks Inc, 2016, pág. 10)

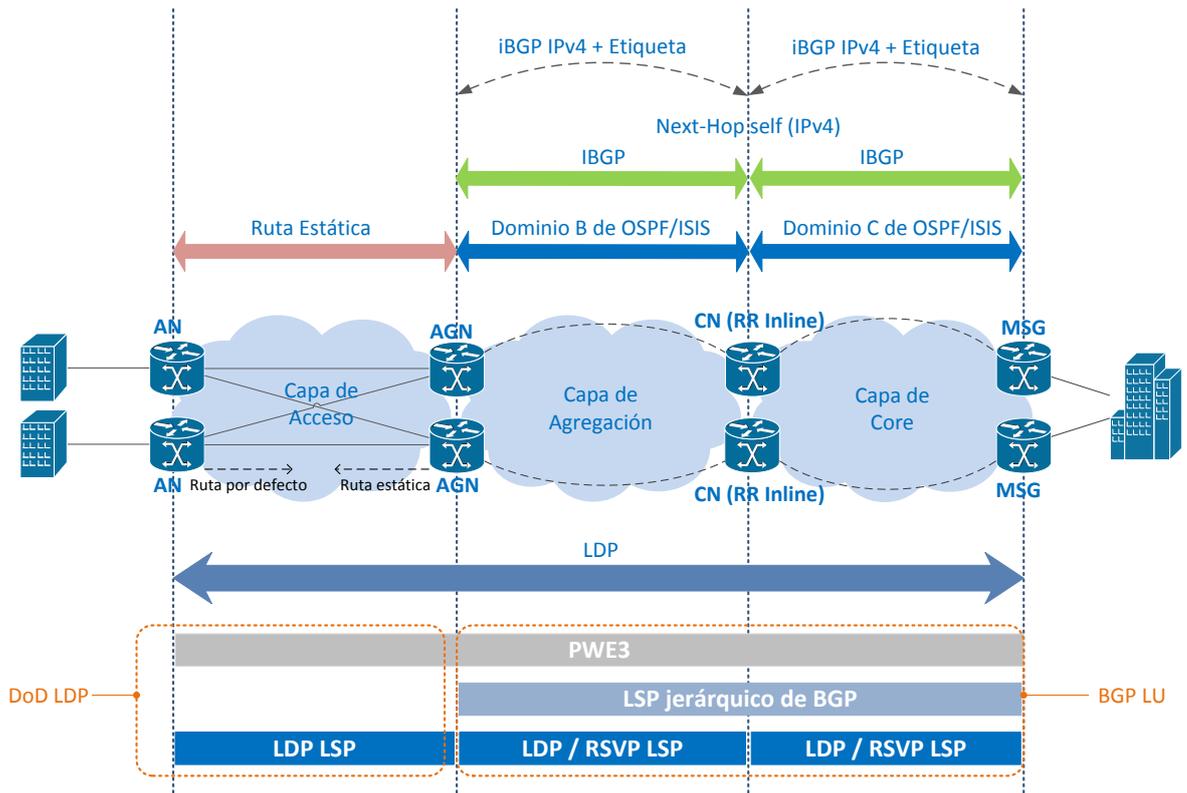


**Figura 18-2.** Servicios a través de Seamless MPLS con Pseudo-Wire

Fuente: (Juniper Networks Inc, 2016, pág. 11)

### 2.2.8.4. Implementación de Seamless MPLS

En resumen, la arquitectura Seamless MPLS se implementa a través de la ejecución del protocolo LDP entre segmentos de la red MPLS, LDP downstream on demand (DoD), unicast de etiquetas (Label Unicast, LU) BGP, conmutación de protección rápida de extremo a extremo, OAM (Operations And Management) de extremo a extremo y etiqueta de entropía. (ZTE Networks, 2016)



**Figura 19-2.** Arquitectura Seamless MPLS típica

Fuente: (ZTE Networks, 2016)

**LDP Inter-área:** en la arquitectura de Seamless MPLS, el segmento MAN y la red de backbone comprenden un dominio MPLS completo, y se ejecuta una interacción MPLS entre ellos. Según lo descrito en el documento RFC 5283, el protocolo LDP se extiende y no tiene restricciones en rutas precisas para LSP entre áreas, excepto por la coincidencia de ruta más larga.

En la arquitectura Seamless MPLS, la convergencia de rutas de una red de backbone se pueden notificar a cada MAN, pero las rutas de cada MAN no se pueden notificar a ésta. Por lo tanto, se reduce el número de rutas IGP en cada área y se puede tener escalabilidad en la red. (ZTE Networks, 2016)

**DoD LDP:** debido a que la capacidad de procesamiento y las memorias de los dispositivos AN no son suficientes para manejar grandes cantidades de rutas y etiquetas, el modo DoD LDP se usa para solicitar solo las etiquetas necesarias del enrutador de cambio de etiquetas (Label Switching Router, LSR). Esto reduce significativamente la cantidad de etiquetas que se reenvían. (ZTE Networks, 2016)

**BGP LU:** la arquitectura Seamless MPLS introduce la función BGP LU. En este caso, el protocolo BGP se usa para manejar todas las rutas para los dispositivos de la red de acceso. A estas rutas se asignan etiquetas, lo que evita una gran cantidad de rutas manejadas por IGP.

Es importante aclarar que el RFC 3107 especifica que el protocolo BGP se usa para asignar etiquetas para rutas de unicast y es aplicable a las inter-áreas de la Opción C L3VPN MPLS. (ZTE Networks, 2016)

Conmutación de protección rápida de extremo a extremo: una red con Seamless MPLS consta de tres partes: interacción LDP DoD entre dispositivos de acceso (AN) y dispositivos de convergencia (AGN), un segmento MAN en la que se ejecutan protocolos IGP y LDP y se establece una relación BGP de vecinos entre los dispositivos AGN y ABR, y una red de backbone en la que se ejecutan los protocolos IGP y LDP. La red adopta los protocolos IGP, LDP y BGP que se pueden conmutar rápidamente para proteger los nodos de red. (ZTE Networks, 2016)

Operación y Mantenimiento (OAM) de extremo a extremo: en las redes que cuentan con la arquitectura Seamless MPLS se despliega la infraestructura OAM jerárquica. En la capa de enlace, OAM se usa para detectar fallas de enlace tales como IEEE 802.1ag e IEEE 802.3ah. En el túnel MPLS establecido, se pueden implementar los protocolos BFD y MPLS OAM (Y.1731) para la detección rápida de conectividad del túnel.

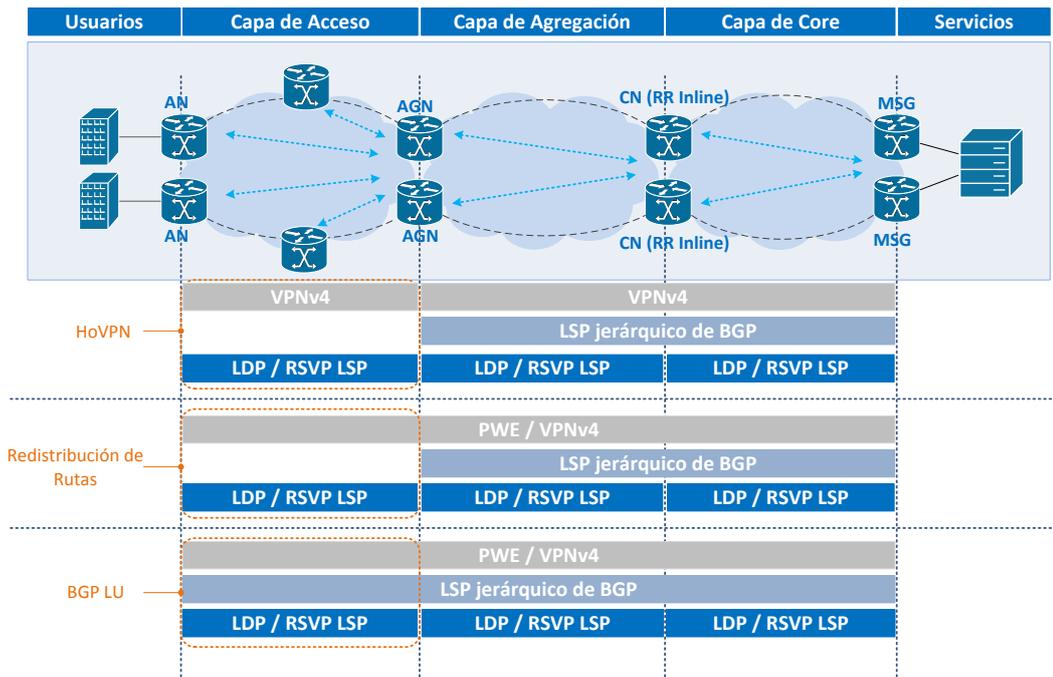
En la capa PW, los paquetes de detección BFD o VCCV se utilizan para la verificación en tiempo real de la conectividad PW. La detección de OAM de extremo a extremo se implementa a través de paquetes de detección de OAM transmitidos de forma transparente entre los usuarios de la red. (ZTE Networks, 2016)

Etiqueta de entropía: en la arquitectura Seamless MPLS, los paquetes se envían a través de etiquetas. Cuando hay varias rutas a una misma dirección IP de destino, es necesaria la implementación de balanceo de carga.

El concepto de etiqueta de entropía se presenta en el RFC 6790 para resolver la cuestión de la carga desigualmente compartida por LSR. Cuando un enrutador de borde de etiqueta (LER) realiza la negociación de etiqueta, se inserta una etiqueta de entropía en un paquete. El LER calcula el valor de la etiqueta de acuerdo con la dirección IP de origen, la dirección IP de destino, el tipo de protocolo y el número de puerto TCP / UDP. Las etiquetas de entropía se utilizan para compartir la carga de tráfico. (ZTE Networks, 2016)

#### **2.2.8.5. Aplicación de Seamless MPLS en una red de datos**

De acuerdo a (ZTE Networks, 2016), Seamless MPLS implementa servicios orientados a la conexión. Esto aumenta en gran medida la eficiencia de la implementación y el mantenimiento del servicio, lo que ayuda a los operadores a reducir sus costos de construcción y mantenimiento.



**Figura 20-2. Aplicación de Seamless MPLS en redes de datos**

Fuente: (ZTE Networks, 2016)

A continuación, se describe la Figura 20-2: Los dispositivos AN no soportan el protocolo IGP; de hecho, soportan funciones de LDP y algunas etiquetas. Por otro lado, los elementos AGN, CN y MSG son dispositivos MPLS de alto desempeño. Es común que en los dispositivos AN se configure una ruta por defecto y en los AGN se configure una ruta estática apuntando a los AN; todo esto para asegurar el enrutamiento entre estos dos equipos.

Cuando el dominio de enrutamiento IGP entre la capa de agregación y la capa de core está aislado, los dispositivos AGN y MSG respectivamente notifican sus direcciones loopback en forma de LU BGP a sus extremos pares. Al recibir la ruta de la etiqueta y las notificaciones de otros vecinos, un CN puede establecer el siguiente salto de la ruta a sí mismo. De esta forma, se puede establecer un LSP BGP extremo a extremo de un salto entre AGN y MSG. ANs usa el modo LDP DoD para asignar etiquetas a las rutas de servicio. Esto reduce la cantidad de etiquetas en la capa de acceso y alivia la carga del dispositivo en dicho segmento.

Entre los AGN, CN y MSG, se puede implementar el modo LDP DU (Downstream Unsolicited) o se usa RSVP-TE como un túnel externo. Las rutas públicas entre AN y MSG son interoperables a través de rutas estáticas y a través de iteraciones BGP LSP. En otras palabras, se pueden establecer entre ellos una sesión de destino LDP y una emulación pseudo-wire de extremo a extremo (PWE3) de extremo a extremo.

De acuerdo con las capacidades de redes y dispositivos en la capa de acceso, existen tres soluciones para la implementación de servicios basadas en el concepto de Seamless MPLS. Cuando los dispositivos AN no admiten la función BGP LU, la jerarquía de VPN (HoVPN) o redistribución de ruta se implementa en la capa de acceso, y la función LU BGP se habilita solo en la capa de agregación y la capa de core.

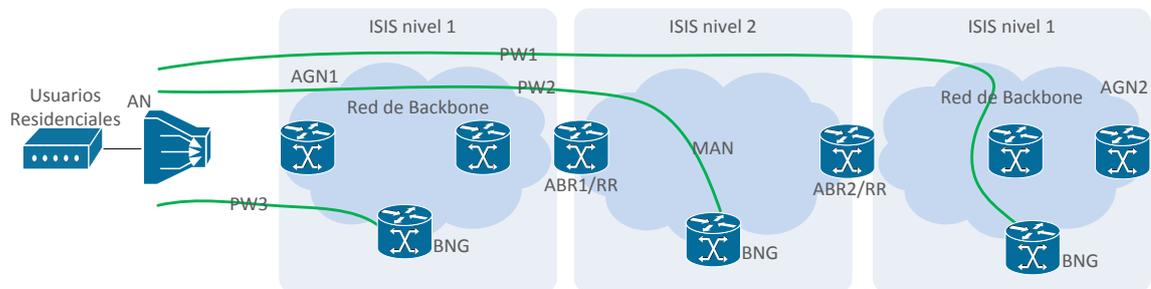
Cuando los dispositivos AN soportan la función BGP LU, la función BGP LU se habilita entre la capa de acceso, la capa de agregación y la capa de core para garantizar que los LSP BGP de extremo a extremo se configuren entre AN y MSG.

#### 2.2.8.6. Escenarios de aplicación de Seamless MPLS

Con base en lo descrito en (ZTE Networks, 2016), la arquitectura Seamless MPLS puede aplicarse en escenarios como:

##### a) Usuarios residenciales

Los servicios a usuarios residenciales comprenden Internet de Banda Ancha y servicios de televisión IP (IPTV). Un dispositivo AN puede configurar múltiples PW según lo requieran los servicios para alcanzar un BNG diferente de una manera rápida y flexible.

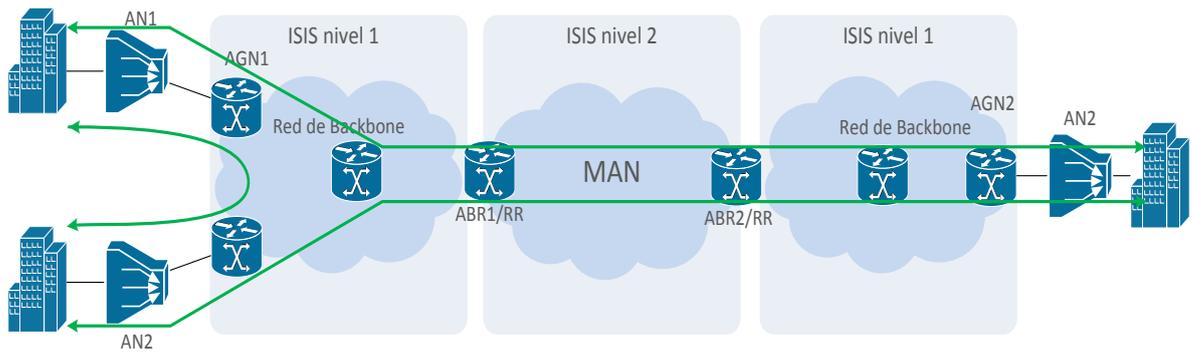


**Figura 21-2.** Seamless MPLS aplicado a usuarios residenciales.

Fuente: (ZTE Networks, 2016)

##### b) Usuarios Corporativos

Es bien sabido que los usuarios corporativos requieren mayor seguridad que los usuarios residenciales, y sus servicios pueden estar dentro o fuera de los MAN. Las comunicaciones seguras se implementan a través de L2VPN o L3VPN.

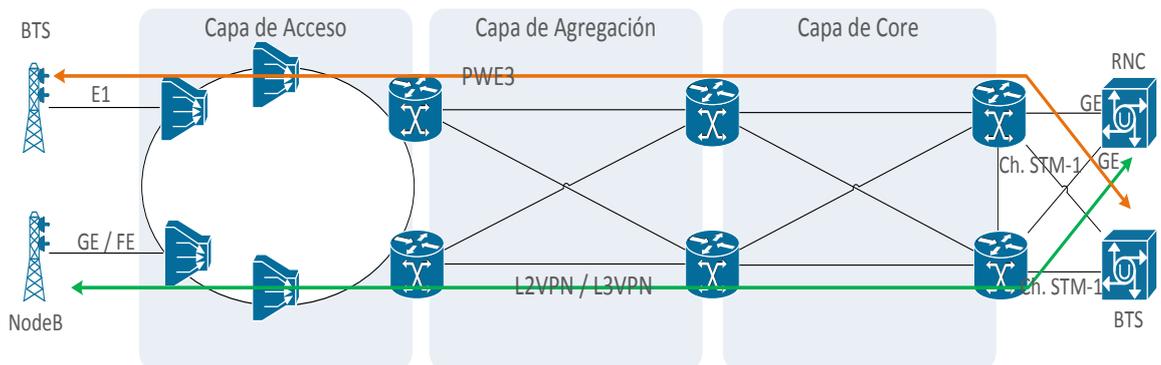


**Figura 22-2.** Seamless MPLS aplicado a usuarios corporativos.

Fuente: (ZTE Networks, 2016)

### c) Backhaul móvil

En una red móvil, las estaciones base antiguas usan PWE3 para permitir la transmisión de paquetes en Ethernet. Esto protege la inversión existente de los operadores. Para las nuevas estaciones base IP, las L2VPN o L3VPN se pueden implementar según sea necesario para aumentar la flexibilidad de la red para el despliegue de LTE (Fig. 23-2).

