



## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

### **“PROPUESTA METODOLÓGICA DE TRANSICIÓN DE LA RED IP/MPLS A IPV6 PARA LA ENTREGA DE SERVICIOS AL SEGMENTO CORPORATIVO DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES EN LA PROVINCIA DE NAPO”**

**GABRIELA FERNANDA CIFUENTES DOMÍNGUEZ**

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

**MAGÍSTER EN INTERCONECTIVIDAD DE REDES**

Riobamba – Ecuador

Marzo 2018

**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: “PROPUESTA METODOLÓGICA DE TRANSICIÓN DE LA RED IP/MPLS A IPV6 PARA LA ENTREGA DE SERVICIOS AL SEGMENTO CORPORATIVO DE LA CORPORACIÓN NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES EN LA PROVINCIA DE NAPO”, de responsabilidad de la señorita Gabriela Fernanda Cifuentes Domínguez, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Dr. Juan Vargas Guambo; MSc.

**PRESIDENTE**

\_\_\_\_\_

Ing. Eduardo Villa Villa; MSc.

**DIRECTOR**

\_\_\_\_\_

Ing. Gloria Arcos Medina; MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Ing. Klever Torres Rodríguez; MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

Riobamba, Marzo 2018

## **DERECHOS INTELECTUALES**

Yo, Gabriela Fernanda Cifuentes Domínguez, 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.

-----  
GABRIELA FERNANDA CIFUENTES DOMÍNGUEZ

C.I: 1804066692

©2018, Gabriela Fernanda Cifuentes Domínguez

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.

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, Gabriela Fernanda Cifuentes Domínguez, declaro que el presente trabajo de titulación modalidad proyecto de investigación y desarrollo, 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 autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, Marzo 2018

-----  
GABRIELA FERNANDA CIFUENTES DOMÍNGUEZ

C.I: 1804066692

## **DEDICATORIA**

A mi amada hermana Lupita, a mis padres Guadalupe y Patricio, a mis amados hijos, que han sido mi refugio, mi fuerza e inspiración para convertirme en una mejor persona.

Gabriela

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco al Ingeniero Eduardo Villa, al personal del O&M y MPLS de CNT EP, por la guía y los valiosos aportes en el desarrollo del presente proyecto de tesis.

*Gabriela Fernanda Cifuentes Domínguez*

## ÍNDICE TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>1</b>
<b>1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Situación problemática.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Formulación del problema.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Preguntas directrices.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5 Justificación de la investigación.....</b>	<b>5</b>
<b>1.6 Objetivos .....</b>	<b>6</b>
<i>1.6.1 Objetivo general.....</i>	<i>6</i>
<i>1.6.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>6</i>
<b>1.7 Hipótesis.....</b>	<b>7</b>
<i>1.7.1 General.....</i>	<i>7</i>
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>8</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Red IP/MPLS.....</b>	<b>8</b>
<i>2.1.1 Infraestructura de una red IP/MPLS.....</i>	<i>8</i>
<b>2.2 VRF (Virtual Routing and Forwarding).....</b>	<b>12</b>
<b>2.3 Técnicas de coexistencia y transición de IPv4 a IPv6.....</b>	<b>13</b>
<i>2.3.1 Análisis comparativo de las técnicas de transición de IPv4 a IPv6.....</i>	<i>14</i>
<b>2.4 Técnicas de coexistencia y transición de IPv4/IPv6 sobre redes IP/MPLS .....</b>	<b>15</b>
<i>2.4.1 Túneles IPv6 en los enrutadores de acceso (CE).....</i>	<i>15</i>
<i>2.4.2 IPv6 sobre MPLS con circuitos de transporte.....</i>	<i>16</i>
<i>2.4.3 IPv6 sobre el protocolo MPLS en los equipos de borde (6PE).....</i>	<i>17</i>
<i>2.4.4 IPv6 sobre MPLS/VPN en los equipos de borde (6VPE).....</i>	<i>18</i>
<b>2.5 Análisis comparativo de las técnicas de transición de IPv4 a IPv6 sobre redes IP/MPLS .....</b>	<b>20</b>