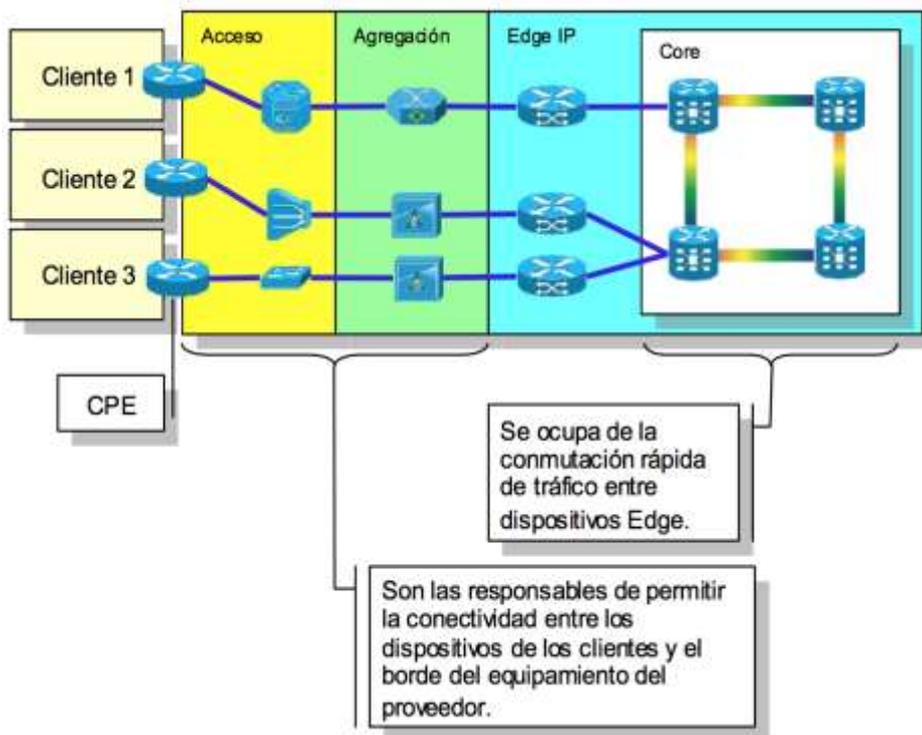


**Figura 23-2.** Seamless MPLS aplicado a backhaul móvil.

Fuente: (ZTE Networks, 2016)

### 2.2.9. Diseño de redes MPLS para Proveedores de Servicios

En el diseño de redes para los proveedores de servicios, tradicionalmente se ha jerarquizado en Capa de Acceso, Capa de Agregación, Capa de Edge IP y Core (Gerometta, 2013)



**Figura 24-2.** Redes de Proveedores de Servicios

**Fuente:** (Gerometta, 2013)

Enfocándonos en la capa de acceso que es la encargada de proveer la conectividad a los equipos directamente involucrados en la prestación de los distintos servicios de telecomunicaciones (centrales telefónicas, DSLAMs para ADSL, OLTs para GPON, radio bases de telefonía celular, enlaces de datos e internet para clientes enterprise, etc.), debemos considerar a esta capa como un segmento crítico que requiere evolucionar ya que en la actualidad existen requerimientos más exigentes.

Por lo anteriormente expuesto, el problema del diseño y la transición hacia redes con mejores prestaciones es de una complejidad muy grande, ya que abarca un sin número de variables que no solamente son de carácter técnico, como el costo de los equipos, los distintos tipos de servicios requeridos por cada segmento de la población, la estructura administrativa de la empresa, etc.

### 2.2.9.1. Principios de diseño

Para la segmentación de redes IP/MPLS, a la fecha no existe una metodología establecida o un modelo definido a seguir, sin embargo, podemos identificar algunos principios u objetivos de diseño a satisfacer, como los que se indican a continuación:

- **Nivel de mallado en el backbone:** si bien es deseable contar con un mallado completo para el máximo nivel de tolerancia a fallas y posibilidades de re-enrutamiento, esto puede no ser factible dependiendo del costo que implique y de las posibilidades de la infraestructura física.
- **Jerarquías:** Contar con jerarquías de niveles en la red es extremadamente importante desde distintos puntos de vista, como agregación de tráfico, agregación de información de enrutamiento, etc. ¿Cuántos niveles jerárquicos son necesarios? Dependerá directamente de la escala de la red.
- **Separación de roles administrativos:** Las problemáticas en las diferentes jerarquías de red y en los diferentes servicios requieren especialización en los operadores, así como también un cierto grado de aislamiento para hacerlas más manejables.
- **Uso compartido de la red de acceso en todo lo posible**
- **QoS para cada servicio:** Diferentes servicios requieren diferentes grados de calidad de servicio. Puede no ser viable mantener los niveles más estrictos en toda la red.
- **Aplicación de ingeniería de tráfico:** Para que la red alcance los niveles de escalabilidad, confiabilidad y niveles de calidad de servicio necesarios, será necesario contar con mecanismos de ingeniería de tráfico que permitan contar con mayor control sobre la calidad de servicio, además de un mejor control sobre los flujos y cantidad de tráfico, al de un esquema basando únicamente en el reenvío hacia el siguiente salto utilizando la información obtenida de las tablas de enrutamiento denominada “next-hop routing”
- **Preparar la red para nuevas tecnologías:** En la actualidad es común hablar de virtualización, y en lo que corresponde a las redes de datos, tecnologías como SDN (software defined networking) y NFV (network function virtualization) se incluirán en la red en el futuro inmediato (Sanchez-Monge & Szarkowicz, 2016), por lo que es necesario tener en cuenta que se debe diseñar redes que puedan adaptar fácilmente su infraestructura a las tecnologías venideras.

## CAPÍTULO III

### 3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

##### 3.1.1. *Tipo de investigación*

La presente investigación puede clasificarse de dos tipos: Aplicativa y cuasi-experimental.

- ***Aplicativa:***

Con la información y conocimientos existentes, producto de investigaciones previas, así como del estudio y la investigación científica se pretende resolver problemas cotidianos de una forma práctica desarrollando un diseño de red innovador de un proveedor de servicios con cobertura en la región 3 de Ecuador.

- ***Experimental:***

Dado que es una investigación objetiva, sistemática y controlada, basada en los principios encontrados en el método científico, en la que se simula y experimenta el diseño de una red con arquitectura Seamless MPLS para evaluar y examinar el desempeño de la misma.

#### 3.2. Métodos de investigación

##### 3.2.1. *Método experimental y de observación*

En la presente investigación se utilizaron los siguientes métodos:

- **Método científico:** Mediante un proceso sistemático y ordenado se establecerá qué relación existe entre la arquitectura actual y propuesta, evaluando el comportamiento de las mismas, para establecer un modelo aplicable a las redes de cada una de las regiones en el territorio ecuatoriano, consta de las siguientes etapas:

- ✓ Planteamiento del problema
- ✓ Levantamiento de la información necesaria
- ✓ Análisis e interpretación de Resultados
- ✓ Proceso de la comprobación de la Hipótesis y difusión de resultados

- **Método comparativo:** Una vez realizado el estudio general se deberá comparar cada una de las arquitecturas, con el objetivo de establecer sus similitudes y diferencias y de ello sacar conclusiones.
- **Método Analítico Sistemático:** Se realizará un estudio individual analizando el rendimiento de cada una de las arquitecturas actual y propuesta, posteriormente se realizará un análisis integro para comparar las arquitecturas y determinar si existe un mejor rendimiento de la red.

### **3.3. Enfoque de la investigación**

El enfoque de la investigación es cualitativo - cuantitativo, mediante los resultados que se obtendrá de la comparación de las arquitecturas de red, se busca medir, Throughput, Latencia, Jitter, tasa de error, así como la cantidad máxima de equipos en segmento de acceso., además interpretar los resultados, que permitan determinar que con la arquitectura propuesta logrará un mejor rendimiento en la red.

### **3.4. Alcance investigativo**

El propósito de la investigación es evaluar el nuevo diseño de red con la arquitectura Seamless, lo que permitirá extender MPLS en la capa de acceso y mejorar la latencia en la red. También se realizará un análisis como alcance explicativo de los resultados.

### **3.5. Población de estudio**

“Es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones” (Selltiz, 1980 citado por (R. Hernández Sampieri, 2010)), para la presente investigación la población de estudio está conformado por:

- Arquitectura de red IP MPLS tradicional
- Arquitectura de red Seamless MPLS

### **3.6. Unidad de análisis**

La unidad de análisis de la investigación son las arquitecturas de la red (tradicional y propuesta) con el propósito de evaluar la Latencia de la red, la disponibilidad de los equipos de la capa de acceso y la cantidad de equipos de acceso integrados a la red con el protocolo MPLS.

### 3.7. Selección de la muestra

En la presente investigación se cuenta con una población pequeña por lo que no se selecciona muestra alguna y se analizará a la población de estudio en su totalidad.

### 3.8. Recolección de datos primarios y secundarios.

Las técnicas que serán utilizadas en la presente investigación son:

- **Búsqueda de información:** permite obtener la información necesaria acerca del objeto de estudio de la investigación para su desarrollo, utilizando las fuentes secundarias disponibles.
- **Pruebas:** permite realizar comparaciones para analizar el rendimiento de las 2 arquitecturas de red (Tradicional y Seamless).
- **Observación:** permite cualificar y cuantificar los resultados de las pruebas realizadas en las 2 arquitecturas de red (Tradicional y Seamless).
- **Análisis:** permite determinar los resultados de la investigación.

Las fuentes que se tomarán como base para esta investigación serán:

- **Primarias**

- Papers y revistas científicas.

- Investigaciones e implementaciones realizadas y libros

- **Secundarias**

- Observaciones y Textos

### 3.9. Instrumentos para procesar datos recopilados.

Los instrumentos para procesar los datos de los indicadores son los siguientes:

- Eve-NG, es una herramienta de simulación que permite montar escenarios de redes emulando software de distintos fabricantes de dispositivos de redes, con esta herramienta se puede simular cada uno de los escenarios (actual y propuesto), y obtener datos de los parámetros del comportamiento de la red, los mismos que pueden servir para realizar el análisis comparativo que permita determinar si efectivamente la arquitectura propuesta tiene un desempeño superior.
- Hoja de cálculo Excel.
- Interpretación de los resultados, mediante la generación de curvas y gráficas que permitan evaluar el comportamiento de la arquitectura de red propuesta.

### 3.10. Variables e indicadores

#### Variable Independiente

Diseño de una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless para un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador.

#### Variable Dependiente

Rendimiento de la red, número de rutas en los equipos de acceso a la red con el protocolo MPLS, Jitter y latencia de la red.

### 3.11. Operacionalización de variables

Teniendo la variable dependiente e independiente se realizó la siguiente generalización de conceptos.

**Tabla 1-3.** Operacionalización de variables

VARIABLES	TIPO	CONCEPTO
<b>Diseño de una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless para un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador</b>	Variable Independiente	Describe la estructura física y lógica de la red transporte IP MPLS de la región 3 del Ecuador, teniendo en cuenta aspectos como, alta disponibilidad, seguridad, redundancia, y principalmente escalabilidad en el segmento de acceso, para obtener un rendimiento óptimo.
<b>Cantidad de equipos de acceso integrados a la red con el protocolo MPLS, disponibilidad en los equipos de la capa de acceso y rendimiento de la red.</b>	Variable Dependiente	El rendimiento de red se refiere a las medidas de calidad de servicio de un producto de telecomunicaciones. Para el presente trabajo las medidas consideradas son: Latencia, es la demora entre el envío desde el emisor y el descifrado por el receptor, esto es principalmente una función del tiempo de viaje de las señales, y el tiempo de procesamiento en los nodos que la información atraviesa. Jitter, es la variación en el tiempo de llegada al receptor de la información. Número de rutas en los equipos de acceso integrados a la red MPLS, se refiere al número de rutas que contiene la tabla de enrutamiento de los equipos que operen en el segmento de acceso de la red con el protocolo MPLS.

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### 3.11.1. Matriz de consistencia

Al realizar la matriz de consistencia se estarán estableciendo los indicadores e índices que nos permitirán evaluar la variable tanto independiente y dependiente y obtener resultados a partir de las mediciones, este proceso se realiza mediante descripciones de tablas en donde se ingresa el objetivo general, la hipótesis, la variable y su tipo, los indicadores, técnicas e instrumentos de medición de la siguiente manera:

**Tabla 2-3.** Matriz de consistencia

<b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>	¿El diseño una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless en un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador, permitirá investigar y trabajar en las necesidades de segmentar la red y extender MPLS hacia la capa de acceso para mejorar el rendimiento y facilitar el crecimiento de la red?
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	Diseñar una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless en un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador, para optimizar el rendimiento y facilitar el crecimiento de la red.
<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>	El Diseño de una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless para un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador., reducirá la cantidad de rutas en las capas de acceso y agregación, y mejorará la latencia de la red.
<b>VARIABLES</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Diseño de una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless para un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador.</li><li>• Rendimiento de la red, cantidad de rutas en equipos de acceso integrados a la red con el protocolo MPLS, Jitter y latencia de la red.</li></ul>
<b>INDICADORES</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Arquitecturas,</li><li>• Número de equipos y enlaces.</li><li>• Latencia.</li><li>• Jitter.</li><li>• Cantidad de rutas en equipos de acceso integrados con el protocolo MPLS</li></ul>
<b>TÉCNICAS</b>	Observaciones
<b>INSTRUMENTOS</b>	Diagramas de red, topología física y lógica, cálculos de números de equipos en el segmento de acceso, cálculo de número de rutas. Simulación con Software EVE-NG

**Realizado por:** Vinueza, H. 2018

### 3.12. Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo cuasi-experimental, puesto que se comparará el rendimiento una red MPLS tradicional con el de una red MPLS con arquitectura Seamless. Con el objeto de determinar el esquema óptimo para la red de la RG3 de Ecuador. Para este propósito se evaluarán 2 escenarios los mismos que serán implementados en un ambiente virtual utilizando el simulador de EVE-NG y IOS de CISCO.

Cada uno de los escenarios de pruebas, fue construido con el mismo número de equipos y topología física. En los dos escenarios se utilizó IS-IS como IGP (Protocolo de Gateway Interior) y LDP (Protocolo de Distribución de Etiquetas).

En cada uno de los equipos que forman parte de la red se configuro la IP de Gestión (interface loopback 100) y el hostname que permite identificar el equipo, esta información se describe en la siguiente tabla:

**Tabla 3-3.** Información de los equipos del escenario de pruebas

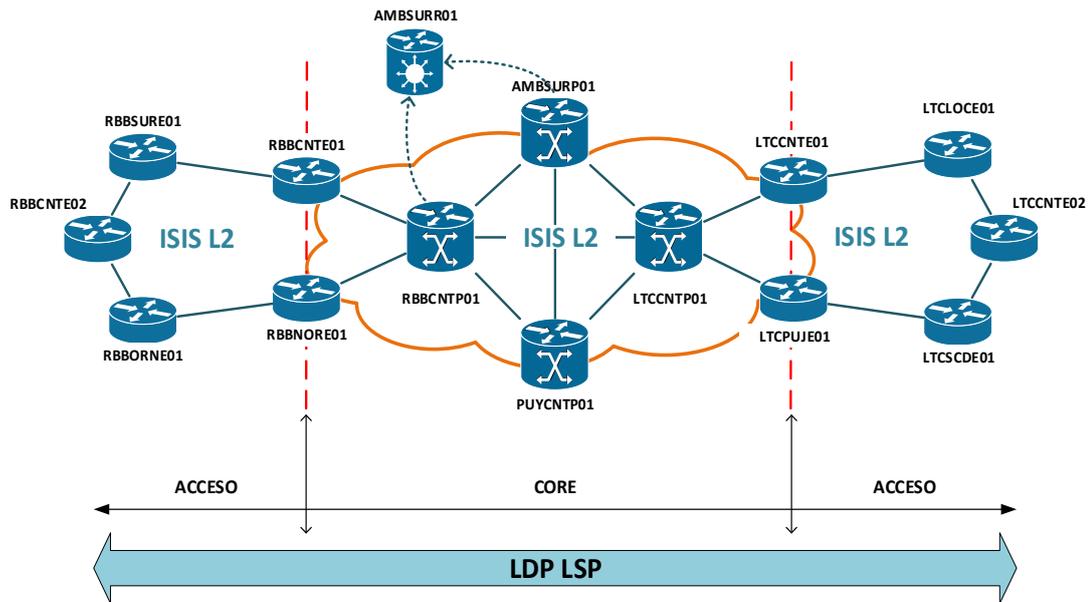
LOCALIDAD	NEMÓNICO	IP GESTIÓN	FUNCIÓN
AMBATO SUR	AMBSURP01	10.3.1.100	CORE
RIOBAMBA CENTRO	RBBCNTP01	10.3.32.100	CORE
LATACUNGA CENTRO	LTCCNTP01	10.3.32.100	CORE
PUYO CENTRO	PUYCNTTP01	10.3.32.100	CORE
AMBATO SUR	AMBSURR01	10.3.32.100	ROUTE REFLECTOR
RIOBAMBA CENTRO	RBBCNTE01	10.32.1.100	PE AGREGACIÓN
RIOBAMBA CENTRO	RBBCNTE02	10.32.4.100	PE ACCESO
RIOBAMBA SUR	RBBSURE01	10.32.3.100	PE ACCESO
RIOBAMBA NORTE	RBBNORE01	10.32.2.100	PE AGREGACIÓN
RIOBAMBA ORIENTAL	RBBORNE01	10.32.5.100	PE ACCESO
LATACUNGA CENTRO	LTCCNTE01	10.33.1.100	PE AGREGACIÓN
LATACUNGA CENTRO	LTCCNTE02	10.33.4.100	PE ACCESO
LOCOA	LTCLOCE01	10.33.3.100	PE ACCESO
SALCEDO	LTCSCDE01	10.33.5.100	PE ACCESO
PUJILÍ	LTCPUJE01	10.33.2.100	PE AGREGACIÓN

Realizado por: Vinueza, H. 2018

#### • Escenario 1 – MPLS

Esta implementado con la arquitectura MPLS tradicional, cuenta con un único dominio de enrutamiento IGP con el protocolo IS-IS L2 (nivel 2), y LDP para la distribución de las etiquetas, en este escenario los LSP se forman en base a la información del IGP, y está compuesto por los siguientes elementos:

- 1 Red de core conformada por 4 equipos de Core (P)
- 2 Anillos de acceso formados por 10 Equipos PEs
- 1 Route Reflector



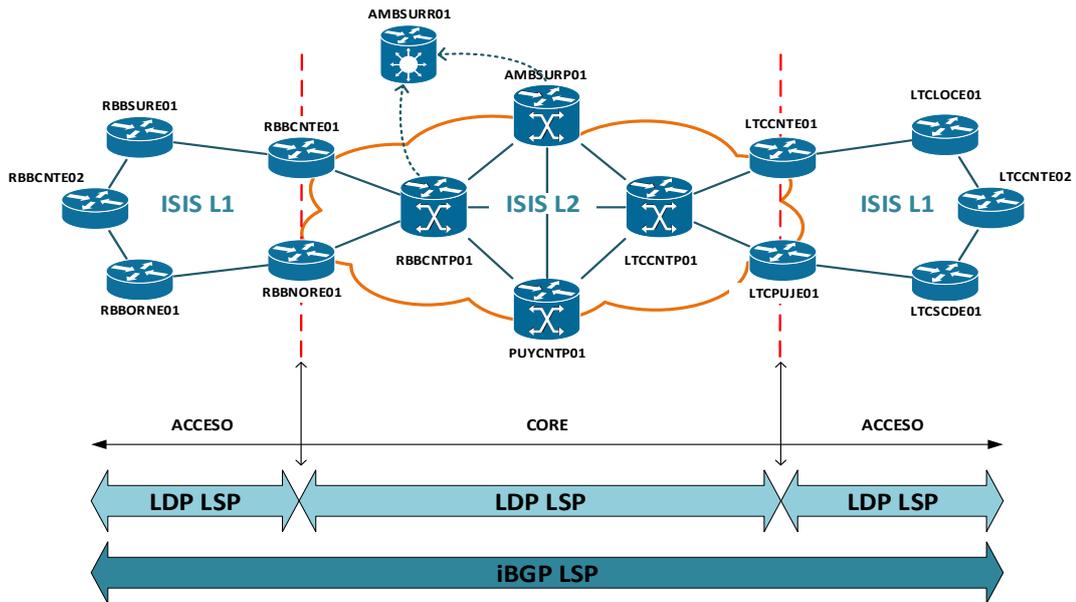
**Figura 1-3.** Escenario 1 - MPLS simulado en EVE-NG

Realizado por: Vinuesa, H. 2018

- **Escenario 2 - SEAMLESS MPLS**

Está construido bajo la arquitectura Seamless MPLS, el dominio de enrutamiento de red para este escenario fue dividido en 3 segmentos, segmento de core (IS-IS L2), segmento de acceso para la provincia de Chimborazo (IS-IS L1) y segmento de acceso para la provincia de Cotopaxi (IS-IS L1), se utiliza LDP para la creación de los LSP de cada uno de los 3 segmentos del dominio de enrutamiento, y además iBGP + Labels, es decir las etiquetas son transportadas por BGP para que se puedan establecer los LSPs extremo a extremo, en cada segmento de acceso se seleccionaron 2 equipos PEs ABR para el intercambio de dichas etiquetas, el escenario 2 tiene los siguientes equipos:

- 1 Red de Core, conformada por 4 equipos de Core (P)
- 2 Anillos de acceso, cada uno consta de 2 Equipos (PEs ABR) y 3 equipos PEs
- 1 Route Reflector



**Figura 2-3.** Escenario 2 – Seamless MPLS simulado en EVE-NG.

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### 3.13. Recopilación de datos

#### 3.13.1 Cantidad de rutas en equipos de acceso

Con respecto a la cantidad equipos de acceso que se pueden integrar a la red con el protocolo MPLS, la misma está relacionada con el número de rutas que puede soportar la memoria RAM equipo, por lo cual se analizó el número de rutas en un equipo de acceso en las dos arquitecturas, los resultados obtenidos se presentan a continuación en la tabla 4:

**Tabla 4-3.** Número de rutas por escenario de pruebas

Equipos en la red	Segmento de Red	No. de Rutas	
		Escenario 1 MPLS	Escenario 2 Seamless MPLS
15	Core	15	4
15	Red Acceso Chimborazo	15	5
15	Red Acceso Cotopaxi	15	5

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### 3.13.2 Latencia en la red

Para el análisis de la latencia se realizaron las pruebas con el uso del comando ping desde el equipo RBBCNTE02 hasta el equipo LTCCNTE02, ya que son los puntos más extremos de la red, este test fue realizado en las mismas condiciones para los 2 escenarios.

**Prueba 1:** se realizó una prueba de ping simple de 250 repeticiones enviando 2 paquetes en cada prueba, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 5-3.** Datos de la prueba 1 de latencia

PRUEBA	ESCENARIO 1 MPLS			ESCENARIO 2 SEAMLESS		
	Min	avg	Max	min	avg	max
1	260	318	376	132	152	172
2	148	152	156	108	110	112
3	156	164	172	84	114	144
4	152	178	204	108	126	144
5	128	146	164	132	144	156
6	148	156	164	112	136	160
7	124	124	124	128	144	160
8	172	176	180	112	118	124
9	112	128	144	108	112	116
10	148	148	148	148	148	148
11	128	150	172	128	136	144
12	108	118	128	124	134	144
13	116	130	144	140	140	140
14	136	142	148	124	130	136
15	140	142	144	116	118	120
16	160	164	168	120	134	148
17	140	146	152	88	108	128
18	144	162	180	116	136	156
19	112	116	120	108	128	148
20	152	154	156	148	154	160
21	136	142	148	116	136	156
22	116	138	160	104	116	128
23	116	118	120	112	112	112
24	144	146	148	88	108	128
25	140	152	164	104	110	116
26	124	130	136	144	144	144
27	132	154	176	116	134	152
28	116	118	120	144	156	168
29	136	142	148	112	118	124
30	152	162	172	124	140	156
31	108	144	180	148	148	148
32	136	142	148	108	124	140
33	136	168	200	112	132	152
34	160	160	160	104	108	112
35	144	158	172	144	146	148
36	152	168	184	112	116	120
37	144	144	144	132	142	152
38	116	138	160	100	114	128

39	120	128	136	100	104	108
40	120	138	156	116	134	152
41	144	146	148	116	124	132
42	148	166	184	116	122	128
43	124	148	172	128	130	132
44	156	158	160	92	100	108
45	132	138	144	120	132	144
46	152	160	168	116	118	120
47	124	144	164	108	110	112
48	128	152	176	104	124	144
49	116	128	140	112	118	124
50	144	148	152	104	114	124

Realizado por: Vinueza, H. 2018

**Prueba 2:** se realizaron 250 observaciones de una prueba de ping enviando 2 paquetes de 1500 bytes (sin fragmentar) en cada prueba, los resultados se muestran en la tabla 6:

**Tabla 6-3. Datos de la prueba 2 de latencia**

PRUEBA	ESCENARIO 1 MPLS			ESCENARIO 2 SEAMLESS		
	Min	avg	max	Min	avg	max
1	116	120	124	160	192	224
2	96	122	148	168	190	212
3	144	150	156	164	180	196
4	124	138	152	108	128	148
5	80	98	116	120	132	144
6	76	132	188	116	118	120
7	96	110	124	80	116	152
8	104	112	120	100	120	140
9	116	128	140	108	110	112
10	88	106	124	88	96	104
11	156	160	164	92	108	124
12	156	174	192	116	116	116
13	120	142	164	80	110	140
14	140	178	216	96	106	116
15	168	190	212	96	128	160
16	136	140	144	120	132	144
17	136	152	168	100	106	112
18	120	122	124	108	126	144
19	156	178	200	92	112	132
20	148	152	156	124	130	136
21	124	126	128	108	144	180
22	108	116	124	84	126	168
23	96	108	120	88	116	144
24	100	108	116	108	112	116
25	84	102	120	100	132	164
26	76	98	120	80	100	120
27	100	106	112	88	122	156
28	80	90	100	104	122	140
29	76	80	84	96	98	100
30	76	94	112	104	124	144
31	80	82	84	80	100	120
32	76	90	104	84	94	104

33	96	98	100	96	104	112
34	56	90	124	148	154	160
35	116	130	144	48	100	152
36	108	128	148	96	108	120
37	104	118	132	112	118	124
38	100	114	128	124	138	152
39	96	98	100	84	106	128
40	112	112	112	80	98	116
41	104	124	144	72	96	120
42	88	118	148	112	120	128
43	96	102	108	84	102	120
44	104	112	120	108	118	128
45	100	110	120	104	112	120
46	84	98	112	116	132	148
47	56	76	96	100	106	112
48	76	100	124	80	112	144
49	136	146	156	88	116	144
50	100	112	124	112	132	152

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### 3.13.3 Jitter

Para analizar el Jitter en cada una de las arquitecturas se realizaron 50 pruebas (2 por cada uno de los escenarios) para las cuales se tuvo las siguientes consideraciones:

- Host origen: RBBSURE01 IP:10.32.3.100
- Host destino: LTCLOCE01 IP:10.33.3.100
- Número de paquetes: 50

La medición fue realizada utilizando la funcionalidad IP SLA del IOS CISCO Version 15.2(4)S6, la configuración del IP SLA se detalla a continuación

```
ip sla 1
path-jitter 10.33.3.100 source-ip 10.32.3.100 num-packets 50 targetOnly
```

En la figura 3-3 se muestra una captura de los valores de Jitter obtenidos en cada una de las pruebas:

```

---- Path Jitter Statistics ----
Hop IP 10.33.3.100:
Round Trip Time milliseconds:
  Latest RTT: 441 ms
  Number of RTT: 50
  RTT Min/Avg/Max: 268/441/572 ms
Jitter time milliseconds:
  Number of jitter: 49
  Jitter Min/Avg/Max: 4/27/224 ms
Packet Values:
  Packet Loss (Timeouts): 0
  Out of Sequence: 0
  Discarded Samples: 0
Operation time to live: 0

RBBSURE01# _
---- Path Jitter Statistics ----
Hop IP 10.33.3.100:
Round Trip Time milliseconds:
  Latest RTT: 424 ms
  Number of RTT: 50
  RTT Min/Avg/Max: 108/424/684 ms
Jitter time milliseconds:
  Number of jitter: 49
  Jitter Min/Avg/Max: 4/23/144 ms
Packet Values:
  Packet Loss (Timeouts): 0
  Out of Sequence: 0
  Discarded Samples: 0
Operation time to live: 0

RBBSURE01# _

---- Path Jitter Statistics ----
Hop IP 10.33.3.100:
Round Trip Time milliseconds:
  Latest RTT: 114 ms
  Number of RTT: 50
  RTT Min/Avg/Max: 76/114/157 ms
Jitter time milliseconds:
  Number of jitter: 44
  Jitter Min/Avg/Max: 1/15/44 ms
Packet Values:
  Packet Loss (Timeouts): 0
  Out of Sequence: 0
  Discarded Samples: 0
Operation time to live: 0

RBBSURE01#_
---- Path Jitter Statistics ----
Hop IP 10.33.3.100:
Round Trip Time milliseconds:
  Latest RTT: 85 ms
  Number of RTT: 50
  RTT Min/Avg/Max: 56/85/128 ms
Jitter time milliseconds:
  Number of jitter: 45
  Jitter Min/Avg/Max: 1/14/31 ms
Packet Values:
  Packet Loss (Timeouts): 0
  Out of Sequence: 0
  Discarded Samples: 0
Operation time to live: 0

RBBSURE01# _

```

**Figura 3-3.** Resultados de la Prueba de Jitter

Realizado por: Vinueza, H. 2018

**Tabla 7-3.** Comparación de Jitter

JITTER	ESCENARIO 1 MPLS	ESCENARIO 2 SEAMLESS MPLS
PRUEBA 1	Min/Avg/Max: 4/27/224 ms	Min/Avg/Max: 1/15/44 ms
PRUEBA 2	Min/Avg/Max: 4/23/144 ms	Min/Avg/Max: 1/14/31 ms

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### 3.14. Herramientas

Las herramientas que se utilizaron para analizar y examinar las arquitecturas de red MPLS Tradicional y SEAMLESS MPLS, así como para comprobar la hipótesis planteada son:

### 3.14.1 Para la implementación de los escenarios de pruebas:

- EVE-NG - Emulated Virtual Environment for Network, Security and DevOps professionals
- Cisco IOS Software Release 15.2(4)S C7200-ADVENTERPRISEK9-M 15.2(4)S2

### 3.14.2 Para el análisis estadístico:

- The R Project for Statistical Computing
- Microsoft Excel 2016

## 3.15. Procesamiento y análisis

La información concerniente a la investigación es recopilada, procesada, analizada y presentada en forma gráfica utilizando la herramienta de software libre dedicado a la computación estadística y gráficos RStudio, esto permitirá aceptar o rechazar la hipótesis planteada en el presente trabajo.

### 3.15.1 Prueba de Normalidad

Según afirman (Herrera, 2011) *es indispensable conocer que cuando se aplica una herramienta estadística en donde se involucran variables continuas o cuantitativas es fundamental determinar si la información obtenida en el proceso, tiene un comportamiento mediante una distribución normal*. Por lo cual, para los valores de latencia mínimo, máximo y promedio de cada uno de los escenarios se aplicó el test de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con la corrección Lilliefors. Esta prueba es similar al test de Shapiro Wilk. Sin embargo, cuando se cuenta con más de 50 observaciones es recomendable utilizar el test de Kolmogorov Smirnov. En las figuras 28 a la 36 se muestran los resultados de la prueba aplicada.

```
> ##### VARIABLE MIN
> # TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
>
> # ESCENARIO 1                                > # ESCENARIO 2
> lillie.test(min1)                            > lillie.test(min2)

      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data: min1                                           data: min2
D = 0.097965, p-value = 4.439e-06                    D = 0.17539, p-value < 2.2e-16

> #      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test > #      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> #data: min1                                           > #data: min2
> #D = 0.097965, p-value = 4.439e-06                    > #D = 0.17539, p-value < 2.2e-16
> # no es normal puesto que el p-value<0.05           > # no es normal puesto que el p-value<0.05
```

**Figura 4-3.** Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (MIN)

Realizado por: Vinueza, H. 2018

```

> ##### VARIABLE MIN
> # TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
> # ESCENARIO 1
> lillie.test(min1)

      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: min1
D = 0.069183, p-value = 0.02104

> #      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> #data: min1
> #D = 0.069183, p-value = 4.438e-06
> # no es normal puesto que el p-value<0.05

> # ESCENARIO 2
> lillie.test(min2)

      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: min2
D = 0.085274, p-value = 0.0005366

> #      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> #data: min2
> #D = 0.17538, p-value < 2.2e-16
> # no es normal puesto que el p-value<0.05

```

**Figura 5-3.** Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (MIN) - Con Carga

Realizado por: Vinuesa, H. 2018

```

> ##### VARIABLE AVG
> # TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
>
> # ESCENARIO 1
> lillie.test(avg1)

      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: avg1
D = 0.069894, p-value = 0.00487

> #      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> #data: avg1
> #D = 0.069894, p-value = 0.00487
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

> # ESCENARIO 2
> lillie.test(avg2)

      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: avg2
D = 0.081001, p-value = 0.000426

> #      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> #data: avg2
> #D = 0.081001, p-value = 0.000426
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

```

**Figura 6-3.** Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (AVG)

Realizado por: Vinuesa, H. 2018

```

> ##### VARIABLE AVG
> # TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
> # ESCENARIO 1
> lillie.test(avg1)

      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: avg1
D = 0.095663, p-value = 0.0001314

> #      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> #data: avg1
> #D = 0.069894, p-value = 0.00487
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

> # ESCENARIO 2
> lillie.test(avg2)

      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: avg2
D = 0.11779, p-value = 4.09e-07

> #      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> #data: avg2
> #D = 0.081001, p-value = 0.000426
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

```

**Figura 7-3.** Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (AVG) - Con Carga

Realizado por: Vinuesa, H. 2018

```

> ##### VARIABLE MAX
> # TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
>
> # ESCENARIO 1
> lillie.test(max1)

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: max1
D = 0.14868, p-value = 1.217e-14

> # Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> #data: max1
> #D = 0.14868, p-value = 1.217e-14
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

> # ESCENARIO 2
> lillie.test(max2)

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: max2
D = 0.13229, p-value = 1.927e-11

> # Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> #data: max2
> #D = 0.13229, p-value = 1.927e-11
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