<b>CAPÍTULO III</b>	<b>21</b>
<b>3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>21</b>
3.1 Diseño de la investigación .....	21
3.2 Tipo de investigación .....	21
3.3 Métodos de investigación .....	21
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	22
3.5 Población y muestra .....	22
3.5.1 Población .....	22
3.5.2 Muestra.....	23
3.6 Operacionalización de las variables .....	23
3.7 Diseño de los ambientes de pruebas .....	25
3.8 Plan de recolección de información.....	30
3.8.1 Entrevista.....	30
3.8.2 Observación .....	30
3.8.3 Revisión Documental.....	31
3.8.4 Pruebas de Funcionalidad .....	31
3.9 Plan de recolección de información.....	31
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>32</b>
<b>4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
4.1 Variable independiente: Metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6.....	32
4.1.1 Determinación de las fases, técnicas y actividades de la metodología.....	32
4.2 Variable dependiente: Acceso a servicios de valor agregado (SVA).....	33
4.2.1 Evaluación de la metodología propuesta a través del software GNS3.....	33
4.2.1.1 Conectividad de la red.....	33
4.2.1.2 Transferencia de archivos .....	34
4.3 Análisis de resultados y verificación de Hipótesis .....	35
4.3.1 Determinación de la hipótesis a través de la distribución T-Student.....	37
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>41</b>
<b>5 PROPUESTA .....</b>	<b>41</b>
5.1 Implementación de la metodología propuesta .....	41
5.2 Modelo propuesto para la Transición .....	42

<b>5.2.1 Planificación.....</b>	<b>42</b>
5.2.1.1 <i>Análisis de la situación actual de CNT.....</i>	42
5.2.1.2 <i>Equipamiento de la Red.....</i>	44
5.2.1.3 <i>Planeación de la transición.....</i>	44
<b>5.2.2 Diseño.....</b>	<b>45</b>
5.2.2.1 <i>Método de transición de IPv6 sobre MPLS.....</i>	45
5.2.2.2 <i>Topología de la Red.....</i>	47
<b>5.2.3 Implementación.....</b>	<b>48</b>
5.2.3.1 <i>Configuración del backbone de CNT EP.....</i>	49
5.2.3.2 <i>Configuración servicio de clientes corporativos en backbone de CNT EP.....</i>	57
5.2.3.3 <i>Configuración de la red IP/MPLS con direccionamiento IPv6 utilizando método 6VPE.....</i>	61
5.2.3.4 <i>Pruebas de conectividad.....</i>	69
5.2.3.5 <i>Análisis de los Servicios.....</i>	69
5.2.3.6 <i>Análisis de los protocolos IPv4 e IPv6.....</i>	70
<b>5.3 Cumplimiento de los objetivos.....</b>	<b>72</b>
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA	

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo “A” Pruebas de Conectividad IPv4 e IPv6