```

**Figura 8-3.** Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (MAX)

Realizado por: Vinueza, H. 2018

```

> ##### VARIABLE MAX
> # TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
> # ESCENARIO 1
> lillie.test(max1)

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: max1
D = 0.14068, p-value = 2.417e-10

> # Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> #data: max1
> #D = 0.14868, p-value = 1.217e-14
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

> # ESCENARIO 2
> lillie.test(max2)

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: max2
D = 0.1345, p-value = 2.088e-09

> # Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> #data: max2
> #D = 0.13229, p-value = 1.927e-11
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

```

**Figura 9-3.** Resultados de Pruebas de Normalidad Latencia (MAX) - Con Carga

Realizado por: Vinueza, H. 2018

```

> ##### VARIABLE MIN
> # TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
> # ESCENARIO 1
> lillie.test(min1)

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: min1
D = 0.49226, p-value < 2.2e-16

> # Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

> # ESCENARIO 2
> lillie.test(min2)

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: min2
D = 0.54007, p-value < 2.2e-16

> # Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

```

**Figura 10-3.** Resultados de Pruebas de Normalidad Jitter (MIN)

Realizado por: Vinueza, H. 2018

```

> ##### VARIABLE AVG
> # TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
> # ESCENARIO 1
> lillie.test(avg1)

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: avg1
D = 0.15979, p-value = 0.002678

> # Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

> # ESCENARIO 2
> lillie.test(avg2)

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data: avg2
D = 0.29544, p-value = 6.072e-12

> # Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

```

**Figura 11-3.** Resultados de Pruebas de Normalidad Jitter (AVG)

Realizado por: Vinueza, H. 2018

```

> ##### VARIABLE MAX
> # TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
> # ESCENARIO 1
> lillie.test(max1)

      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data:  max1
D = 0.17234, p-value = 0.0007522

> #      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

> # ESCENARIO 2
> lillie.test(max2)

      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
data:  max2
D = 0.14721, p-value = 0.008503

> #      Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
> # no es normal puesto que el p-valor<0.05

```

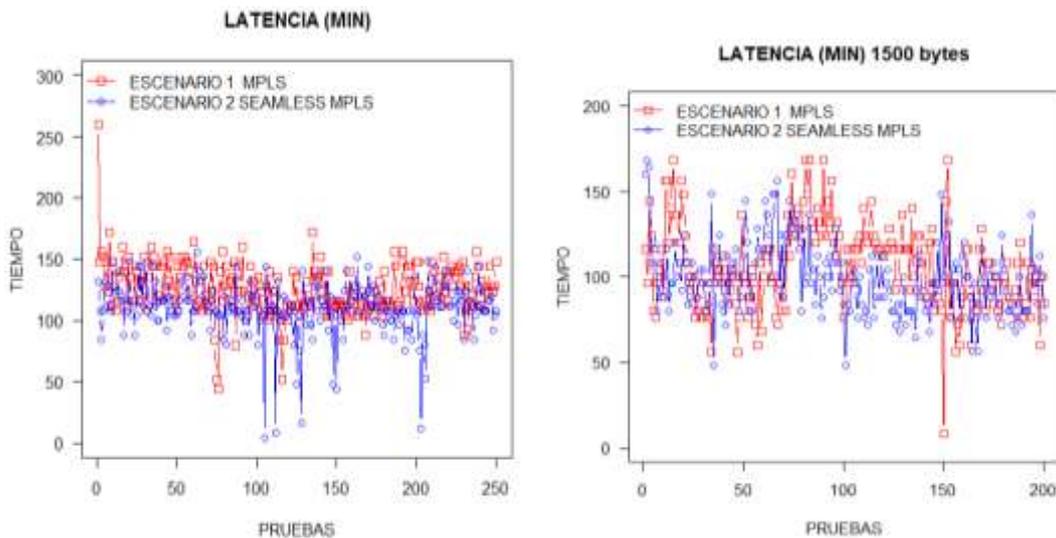
**Figura 12-3.** Resultados de Pruebas de Normalidad Jitter (MAX)

Realizado por: Vinuesa, H. 2018

Como se pudo verificar en las figuras anteriores los valores de la latencia y Jitter MIN, AVG y MAX para el escenario 1 y 2 no son normales.

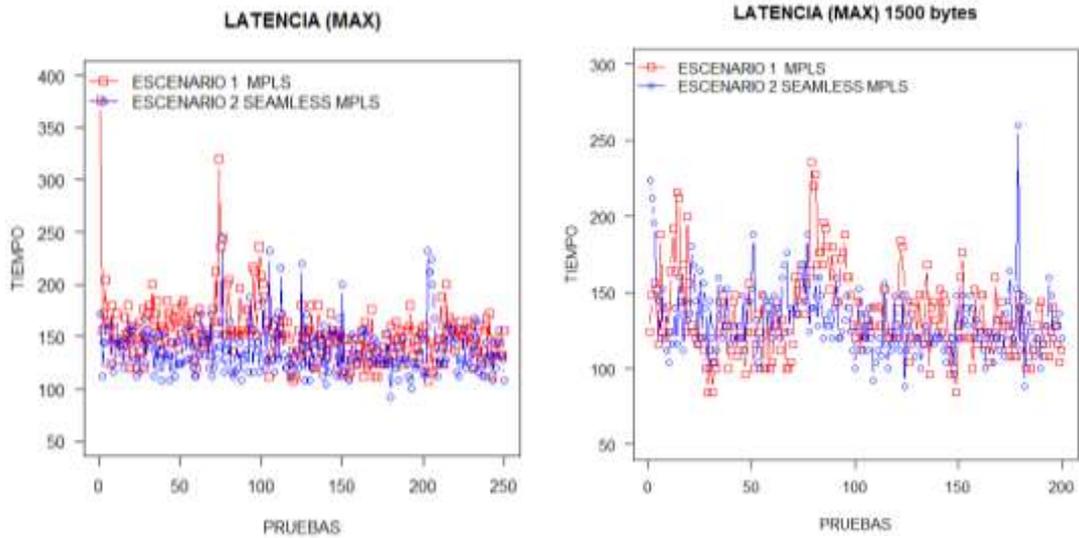
### 3.15.2 Comparación de distribuciones

A continuación, se muestra el análisis exploratorio de la distribución de los valores de latencia mínimo (MIN), promedio (AVG), y máximo (MAX) de la latencia y Jitter en cada uno de los escenarios.



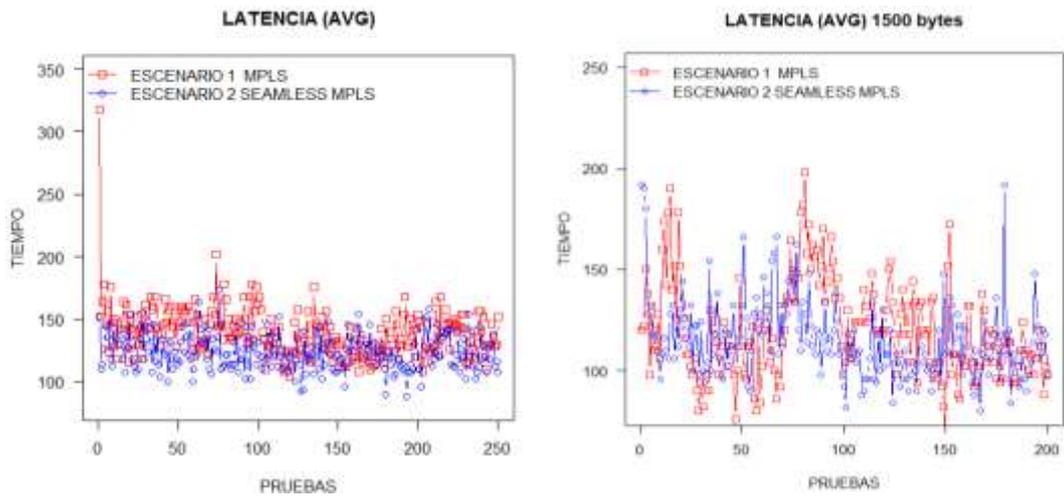
**Gráfico 1-3.** Distribución de los valores de latencia (MIN)

Realizado por: Vinuesa, H. 2018



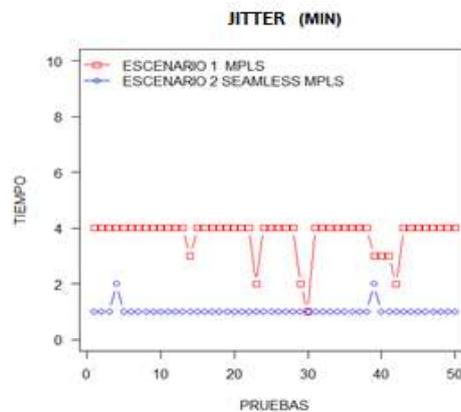
**Gráfico 2-3.** Distribución de los valores de latencia (MIN)

Realizado por: Vinueza, H. 2018



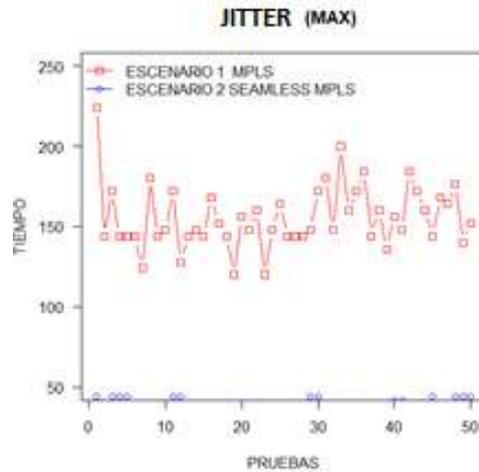
**Gráfico 3-3.** Distribución de los valores de latencia (AVG)

Realizado por: Vinueza, H. 2018



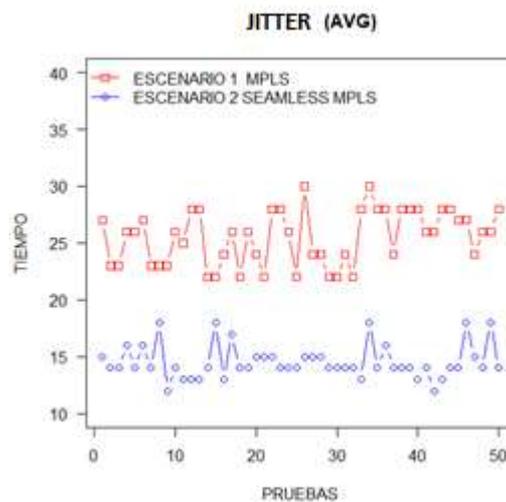
**Gráfico 4-3.** Distribución de los valores Jitter (MIN)

Realizado por: Vinueza, H. 2018



**Gráfico 5-3.** Distribución de los valores de Jitter (MAX)

Realizado por: Vinueza, H. 2018



**Gráfico 6-3.** Distribución de los valores de Jitter (AVG)

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### 3.15.3 Test de Wilcoxon.

Es un test de tipo no paramétrico de comparación de dos muestras, las mismas que deben cumplir las siguientes características:

- No necesita una distribución específica
- Contar un con nivel ordinal de la variable dependiente

Este test permite determinar que la diferencia entre las muestras comparadas no se deba al azar, es decir que la diferencia sea estadísticamente significativa. Con el uso del software R Studio se efectuó el cálculo de la diferencia de distribuciones de los valores mínimo (MIN), promedio (AVG), y máximo (MAX) usando el test de Wilcoxon ya que para el presente estudio existen 2 grupos relacionados (Escenario 1 MPLS, Escenario 2 Seamless MPLS). La regla de decisión considera es la siguiente: Si  $p \leq 0.05$ .

#### a) Latencia mínima (MIN)

```
> ##### TEST DE WILCOXON
> wilcox.test(min1,min2)

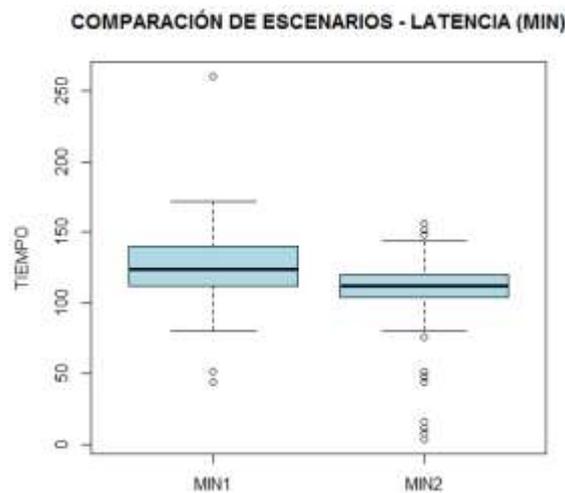
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: min1 and min2
W = 44243, p-value = 7.056e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Figura 13-3.** Test Wilcoxon Latencia (min)

**Realizado por:** Vinueza, H. 2018

Como se puede observar en la figura anterior, el valor P es menor a 0.05 por lo cual, si existe una diferencia significativa, a continuación, se representa esta diferencia de forma gráfica:



**Gráfico 7-3.** Comparación de Latencia (min)

Escenario 1 y Escenario 2

**Realizado por:** Vinueza, H. 2018

## b) Latencia promedio (AVG)

```
> ##### TEST DE WILCOXON
> wilcox.test(avg1,avg2)

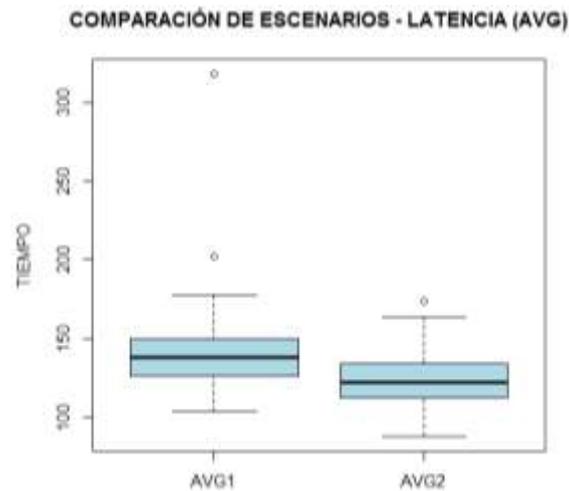
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: avg1 and avg2
W = 46623, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Figura 14-3.** Test Wilcoxon Latencia (avg)

Realizado por: Vinueza, H. 2018

En la figura anterior, se puede observar, que el valor P es menor a 0.05 por lo cual, si existe una diferencia significativa, a continuación, se representa esta diferencia de forma gráfica.



**Gráfico 8-3.** Comparación de Latencia (avg)

Escenario 1 y Escenario 2

Realizado por: Vinueza, H. 2018

## c) Latencia máxima (MAX)

```
> ##### TEST DE WILCOXON
> wilcox.test(max1,max2)

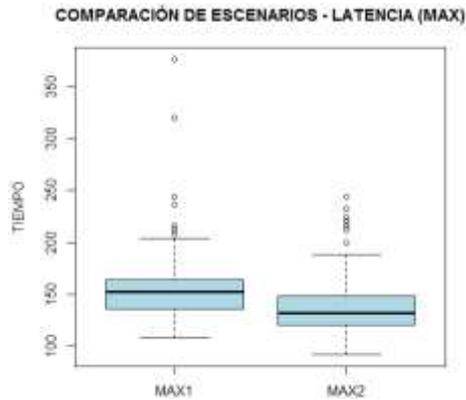
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: max1 and max2
W = 43931, p-value = 3.717e-15
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Figura 15-3.** Test Wilcoxon Latencia (max)

Realizado por: Vinueza, H. 2018

En la figura 15-3, se observa, que el valor P es menor a 0.05 lo cual indica que, si existe una diferencia significativa entre los valores de latencia máxima del escenario 1 con el escenario 2, esta diferencia se representa de forma gráfica a continuación.



**Gráfico 9-3.** Comparación de Latencia (max)

Escenario 1 y Escenario 2

Realizado por: Vinueza, H. 2018

**d) Jitter mínimo (MIN)**

```
> ##### TEST DE WILCOXON
> wilcox.test(min1,min2)

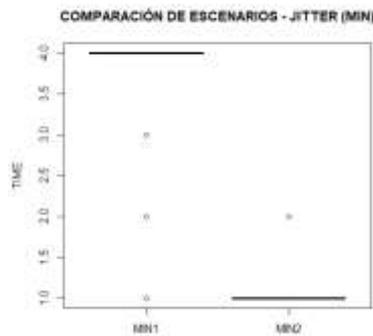
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: min1 and min2
W = 2471, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Figura 16-3.** Test Wilcoxon – Jitter

Realizado por: Vinueza, H. 2018

En la figura 16-3, se observa un valor P equivalente a 2.2e-16 el cual es menor a 0.05 lo que se traduce en una diferencia significativa entre los valores de jitter del escenario 1 con el escenario 2, esta diferencia se representa de forma gráfica a continuación.



**Gráfico 10-3.** Comparación de Jitter (min)

Escenario 1 y Escenario 2

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### e) Jitter promedio (AVG)

En la figura siguiente, se puede observar, que el valor P es menor a 0.05; lo que indica que existe una diferencia significativa entre los valores de jitter promedio en los escenarios evaluados.

```
> ##### TEST DE WILCOXON
> wilcox.test(avg1,avg2)

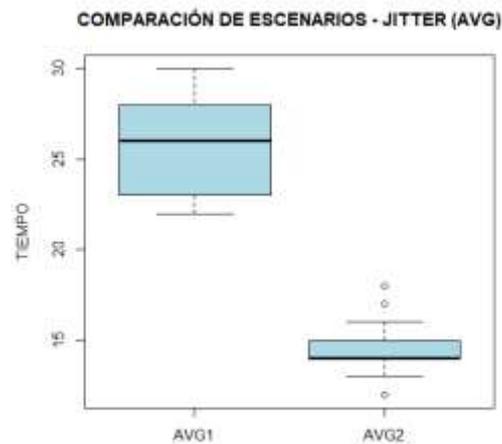
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: avg1 and avg2
W = 2500, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Figura 17-3. Test Wilcoxon - Jitter (AVG)**

Realizado por: Vinueza, H. 2018

A continuación se representa en forma gráfica la diferencia mencionada arriba.



**Gráfico 11-3. Comparación de Jitter (avg)**

Escenario 1 y Escenario 2

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### f) Jitter máximo (MÁX)

```
> ##### TEST DE WILCOXON
> wilcox.test(max1,max2)

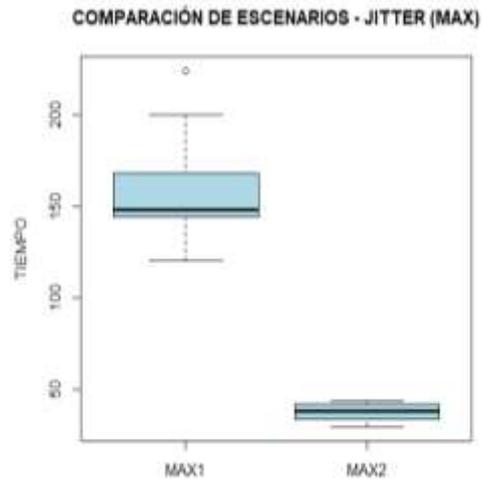
Wilcoxon rank sum test with continuity correction

data: max1 and max2
W = 2500, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

**Figura 18-3 Test Wilcoxon - Jitter (MÁX)**

Realizado por: Vinueza, H. 2018

En la figura anterior, se puede observar, que el valor P es menor a 0.05; lo que indica que existe una diferencia significativa entre los valores de jitter máximo en los escenarios evaluados. A continuación, se representa en forma gráfica la diferencia mencionada.



**Gráfico 12-3.** Comparación de Jitter(max)  
Escenario 1 y Escenario 2

**Realizado por:** Vinuesa, H. 2018

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la matriz de consistencia (numeral 3.11.1) se establecieron los indicadores que permitirán evaluar las variables independiente y dependiente y obtener resultados a partir de las mediciones. En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos del procesamiento de los datos de las mediciones realizadas para los indicadores: número de rutas, latencia y jitter.

#### 4.1. Indicadores

En esta sección se muestran los resultados obtenidos una vez que en la presente investigación se han evaluado cada uno de los indicadores.

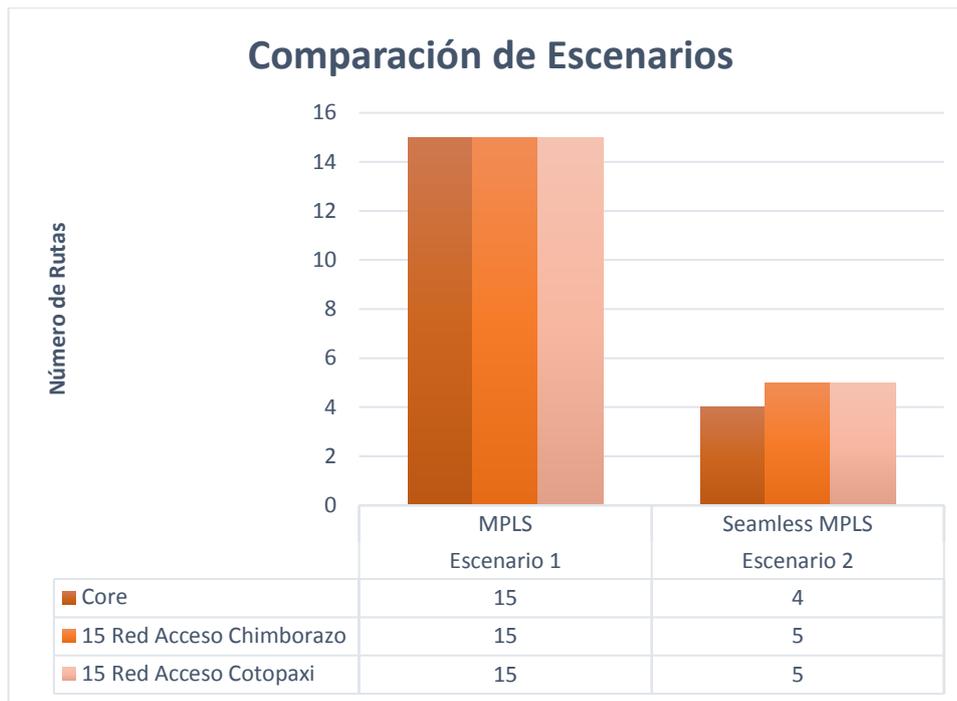
##### 4.1.1. Número de Rutas

Una vez obtenidos los datos de las pruebas realizadas, y al tratarse de un valor puntual en la tabla 1-4, se indica la arquitectura óptima para cada uno de los segmentos de red analizados.

**Tabla 1-4.** Número de rutas en los segmentos de red

Equipos en la red	Segmento de Red	Equipos en la red	No. de Rutas		Arquitectura Óptima
			Escenario 1 MPLS	Escenario 2 Seamless MPLS	
15	Core	5	15	5	Seamless MPLS
15	Red Acceso Chimborazo	5	15	5	Seamless MPLS
15	Red Acceso Cotopaxi	5	15	5	Seamless MPLS

Realizado por: Vinueza, H. 2018



**Gráfico 1-4.** Comparación de Número de rutas en Escenarios 1 y 2

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### Conclusión:

De acuerdo a la Tabla 1-4 en todas las pruebas realizadas, la arquitectura Seamless MPLS presenta un menor número de rutas para cada uno de los segmentos de red analizados, por lo tanto, se concluye que la arquitectura óptima para la red es Seamless MPLS en lo referente al indicador Número de Rutas.

Es importante tener en cuenta que contar con un menor número de rutas, permite que se puedan integrar una mayor cantidad de equipos con el protocolo MPLS sin que se requiera hardware adicional, optimizando recursos. Adicionalmente existe una mejora en la disponibilidad del sistema en general, puesto que una red conformada por equipos L3 permite que se pueda contar con enlaces redundantes lo que garantiza una red más robusta.

#### 4.1.2. Jitter

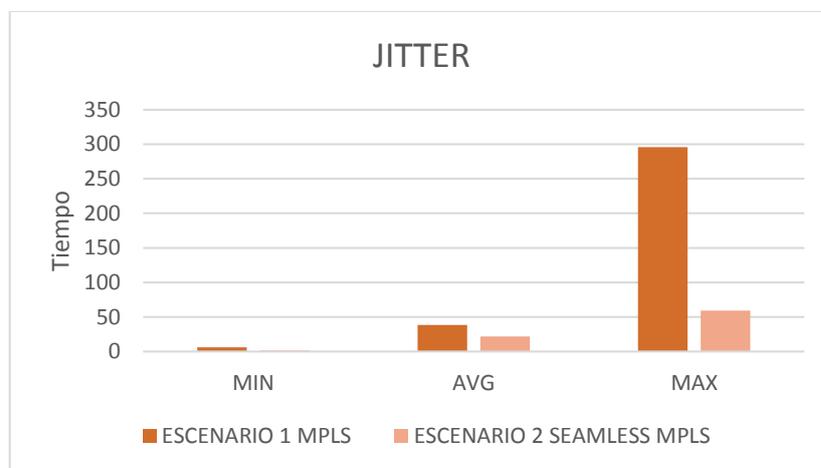
Una vez procesados los datos de las pruebas realizadas para los escenarios 1 y 2, en la Tabla 2-4 se muestran los resultados obtenidos del indicador, también se indica que arquitectura presenta mejores valores de Jitter.

**Tabla 2-4.** Valores de Jitter en la red

	ESCENARIO 1 MPLS	ESCENARIO 2 SEAMLESS MPLS	MEJOR VALOR DE JITTER
PRUEBA 1	Min/Avg/Max: 4/27/224 ms	Min/Avg/Max: 1/15/44 ms	Seamless MPLS
PRUEBA 2	Min/Avg/Max: 4/23/144 ms	Min/Avg/Max: 1/14/31 ms	Seamless MPLS

Realizado por: Vinueza, H. 2018

En la gráfica 2-4. Se visualizan de manera gráfica los resultados:



**Gráfico 2-4.** Comparación de Valores de Jitter en los escenarios 1 y 2

Realizado por: Vinueza, H. 2018

**Conclusión:**

De acuerdo con los valores que se pueden evidenciar en la tabla 8, los mismos que son resultado de las pruebas de Jitter realizadas, en el escenario 2 arquitectura Seamless MPLS resultan ser menores a los de la arquitectura MPLS tradicional, por lo tanto, se concluye que la arquitectura Seamless MPLS cuenta mejores valores de Jitter.

**4.1.3. Latencia**

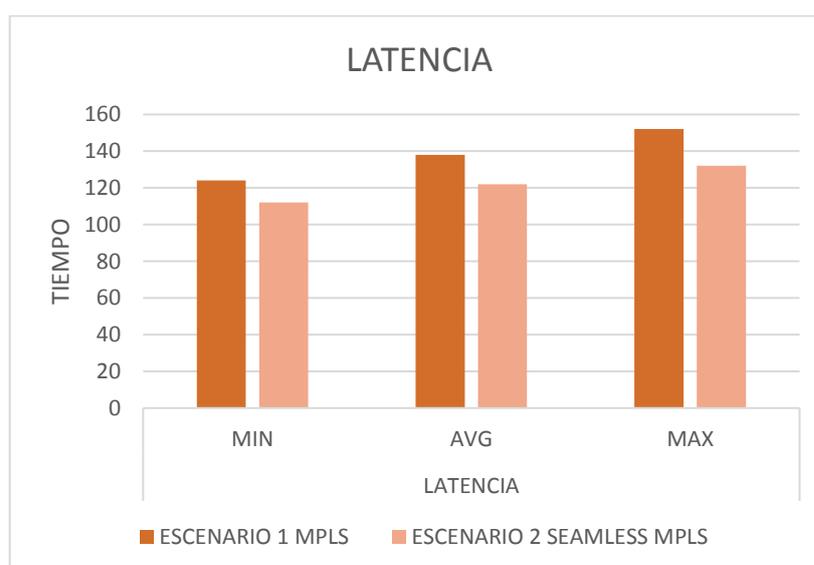
Luego del análisis realizado en el cual se determinó que existe una diferencia estadísticamente significativa en los valores de latencia de cada uno de los escenarios y en cada una de las pruebas, los resultados obtenidos se han sinterizado en la tabla 3-4.

**Tabla 3-4.** Comparación de Latencia para los Escenarios 1 y 2.

		ESCENARIO 1 MPLS	ESCENARIO 2 SEAMLESS MPLS	EXISTE DIFERENCIA ESTADISTICA	MEJOR VALOR LATENCIA
LATENCIA	MIN	124	112	SI	SEAMLESS MPLS
	AVG	138	122	SI	SEAMLESS MPLS
	MAX	152	132	SI	SEAMLESS MPLS
LATENCIA (1500 bytes)	MIN	105	99	SI	SEAMLESS MPLS
	AVG	120	115	SI	SEAMLESS MPLS
	MAX	134	131	SI	SEAMLESS MPLS

Realizado por: Vinueza, H. 2018

En la gráfica 3-4. Se visualizan de manera gráfica los resultados una vez procesados los datos del indicador latencia.



**Gráfico 3-4.** Valores de latencia en los escenarios 1 y 2.

Realizado por: Vinueza, H. 2018

## Conclusión:

De acuerdo con la información de la tabla 3-4. los valores de latencia obtenidos en la arquitectura Seamless MPLS resultan ser menores a los de la arquitectura MPLS tradicional, por lo tanto, se concluye que la arquitectura Seamless MPLS presenta mejores valores de latencia.

## Resumen de resultados:

**Tabla 4-4.** Comparativa de Resultados

<b>VARIABLE</b>	<b>ESCENARIO 1 MPLS</b>	<b>ESCENARIO 2 SEAMLESS MPLS</b>	<b>MEJOR VALOR LATENCIA</b>
LATENCIA		Mejor hasta en 8%	SEAMLESS MPLS
JITTER		Mejor hasta en un 40%	SEAMLESS MPLS
NÚMERO DE RUTAS	El número de rutas es igual al número de rutas de todos los equipos PE que forman parte de la red.	El número de rutas es igual al número de equipos PEs integrados en cada uno de los segmentos de red.	SEAMLESS MPLS
DISPONIBILIDAD		Es posible incluir mayor cantidad de equipos con el protocolo MPLS, es decir la arquitectura Seamless permite contar con una mayor cantidad de equipos PEs en la red, lo cual mejora la disponibilidad del sistema	SEAMLESS MPLS

Realizado por: Vinuesa, H. 2018

## **4.2. Comprobación de la hipótesis**

Una vez que se ha realizado el análisis correspondiente, se han procesado los datos y aplicado el método de estadística descriptiva, se puede evidenciar que para el escenario que corresponde a la arquitectura Seamless MPLS los valores de latencia son mejores hasta en 8%, el Jitter cuenta valores con una mejora de hasta un 40%, y un menor número de rutas en los equipos del segmento de acceso y agregación, con lo cual se concluye que el escenario con arquitectura Seamless MPLS es óptimo para la red, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa “El Diseño de una red IP MPLS utilizando la arquitectura Seamless para un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador., reducirá la cantidad de rutas en las capas de acceso y agregación, y mejorará la latencia de la red” y se rechaza la hipótesis nula.

## CAPÍTULO V

### 5. PROPUESTA

#### 5.1. Propuesta

La región 3 de Ecuador está conformada por las provincias de Tungurahua, Chimborazo, Cotopaxi y Pastaza, por lo cual teniendo en cuenta la ubicación geográfica y la densidad de los poblados, para la presente propuesta de diseño se consideraron 38 localidades de Tungurahua, 56 localidades de Chimborazo, 38 localidades de Cotopaxi y 12 localidades de Pastaza.

La red estará conformada por 4 segmentos de acceso uno por cada provincia, los equipos que formaran parte de este segmento sirven para la conexión de equipos de acceso (DSLAM, OLTS, Radio Bases de Telefonía Celular, Nodos B) y de clientes.

Cada región también contara un equipo de Core P, estos equipos tienen la funcionalidad de conmutar las etiquetas y transportar la información de manera ágil. Adicionalmente en cada provincia existirán 2 equipos Area Border Router (ABR) los cuales permitirán interconectar cada uno de los segmentos de acceso con la red de Core.

#### 5.2. Nomenclatura y direccionamiento

Es importante que cada equipo que forma parte de una red, pueda ser identificado en base al rol o función que desempeña en la red y a su disposición geográfica, por lo cual como parte de la presente propuesta de diseño se estableció que los nombres en los equipos de la red este definido por los siguientes campos:

**Tabla 1-5.** Campos del nombre de los equipos  
para la red Seamless MPLS

CAMPO 1	CAMPO 2	CAMPO 3
AAA	BBB	C##

Realizado por: Vinueza, H. 2018

**Campo 1 - AAA:** permite identificar la capital de provincia en la cual se instala el equipo:

- AMB para Ambato
- RBB para Riobamba
- PUY para Puyo
- LTC para Latacunga

**Campo 2 - BBB:** corresponde a la localidad, la misma que será abreviada en 3 letras, por ejemplo, FIC para Ficoa, SCD para Salcedo, etc.

**Campo 3 – C##:** La letra C: permitirá identificar la función o rol que cumple el equipo en la red, existen 3 tipos:

- P: Equipo de Core.
- E: Equipo PE (Provider Edge).
- R: Route Reflector.
- B: Equipo BRAS (broadband remote access server)
- M: Equipo de Acceso L2

##: Describe el número de equipo cuyo rol sea el mismo dentro de un mismo nodo; inicialmente será 01.

En lo referente al direccionamiento de gestión, en la tabla 11, se muestra el esquema de direccionamiento propuesto el mismo que será configurado en la Interface Loopback 100.

**Tabla 2-5.** Esquema de direccionamiento propuesto para la red Seamless MPLS

SEGMENTO	DIRECCIONAMIENTO ASIGNADO
Red Core	10.3.X.X/16
Red Tungurahua	10.31.X.X/16
Red Chimborazo	10.32.X.X/16
Red Cotopaxi	10.33.X.X/16
Red Pastaza	10.34.X.X/16

Realizado por: Vinueza, H. 2018

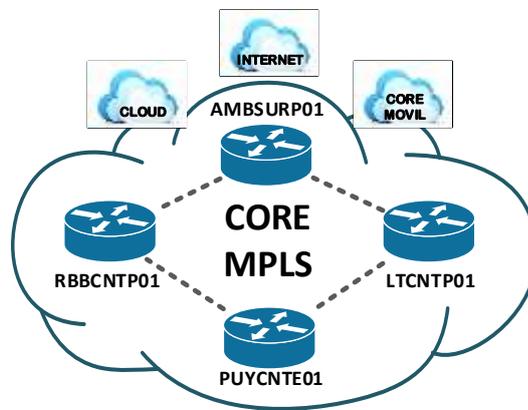
### 5.3. Diseño físico

En la arquitectura Seamless MPLS, la división de la red en regiones tiene gran trascendencia, ya que esta segmentación está destinada a solventar los problemas inherentes a las redes planas que carecen de jerarquía lógica en cuanto a escalabilidad y tiempos de convergencia.

Para el diseño de red propuesto para la región 3 de Ecuador, a cada una de cuatro las provincias se la considero como una subregión.

#### 5.3.1 Core

En la siguiente figura se muestra el segmento de core de la red, el mismo que está compuesto por 4 equipos de core (Equipos P).



**Figura 1-5.** Core de la Red Propuesta

Realizado por: Vinueza, H. 2018

Adicionalmente como parte de la red Core también se considera un equipo con rol de Route Reflector Gobal, esto para contar con una topología lógica tipo full mesh que permitirá mantener actualizada la información de enrutamiento de cada de los equipos PEs de la red propuesta.

#### 5.3.2 Subregión Tungurahua

El segmento de red correspondiente a la Provincia de Tungurahua está conformado por 23 equipos PEs, como punto central de este segmento de red se ha seleccionado la localidad de Ambato Sur, esta localidad contará con 2 equipos ABRs los mismos que se encargarán de agregar el tráfico, también tendrán funciones de Route Reflector Inline y actuarán como Gateway para los equipos de cada una de las localidades de la provincia.

En la Tabla 3-5. se detallan los equipos considerados para cada localidad con su nombre, función y direccionamiento.

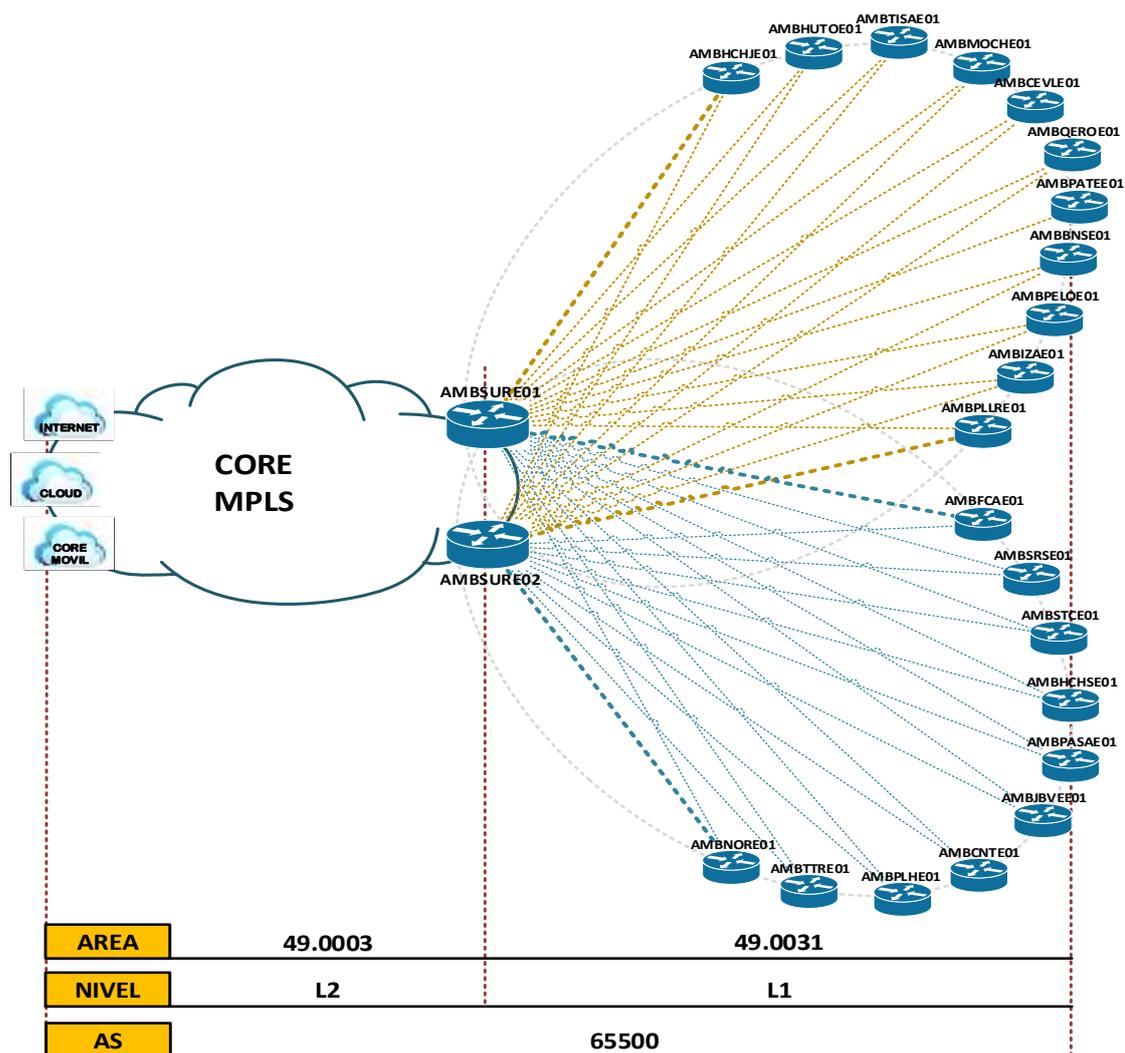
**Tabla 3-5.** Equipos de la red (Subregión Tungurahua)

LOCALIDAD	NOMBRE EQUIPO	IP	REGION	NIVEL	FUNCION
AMBATO SUR	AMBSURP01	10.3.1.100	REGION 3	CORE	P
AMBATO SUR	AMBSURE01	10.31.3.100	SUBREGION 1	AGREGACION	PE
BAÑOS	AMBBANSE01	10.31.4.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
CEVALLOS	AMBCEVLE01	10.31.5.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
HUACHI LA JOYA	AMBHCHJE01	10.31.6.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
HUACHI TOTORAS	AMBHUTOE01	10.31.7.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
IZAMBA	AMBIZAE01	10.31.8.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
MOCHA	AMBMOCHE01	10.31.9.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
PATATE	AMBPALEE01	10.31.10.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
PELILEO	AMBPELOE01	10.31.11.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
PILLARO	AMBPLLRE01	10.31.12.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
QUERO	AMBQEROE01	10.31.13.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
TISALEO	AMBTISAE01	10.31.14.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
AMBATO SUR	AMBSURE02	10.31.2.100	SUBREGION 1	AGREGACION	PE
AMBATO CENTRO	AMBCNTE01	10.31.15.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
FICOA	AMBFCAE01	10.31.16.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
HUACHI	AMBHCHSE01	10.31.17.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
JUAN BENIGNO VELA	AMBJBVEE01	10.31.18.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
AMBATO NORTE	AMBNORE01	10.31.19.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
PILAHUIN	AMBPLHE01	10.31.20.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
SANTA CATALINA	AMBSCTE01	10.31.21.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
SANTA	AMBSRSE01	10.31.22.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
TOTORAS	AMBTTRE01	10.31.23.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE
PASA	AMBPASAE01	10.31.24.100	SUBREGION 1	ACCESO	PE

Realizado por: Vinuesa, H. 2018

El diagrama con el diseño completo para la red de la provincia de Tungurahua se muestra en la figura 5-2.

Como se puede apreciar de acuerdo a la ubicación de las poblaciones, se estructuraron 2 anillos de acceso uno para el sector sur y otro para el sector norte de la provincia.



**Figura 2-5. Red propuesta para Tungurahua**

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### 5.3.3 Subregión Chimborazo

Para atender las localidades y poblaciones de la provincia de Chimborazo, como parte de la red propuesta se incluye un segmento de red conformado por 28 equipos PEs, se han seleccionado las localidades de Riobamba Centro y Riobamba Norte como puntos centrales de la red. En estos puntos se contará con 2 equipos ABRs los mismos que agregaran el tráfico, realizaran funciones de Route Reflector Inline y actuarán como Gateway para los equipos de cada una de las localidades de la provincia.

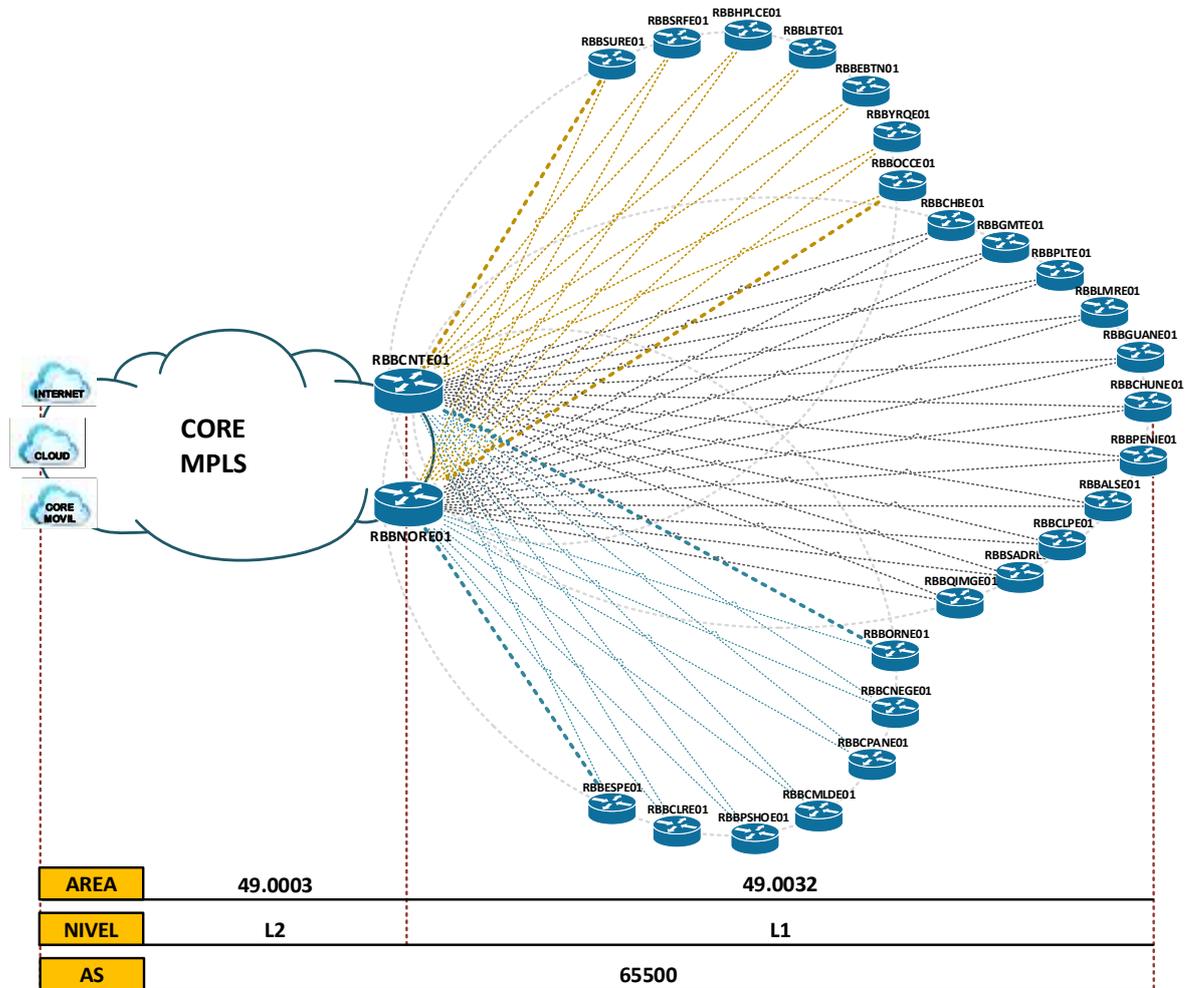
En la tabla 4-5 se detalla cada uno de los equipos que formaran parte del segmento de red de la provincia de Chimborazo, se incluyen el nombre del equipo, la función y direccionamiento.

**Tabla 4-5.** Equipos de la red (Subregión Chimborazo)

LOCALIDAD	NOMBRE EQUIPO	IP	REGION	NIVEL	FUNCION
RIOBAMBA CENTRO	RBBCNTP01	10.3.2.100	REGION 3	CORE	P
RIOBAMBA CENTRO	RBBCNTE01	10.32.1.100	SUBREGION 2	AGREGACION	PE
EL BATAN	RBBEBTNE01	10.32.3.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
H. POLICLINICO	RBBHPLCE01	10.32.4.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
LA LIBERTAD	RBBLBT01	10.32.5.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
RIOBAMBA OCCIDENTE	RBBOCCE01	10.32.6.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
SAN RAFAEL	RBBSRFAE01	10.32.7.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
RIOBAMBA SUR	RBBSURE01	10.32.8.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
AMG YARUQUIES	RBBYRQE01	10.32.9.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
ALAUSI	RBBALSE01	10.32.10.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
CHAMBO	RBBCHBE01	10.32.11.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
CHUNCHI	RBBCHUNE01	10.32.12.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
CALPI	RBBCLPIE01	10.32.13.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
GUAMOTE	RBBGMTE01	10.32.14.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
GUANO	RBBGUANE01	10.32.15.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
LA MIRA	RBBLMRE01	10.32.16.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
PENIPE	RBBPENIE01	10.32.17.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
PALLATANGA	RBBPLTGE01	10.32.18.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
SAN ANDRES RIOBAMBA	RBBSADRE01	10.32.19.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
QUIMIAG	RBBQIMGE01	10.32.20.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
RIOBAMBA NORTE	RBBNORE01	10.32.21.100	SUBREGION 2	AGREGACION	PE
COLEGIO RIOBAMBA	RBBCLRE01	10.32.22.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
COLEGIO MALDONADO	RBBCMLDE01	10.32.23.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
AMG CERRO NEGRO	RBBCNEGE01	10.32.24.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
COMPLEJO PANADERIA	RBBCPANE01	10.32.25.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
ESPOCH	RBBESPE01	10.32.26.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
RIOBAMBA ORIENTAL	RBBORNE01	10.32.27.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE
PASEO SHOPPING RIOBAMBA	RBBPSHOE01	10.32.28.100	SUBREGION 2	ACCESO	PE

Realizado por: Vinueza, H. 2018

El diseño completo del segmento de red para la provincia de Chimborazo, se muestra en la figura 3-5. En este diagrama se puede apreciar que se han estructurado 3 anillos de acceso con los cuales se cubrirán todos los sectores de la provincia.



**Figura 3-5.** Red propuesta para Chimborazo

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### 5.3.4 Subregión Cotopaxi

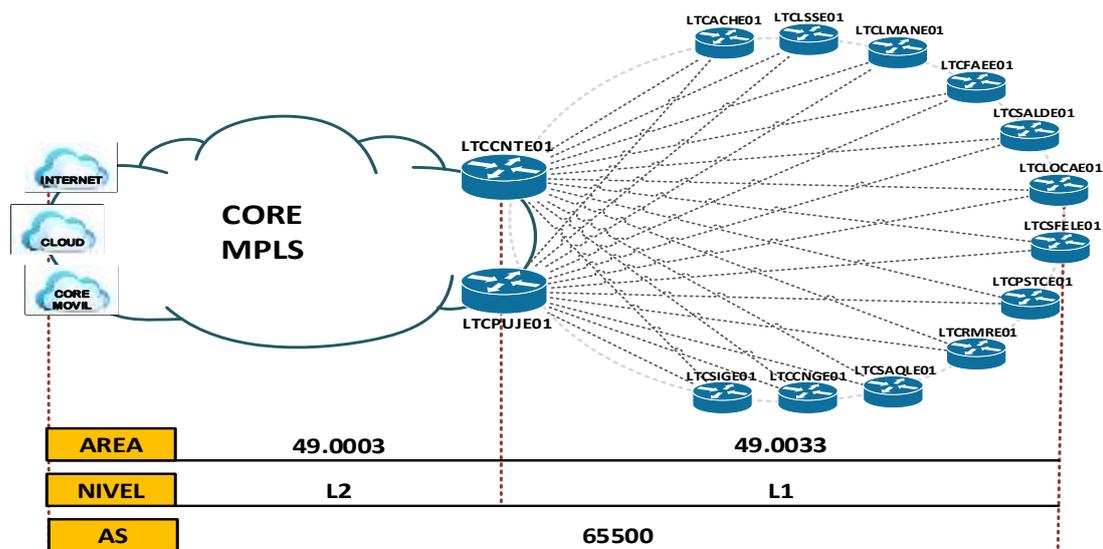
La red propuesta para la provincia de Cotopaxi, incluye 14 equipos PEs, se han seleccionado las localidades de Latacunga Centro y Pujili como puntos centrales de la red. En estos puntos se contará con 2 equipos ABRs los mismos que agregarán el tráfico, realizarán funciones de Route Reflector Inline y actuarán como Gateway para los equipos de acceso de cada una de las poblaciones de la provincia.

**Tabla 5-5.** Equipos de la red (Subregión Cotopaxi)

LOCALIDAD	NOMBRE EQUIPO	IP	REGION	NIVEL	FUNCION
CENTRO	LTCCNTP01	10.3.3.100	REGION 3	CORE	P
LATACUNGA CENTRO	LTCCNTE01	10.33.1.100	SUBREGION 3	AGREGACION	PE
PUJILI	LTCPUJE01	10.33.2.100	SUBREGION 3	AGREGACION	PE
ACHAYANDI	LTCACHE01	10.33.3.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
CERRO EL GUANGO	LTCCNGE01	10.33.4.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
LA FAE	LTCFAEE01	10.33.5.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
LA MANA	LTCLMANE01	10.33.6.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
LOCOA	LTCLOCAE01	10.33.7.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
LASSO	LTCLSSE01	10.33.8.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
PASTOCALLE	LTCPSTCE01	10.33.9.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
ROMERILLOS	LTCRMRE01	10.33.10.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
SALCEDO	LTCSALDE01	10.33.11.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
SAQUISILI	LTCSAQLE01	10.33.12.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
SAN FELIPE	LTCSFELE01	10.33.13.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
SIGCHOS	LTCSGCHE01	10.33.14.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE

Realizado por: Vinueza, H. 2018

El diagrama completo de la arquitectura de red para la provincia de Cotopaxi, se presenta en la figura 3-6. De acuerdo a la ubicación geográfica de las poblaciones se consideró un anillo de acceso el cual cubrirán todos los sectores de la provincia.



**Figura 4-5.** Red propuesta para Cotopaxi

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### 5.3.5 Subregión Pastaza

Para la provincia de Pastaza, se propone una red conformada por 10 equipos PEs, los puntos centrales de la red estarán ubicados en Puyo Centro donde se contará con 2 equipos ABRs los mismos que agregarán el tráfico, operarán como de Route Reflector Inline y permitirán la salida del tráfico para los equipos de acceso de la red de la provincia.

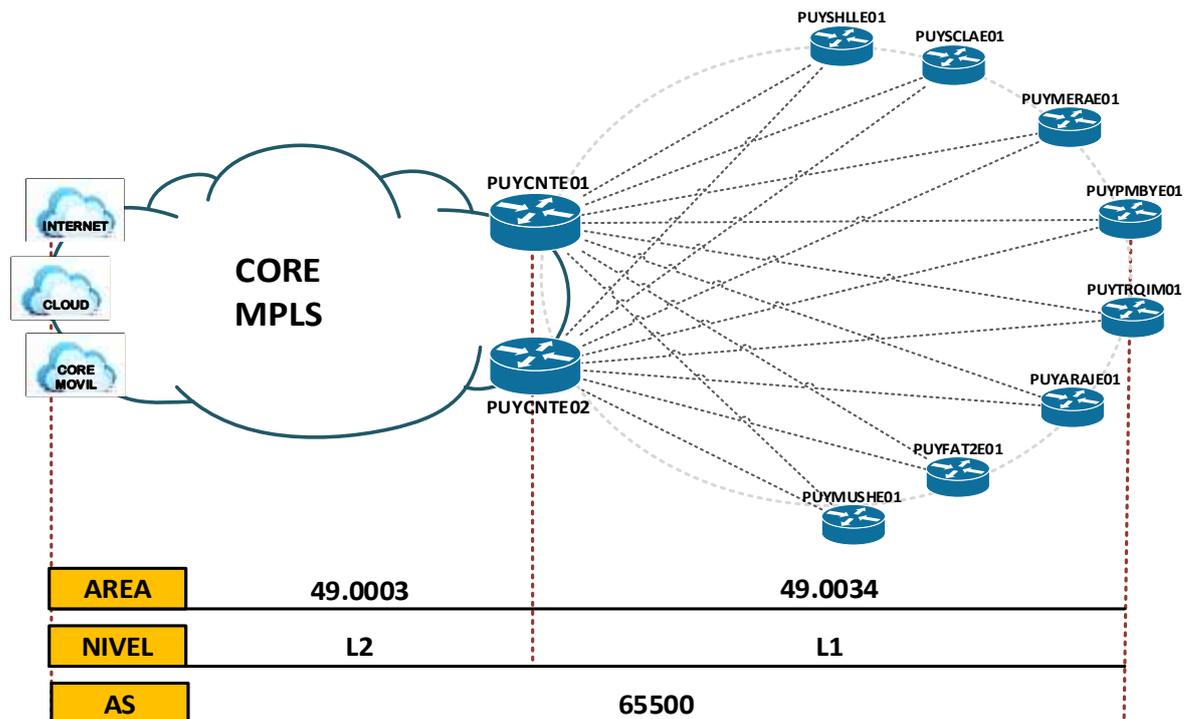
**Tabla 6-5.** Equipos de la red (Subregión Pastaza)

LOCALIDAD	NOMBRE EQUIPO	IP	REGION	NIVEL	FUNCION
PUYO	PUYCNT01	10.3.4.100	REGION 3	CORE	P
PUYO	PUYCNT02	10.34.1.100	SUBREGION 3	AGREGACION	PE
PUYO	PUYCNT03	10.34.2.100	SUBREGION 3	AGREGACION	PE
ARAJUNO	PUYARAJE01	10.34.3.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
FATIMA	PUYFAT2E01	10.34.4.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
MERA	PUYMERAE01	10.34.5.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
PUYO MUSHULLACTA	PUYMUSHE01	10.34.6.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
PAMBAY	PUYPMBYE01	10.34.7.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
SANTA CLARA	PUYSCLAE01	10.34.8.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
SHELL	PUYSHLLE01	10.34.9.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE
TARQUI	PUYTRQIE01	10.34.10.100	SUBREGION 3	ACCESO	PE

**Realizado por:** Vinueza, H. 2018

El esquema completo de la arquitectura de red para la provincia de Pastaza, se muestra en la figura 5-5.

Para cubrir los servicios requeridos en cada una de las localidades, en la red propuesta se consideró un anillo de acceso.



**Figura 5-5. Red propuesta para Pastaza**

Realizado por: Vinueza, H. 2018

#### 5.4. Diseño lógico

Para la implementación una red IP/MPLS con arquitectura Seamless MPLS en la región 3 del Ecuador, se requieren distintos protocolos, funcionalidades y tecnologías estándar basadas en draft ietf “Seamless MPLS Architecture” y en el RFC 3107.

##### 5.4.1 Conectividad (IGP)

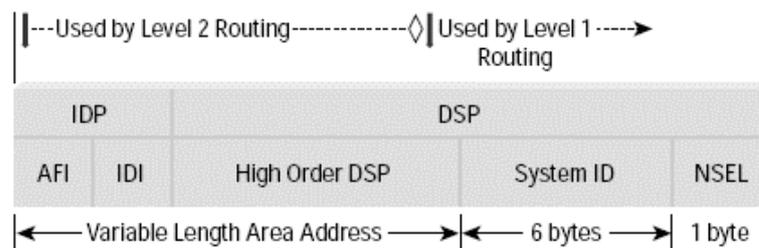
En el diseño propuesto se utilizará el protocolo IS-IS, ya que permite dominio grande puede ser dividido administrativamente en áreas y que el enrutamiento sea organizado jerárquicamente.

De acuerdo con la topología física, la implementación de IS-IS tendrá las siguientes características:

- Se utilizará 2 niveles de IS-IS, en las subregiones se utilizará Nivel 1 (L1), y Nivel 2 (L2) en el Core.
- En concordancia con los niveles de IS-IS propuestos para el Core y cada una de las subregiones, se implementará áreas de IS-IS, lo que permitirá incrementar la escalabilidad y definir un comportamiento de enrutamiento apropiado, cada región tendrá un único IS-IS *area-ID*.

- El comportamiento normal de IS-IS es redistribuir las rutas L1 en el *Database* de los routers L2, con la finalidad de restringir este comportamiento para optimizar la cantidad de rutas en cada subregión, se deben configurar filtros en los dispositivos L1/L2.
- Se deben estandarizar las métricas IS-IS de acuerdo con la capacidad de las interfaces que sirven para la conexión entre los equipos que forman parte de la red.

IS-IS utiliza como identificador para el intercambio de mensajes entre los dispositivos Network Service Access Point address (NSAP), esta dirección especial de red tiene el siguiente formato:



**Figura 6-5. IS-IS NSAP Address**

**Fuente:** <http://sahngoh.tistory.com/38>

La dirección NSAP tendrá la siguiente estructura:

- **AFI:** Define el formato de la dirección y tendrá un valor de 49, la cual representa direcciones que son consideradas como locales o privadas, cuando AFI toma el valor 49, el campo IDI es nulo y el largo del IDP es de dos dígitos.
- **Área ID:** Para completar el identificador de área se utilizarán como *High Order-DSP* los siguientes valores:

**Tabla 7-5. Valores de Area ID**

para la red Propuesta

Segmento de	HO-DSP
Core	0003
Tungurahua	0031
Chimborazo	0032
Cotopaxi	0033
Pastaza	0034

**Realizado por:** Vinueza, H. 2018

- **System Identifier:** Este parámetro puede tener un valor arbitrario, pero debe ser único en la red y se obtendrá de la dirección de red configurada en la Loopback 100.

Está formando tres grupos de 2 bytes como se describe en el siguiente ejemplo para la Loopback100: 10.3.1.100:

- El Primer octeto IP se codifica como ‘010’
- El Segundo octeto IP se codifica como ‘003’
- El Tercer octeto IP se codifica como ‘001’
- El Cuarto octeto IP se codifica como ‘100’
- Para formar tres grupos de dos bytes se traspa el dígito más significativo al octeto superior, quedando de esta forma tres grupos, que en el caso del ejemplo corresponderán a: 010.0300.1100.

- **NSEL: La dirección de red que especifica a un router (Network Entity) tiene un n-selector de 00.**

A continuación, se muestra la dirección NSAP y los niveles los principales dispositivos de la red:

**Tabla 8-5.** NSAP & LEVEL ISIS para red propuesta.

NETWORK REGION	HOSTNAME	IP	NSAP	LEVEL IS-IS
CORE: REGION 3	AMBSURP01	10.3.1.100	49.0003.0100.0300.1100.00	L2
AGG: SUBREGION 1	AMBSURE01	10.31.1.100	49.0031.0100.3100.1100.00	L1/L2
AGG: SUBREGION 1	AMBSURE02	10.31.2.100	49.0031.0100.3100.2100.00	L1/L2
ACC: SUBREGION 1	AMBBANSE01	10.31.3.100	49.0031.0100.3100.3100.00	L1
CORE: REGION 3	RBBCNTP01	10.3.2.100	49.0003.0100.0300.2100.00	L2
AGG: SUBREGION 2	RBBCNTE01	10.32.1.100	49.0032.0100.3200.1100.00	L1/L2
AGG: SUBREGION 2	RBBNORE01	10.32.2.100	49.0032.0100.3200.2100.00	L1/L2
ACC: SUBREGION 2	RBBEBTNE01	10.32.3.100	49.0032.0100.3200.3100.00	L1
CORE: REGION 3	LTCNTP01	10.3.2.100	49.0003.0100.0300.3100.00	L2
AGG: SUBREGION 3	LTCNTE01	10.33.1.100	49.0033.0100.3300.1100.00	L1/L2
AGG: SUBREGION 3	LTCPIJE01	10.33.2.100	49.0033.0100.3300.2100.00	L1/L2
ACC: SUBREGION 3	LTCACHE01	10.33.3.100	49.0033.0100.3300.3100.00	L1
CORE: REGION 3	PUYCNP01	10.3.2.100	49.0003.0100.0300.3100.00	L2
AGG: SUBREGION 4	PUYCNPTE01	10.34.1.100	49.0034.0100.3400.1100.00	L1/L2
AGG: SUBREGION 4	PUYCNPTE02	10.34.2.100	49.0034.0100.3400.2100.00	L1/L2
AGG: SUBREGION 4	PUYARAJE01	10.34.3.100	49.0034.0100.3400.3100.00	L1

Realizado por: Vinueza, H. 2018

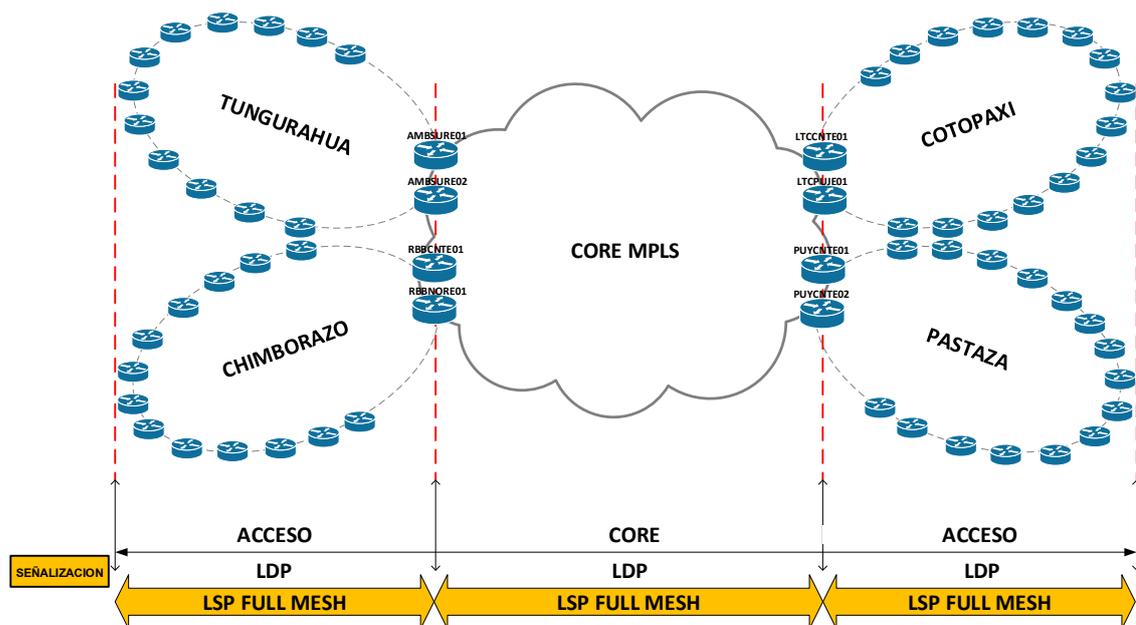
## 5.4.2 Señalización

La red IP/MPLS utiliza los protocolos de distribución de etiquetas para crear y mantener de forma dinámica las etiquetas de un LSP.

Estos protocolos se encargan de señalar el camino LSP, informar las etiquetas que se utilizarán entre los equipos, desde el Router de ingreso hasta el egreso y las etiquetas que se utilizarán en cada link para conmutar tráfico según el destino del mismo.

Para el diseño de red propuesto se utilizará los protocolos "Label Distribution Protocol" (LDP) y "Resource Reservation Protocol" (RSVP).

- a) LDP es un protocolo de señalización simple y rápida para el establecimiento de LSPs basado en las métricas del IGP, la siguiente figura 7-5 describe el detalle de la implementación de este protocolo en la red propuesta:



**Figura 7-5.** Señalización LDP

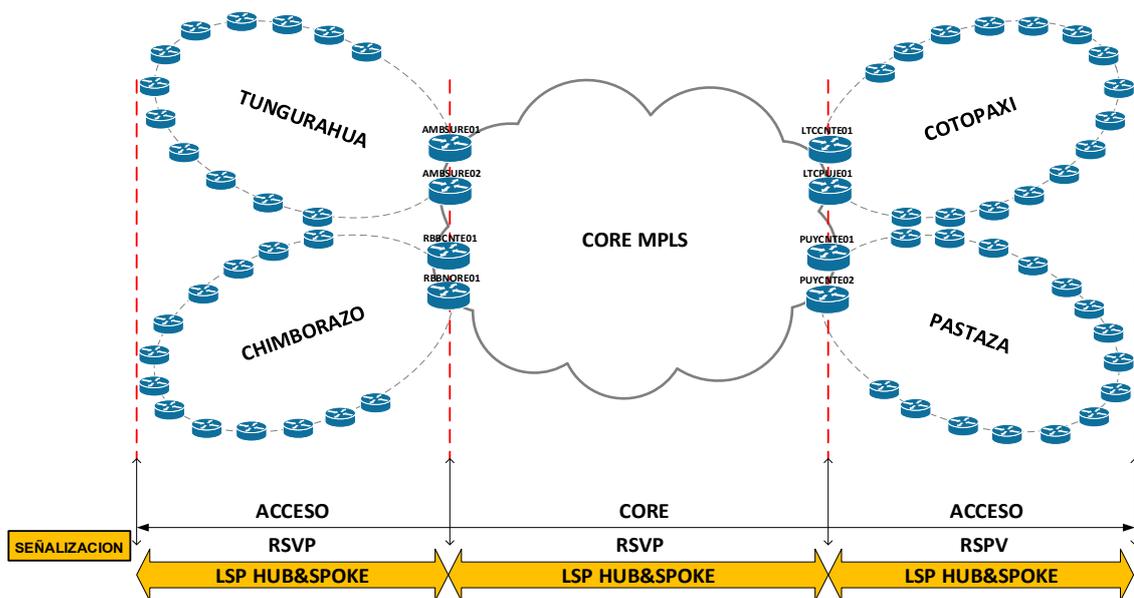
Realizado por: Vinueza, H. 2018

LDP es un protocolo que funciona sobre el IGP como OSPF o ISIS, por este motivo es fundamental que sea habilitado de manera conjunta exclusivamente en las interfaces en las que el IGP se encuentra habilitado.

Es importante tener en cuenta la sincronización entre el IGP IS-IS y LDP, esto garantiza que los LSP estén completamente establecidos antes de que se envíe tráfico.

b) RSVP es un protocolo de señalización cuya principal ventaja es la posibilidad de implementar ingeniería de tráfico sobre las redes MPLS, además permite configurar LSPs redundantes. Las principales funcionalidades que brinda RSVP son:

- Construir LSPs que soporten rutas explícitas.
- Mantener registros del LSP utilizado.
- Reservar recursos en los Routers que comprenden el LSP.
- Contar mecanismos de "keepalive" en los LSPs.
- Permite implementar esquemas de redundancia.



**Figura 8-5. Señalización RSVP**

Realizado por: Vinueza, H. 2018

### 5.4.3 RFC 3107

La arquitectura Seamless MPLS establece que cada región no comparte información de enrutamiento a nivel de IGP, por lo cual la señalización de LSPs extremo a extremo entre cada región debe ser provista por el protocolo BGP-LU (RFC 3107).

La implementación consiste en anunciar la Lo100 (ID de los Routers) asociada a cada dispositivo a través de iBGP con el objetivo poder alcanzar a dispositivos que se encuentran en otras regiones y de esta manera establecer un LSP, esto permite que se puedan implementar servicios MPLS (L3VPN, L2VPN, etc.).

En figura 9-5 se describen las consideraciones para la implementación de BGP-LU en la red propuesta:

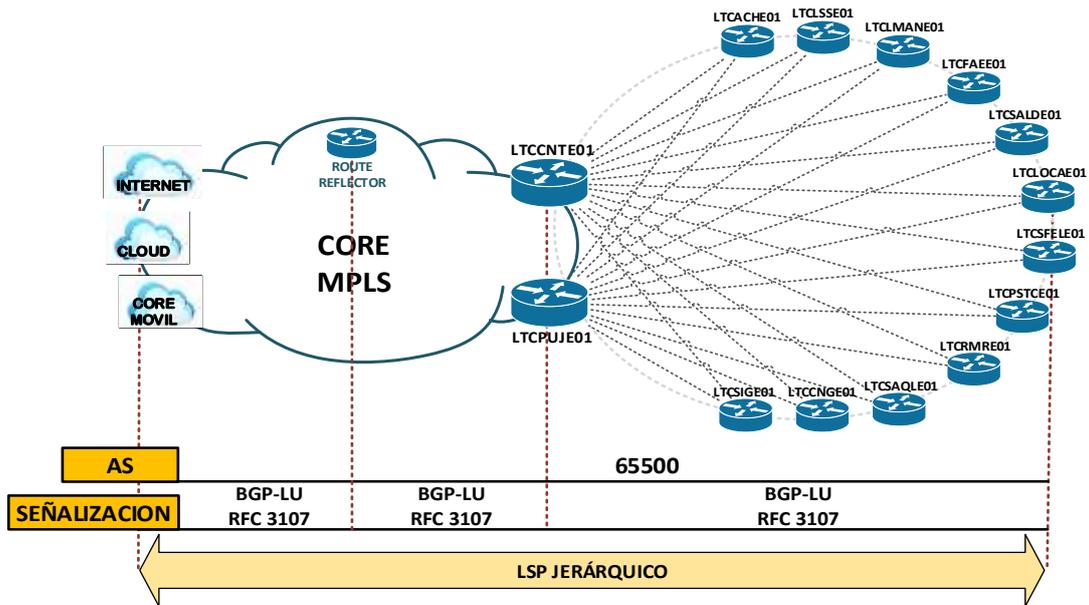


Figura 9-5. Señalización BGP-LU

Realizado por: Vinueza, H. 2018

#### 5.4.4 Sesiones BGP

En el diseño propuesto se ha seleccionado el Sistema Autónomo 65500, sin embargo, es importante indicar que esta asignación es realizada por El Registro de Direcciones de Internet de América Latina y Caribe “LACNIC”. En una red con arquitectura Seamless MPLS, es trascendental la implementación de BGP-LU la cual debe mantener un esquema jerárquico.

Para el diseño de red propuesto se incluye un Route Reflector (RR), todos los dispositivos de agregación (ABRs), establecen sesiones con el Route Reflector, y a su vez actúan como Route Reflector y puntos de salida de tráfico para cada subregión (Next-Hop-Self).

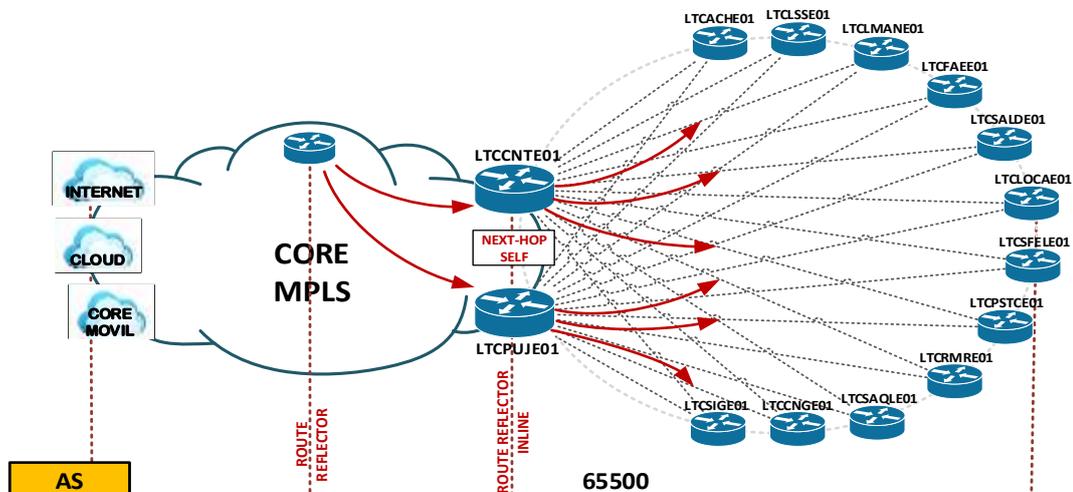


Figura 10-5. Esquema de Conectividad

Realizado por: Vinueza, H. 2018

BGP por defecto declara una sesión como Down después de no recibir 3 Keepalives en un periodo de 90 segundos (Hold-Time), este comportamiento puede ser afinado con el uso del protocolo Bidirectional Forwarding Detection (BFD).

Adicionalmente en la configuración de BGP se debe habilitar el atributo de BGP AIGP, el cual que permite seleccionar la mejor ruta para alcanzar un destino basado en la métrica del IGP, el atributo AIGP se evalúa en la selección de una ruta posterior al atributo Local Preference y adiciona la métrica del IGP a la ruta cada vez que el Next-Hop de BGP cambia.

## **5.5 Servicios**

Los servicios MPLS L3VPN pueden ser implementados en una red con arquitectura Seamless MPLS con las mismas funcionalidades que en una red MPLS tradicional, para esto se debe habilitar el Address-Family BGP-vpnv4 sobre las sesiones BGP establecidas para la implementación de BGP-LU con la misma estructura jerárquica de Route-Reflectors.

Los servicios MPLS L2VPN también pueden ser desplegados en un entorno Seamless MPLS, este tipo de implementación se encuentra definida en el RFC 4447, su funcionamiento se basa en el establecimiento de una sesión LDP directamente entre los PEs que desean establecer el servicio.

## CONCLUSIONES

El desarrollo del presente análisis de las redes en arquitectura MPLS tradicional y Seamless MPLS, arroja las siguientes conclusiones:

- El diseño de una red con arquitectura Seamless MPLS para un proveedor de servicios de telecomunicaciones con cobertura en la región 3 de Ecuador, resulta factible a nivel técnico, ya que el diseño propuesto cuenta con las mismas funcionalidades de una red MPLS tradicional, de acuerdo con el análisis realizado los valores de rendimiento Jitter y Latencia en la red propuesta son mejores, lo cual representa un óptimo rendimiento de la red para la provisión de servicios principalmente para los móviles. Además, por su estructura jerárquica un diseño de red basado en Seamless resulta más escalable puesto que los equipos para este tipo de arquitecturas requieren menor cantidad de recursos de hardware.
- Como parte de presente estudio en el Capítulo V, se incluye un diseño de red para la región 3 de Ecuador con una estructura jerárquica, conformada por un segmento de core y 4 segmentos de acceso, esto permite que cada segmento de red cuente con su propio dominio de enrutamiento IGP, con lo cual cada dominio tiene únicamente las rutas IP que corresponden a su segmento. Esto reduce significativamente el tamaño de las tablas de enrutamiento mejorando la convergencia de la red en general.
- Se elaboró un diseño de red basado en arquitectura Seamless cuenta con una pequeña cantidad de rutas en cada segmento, esto permite la mayoría de los equipos de la capa de acceso que operan en L2 puedan ser integrados en L3 como equipos PEs, con funcionalidades de enrutamiento, enlaces redundantes, QoS, etc., lo que garantiza una mejor disponibilidad en los equipos de la capa de acceso y en los servicios que se proveen a través de los mismos.
- Las redes con arquitectura MPLS tradicional y las redes con arquitectura Seamless MPLS brindan las mismas funcionalidades, luego de análisis de los parámetros de rendimiento latencia y jitter, se comprobó que las redes con arquitectura Seamless presentan mejores valores.
- Se elaboró una guía de diseño en la que se incluyen las consideraciones técnicas necesarias para el diseño de redes con arquitectura Seamless MPLS, esto facilita a los administradores de red la toma de decisiones en lo relacionado a los aspectos técnicos para la implementación de la arquitectura Seamless MPLS.

## **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda que los proveedores de servicios con cobertura en la región 3 de Ecuador que cuenten con una red de transporte MPLS consideren el diseño de red con arquitectura Seamless propuesto, con la finalidad de extender MPLS hacia las capas de acceso para contar con redes más robustas que garanticen los servicios fijos y móviles.
- Se recomienda realizar investigaciones relacionadas con la arquitectura de servicios en redes MPLS con arquitectura Seamless, esto permitan profundizar el presente estudio, ampliar, detallar e implementar el diseño en las redes de los operadores de telecomunicaciones de acuerdo con sus necesidades.
- A todos los profesionales relacionados con diseño de redes de proveedores de servicios se les recomienda impulsar el despliegue de la arquitectura Seamless MPLS, así como acoger las recomendaciones de la guía de diseño, esto con la finalidad de con redes de transporte que permitan ofrecer servicios fijos y móviles de vanguardia.

## BIBLIOGRAFÍA

- R. Hernández Sampieri, C. F.** (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGRAW-HILL.
- Herrera, H. A.** (2011). *Métodos estadísticos y sus aplicaciones*. Seis sigma.
- Sanchez-Monge, A., & Szarkowicz, K.** (2016). *MPLS in the SDN Era*.
- Leymann, N., Decraene, B., Filsfils, C., Konstantynowicz, M., & Steinberg, D.** (2014). *Seamless MPLS Architecture draft-ietf-mpls-seamless-mpls-06*. Recuperado de:  
<https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-mpls-seamless-mpls-07>
- MPLS Working Group.** (2014). Seamless MPLS Architecture. IETF RFC.
- Cisco Systems Inc.** (2007). *MPLS Fundamentals*. Indianapolis: Cisco Press.
- Juniper Networks Inc.** (2016). *Configuring the Broadband Edge as a Service Node Within Seamless MPLS Network Designs*. Sunnyvale.
- Network Faculty.** (2017). *Introducción a MPLS*. Madrid, España.
- ZTE Networks.** (2016). *ZTE Magazine*. Obtenido de Seamless MPLS for Fast and Flexible Service Deployment. Recuperado de:  
[http://wwen.zte.com.cn/endata/magazine/ztetechnologies/2016/no5/articles/201609/t20160912\\_460442.html](http://wwen.zte.com.cn/endata/magazine/ztetechnologies/2016/no5/articles/201609/t20160912_460442.html)
- Huawei.** (2010). *Technical White Paper for Seamless MPLS Networking*.
- Rekhter, Y., & Rosen, E.** (s.f.). *Carrying Label Information in BGP-4*.
- Gerometta, O.** (2013). *Apunte Rápido Service Provider Next-Generation Networks 1*.
- Lavado, Gianpietro, c.s.** (2014). *Arquitectura para una convergencia fijo-móvil escalable*.
- Juniper Networks Inc.** (2010). *Seamless MPLS*. 1-11.
- CISCO.** (s.f.). *MPLS unificado configuración en el Cisco IOS XR*.
- CISCO.** (s.f.). *BGP Unified MPLS iBGP Client*.

## ANEXOS

### ANEXO A: SCRIPT PARA ANALISIS DE DATOS (R STUDIO)

```
# BASE DE DATOS
datos<-read.table("latencia.txt",header=T)
head(datos)
attach(datos)
library(nortest)

##### VARIABLE MIN
# TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
# ESCENARIO 1
lillie.test(min1)
# Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
#data: min1
#D = 0.097965, p-value = 4.439e-06
# no es normal puesto que el p-value<0.05
# ESCENARIO 2
lillie.test(min2)
# Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
#data: min2
#D = 0.17539, p-value < 2.2e-16
# no es normal puesto que el p-value<0.05
# No son normales realizamos la diferencia de distribuciones de los min
# usando el test de Wilcoxon.

##### TEST DE WILCOXON
wilcox.test(min1,min2)
#Wilcoxon rank sum test with continuity correction
#data: min1 and min2
#W = 44243, p-value = 7.056e-16
#alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
# como el p-value es menor que 0.05 si existe diferencia significativa entre la distribución
#de los min1 y la distribución de los min2
boxplot(min1,min2, main="COMPARACIÓN DE ESCENARIOS - LATENCIA (MIN)",
col="lightblue", ylab= "TIME",names=c("MIN1", "MIN2"))
# la distribución de min2 ES MENOR Que LA DISTRIBUCIÓN DE min1
```

```
summary(min1)
#Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.
#44.0 112.0 124.0 125.5 140.0 260.0
```

```
summary(min2)
#Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.
#4.0 104.0 112.0 110.2 120.0 156.0
```

```
##### VARIABLE AVG
```

```
# TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
```

```
# ESCENARIO 1
```

```
lillie.test(avg1)
```

```
# Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
```

```
#data: avg1
```

```
#D = 0.069894, p-value = 0.00487
```

```
# no es normal puesto que el p-valor<0.05
```

```
# ESCENARIO 2
```

```
lillie.test(avg2)
```

```
# Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
```

```
#data: avg2
```

```
#D = 0.081001, p-value = 0.000426
```

```
# no es normal puesto que el p-valor<0.05
```

```
# No son normales realizamos la diferencia de distribuciones de los avg
```

```
# usando el test de Wilcoxon.
```

```
##### TEST DE WILCOXON
```

```
wilcox.test(avg1,avg2)
```

```
#Wilcoxon rank sum test with continuity correction
```

```
#data: avg1 and avg2
```

```
#W = 46623, p-value < 2.2e-16
```

```
#alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
```

```
# como el p-value es menor que 0.05 si existe diferencia significativa entre la distribución de los avg1 y la distribución de los avg2
```

```
boxplot(avg1,avg2, main="COMPARACIÓN DE ESCENARIOS - LATENCIA (AVG)", col="lightblue", ylab= "TIEMPO",names=c("AVG1", "AVG2"))
```

```
# la distribución de avg2 ES MENOR Que LA DISTRIBUCIÓN DE avg1
```

```
summary(avg1)
```

```
# Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.
```

```
#104.0 126.0 138.0 139.4 150.0 318.0
```

```

summary(avg2)
# Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.
# 88.0 112.0 122.0 123.7 134.0 174.0

##### VARIABLE MAX
# TEST DE NORMALIDAD DE LOS DATOS
# ESCENARIO 1
lillie.test(max1)
# Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
#data: max1
#D = 0.14868, p-value = 1.217e-14
# no es normal puesto que el p-valor<0.05

# ESCENARIO 1
lillie.test(max2)
# Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test
#data: max2
#D = 0.13229, p-value = 1.927e-11
# no es normal puesto que el p-valor<0.05
# No son normales realizamos la diferencia de distribuciones de los avg
# usando el test de Wilcoxon.

##### TEST DE WILCOXON
wilcox.test(max1,max2)
#Wilcoxon rank sum test with continuity correction
#data: max1 and max2
#W = 43931, p-value = 3.717e-15
#alternative hypothesis: true location shift is not equal to 0
# como el p-value es menor que 0.05 si existe diferencia significativa entre la distribución
de los max1 y la distribución de los max2
boxplot(max1,max2, main="COMPARACIÓN DE ESCENARIOS - LATENCIA (MAX)",
col="lightblue", ylab= "TIEMPO",names=c("MAX1", "MAX2"))
# la distribución de MAX2 ES MENOR Que LA DISTRIBUCIÓN DE MAX1
summary(max1)
# Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.
# 108.0 136.0 152.0 153.2 164.0 376.0
summary(max2)
# Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.
# 92.0 120.0 132.0 137.3 148.0 244.0

```

```
#####Comparación de las distribuciones
prueba=1:250
# Analisis exploratorio del MIN
plot(prueba,min1,main="LATENCIA (MIN)", type="b", pch=0, col="red", ylim=c(0,300), las=1,
ylab="TIEMPO", xlab="PRUEBAS")
lines(prueba, min2,type="b", pch=1, col="blue")
legend("topleft",c("ESCENARIO 1 MPLS","ESCENARIO 2 SEAMLESS
MPLS"),col=c('red','blue'),pch=c(0,1),lty=c(1,1),box.lty=0)

# Analisis exploratorio del MAX
plot(prueba,max1,main="LATENCIA (MAX)", type="b", pch=0, col="red", ylim=c(50,400), las=1,
ylab="TIEMPO", xlab="PRUEBAS")
lines(prueba, max2,type="b", pch=1, col="blue")
legend("topleft",c("ESCENARIO 1 MPLS","ESCENARIO 2 SEAMLESS
MPLS"),col=c('red','blue'),pch=c(0,1),lty=c(1,1),box.lty=0)

# Analisis exploratorio del AVG
plot(prueba,avg1,main="LATENCIA (AVG)", type="b", pch=0, col="red", ylim=c(80,350), las=1,
ylab="TIEMPO", xlab="PRUEBAS")
lines(prueba, avg2,type="b", pch=1, col="blue")
legend("topleft",c("ESCENARIO 1 MPLS","ESCENARIO 2 SEAMLESS
MPLS"),col=c('red','blue'),pch=c(0,1),lty=c(1,1),box.lty=0)
```