Anexo “B” Pruebas de transferencia de archivos

Anexo “C” Especificaciones de los equipos Cisco

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Técnicas de coexistencia/transición IP.....	15
<b>Tabla 2-2:</b> Técnicas de coexistencia/transición IPv4/IPv6 sobre IP/MPLS.....	20
<b>Tabla 1-3:</b> Operacionalización de las variables de la investigación.....	24
<b>Tabla 2-3:</b> Conceptualización de la variable dependiente .....	24
<b>Tabla 1-4:</b> Fases y actividades de la metodología propuesta .....	32
<b>Tabla 2-4:</b> Pruebas de conectividad de los protocolos IPv4 e IPv6 mediante ping .....	33
<b>Tabla 3-4:</b> Comparación de la transferencia de archivos entre IP/MPLS IPv4 vs IPv6 .....	35
<b>Tabla 4-4:</b> Muestras de datos relacionados para una prueba T-Student.....	36
<b>Tabla 5-4:</b> Resultados de la prueba de normalidad.....	38
<b>Tabla 6-4:</b> Estadísticas de muestras emparejadas .....	39
<b>Tabla 7-4:</b> Resultados de la prueba T-Student / Prueba de muestras emparejadas .....	39
<b>Tabla 1-5:</b> Equipos de la Red IP/MPLS de CNT.....	44
<b>Tabla 2-5:</b> Cronograma de actividades para la transición.....	45
<b>Tabla 3-5:</b> Comparativa de las diferentes técnicas de transición de IPv6 sobre MPLS .....	46
<b>Tabla 4-5:</b> Direccionamiento IP del equipamiento de la red MPLS .....	49
<b>Tabla 5-5:</b> Diagrama de direccionamiento IPv6 ha ser utilizado con 6VPE.....	61
<b>Tabla 6-5:</b> Direccionamiento IPv6 de matrices y sucursales .....	64
<b>Tabla 7-5:</b> Análisis comparativo de los protocolos IPv4 e IPv6 .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2.</b> Ejemplo de una red MPLS.....	10
<b>Figura 2-2.</b> Reenvío de paquetes en una red MPLS .....	12
<b>Figura 3-2.</b> Técnica de coexistencia/transición de IPv6 con túneles entre los enrutadores de acceso (CE).....	16
<b>Figura 4-2.</b> IPv6 sobre IP/MPLS con circuitos de transporte .....	17
<b>Figura 5-2.</b> Técnica 6PE.....	18
<b>Figura 6-2.</b> Esquema de funcionamiento de la técnica 6VPE.....	19
<b>Figura 1-3.</b> Esquema de direccionamiento IPv4/IPv6 a ser utilizado con 6VPE .....	26
<b>Figura 2-3.</b> Prueba de funcionamiento de la técnica 6VPE .....	27
<b>Figura 3-3.</b> Prueba de funcionamiento de la técnica IPv4. ....	28
<b>Figura 4-3.</b> Configuración del nodo MATRIZ_C_A con IPv6.....	29
<b>Figura 5-3.</b> Acceso a los archivos del nodo MATRIZ_C_A con IPv4 .....	29
<b>Figura 6-3.</b> Tiempo de descarga de archivos en el nodo OFFICE_C_A.....	30
<b>Figura 1-4.</b> Gráfico de la prueba de conectividad mediante ping .....	34
<b>Figura 2-4.</b> Gráfico de resultados de comparación IPv4 vs IPv6.....	35
<b>Figura 1-5.</b> Propuesta metodológica de transición IP/MPLS IPv4 a IPv6 .....	41
<b>Figura 2-5.</b> Fases de la metodología propuesta .....	42
<b>Figura 3-5.</b> Definición de nombres.....	43
<b>Figura 4-5.</b> Esquema de la Red IP/MPLS de CNT EP Napo.....	48
<b>Figura 5-5.</b> Configuración de IPv4.....	50
<b>Figura 6-5.</b> Habilitación del protocolo IS-IS .....	50
<b>Figura 7-5.</b> Configuración para habilitar el protocolo IS-IS en una interfaz.....	51
<b>Figura 8-5.</b> Configuración del ID MPLS.....	51
<b>Figura 9-5.</b> Configuración de MPLS para habilitar en cada interface.....	52
<b>Figura 10-5.</b> Resultados de enrutamiento a través del protocolo IS-IS.....	53
<b>Figura 11-5.</b> Esquema de red en core/distribución para configuración de MPLS.....	54
<b>Figura 12-5.</b> Verificación del protocolo MPLS en las interfaces.....	54
<b>Figura 13-5.</b> Verificación de MPLS en las interfaces utilizando LDP.....	54
<b>Figura 14-5.</b> Verificación de MPLS en las interfaces utilizando LDP bindings .....	55
<b>Figura 15-5.</b> Verificación de la Tabla LFIB .....	55
<b>Figura 16-5.</b> Prueba de conectividad mediante Ping .....	56
<b>Figura 17-5.</b> Prueba de conectividad mediante el comando Traceroute .....	56
<b>Figura 18-5.</b> Habilitación de VRF.....	57
<b>Figura 19-5.</b> Configuración de VPN sobre MPLS para clientes corporativos .....	58

<b>Figura 20-5.</b> Configuración de VRF en una interfaz WAN .....	59
<b>Figura 21-5.</b> Verificación de tablas de enrutamiento .....	60
<b>Figura 22-5.</b> Prueba de conectividad con IPv4 mediante Ping .....	60
<b>Figura 23-5.</b> Prueba de conectividad con IPv4 mediante Traceroute.....	61
<b>Figura 24-5.</b> Esquema de direccionamiento IPv6.....	62
<b>Figura 25-5.</b> Tabla de enrutamiento del backbone con el método 6VPE.....	63
<b>Figura 26-5.</b> Habilitación del protocolo IPv6 .....	63
<b>Figura 27-5.</b> Instancia de enrutamiento VRF .....	64
<b>Figura 28-5.</b> Configuración del direccionamiento IPv4 e IPv6 .....	65
<b>Figura 29-5.</b> Configuración del protocolo BGP y VPN.....	65
<b>Figura 30-5.</b> Distribución de las rutas que aprende el equipo cliente .....	66
<b>Figura 31-5.</b> Configuración del protocolo IPv6 en el equipo el cliente CE .....	66
<b>Figura 32-5.</b> Tabla de enrutamiento VRF ca6vpe con IPv4 .....	67
<b>Figura 33-5.</b> Tabla de enrutamiento VRF ca6vpe con IPv6 .....	67
<b>Figura 34-5.</b> Prueba de conectividad desde MATRIZ A hacia OFFICE 2A.....	68
<b>Figura 35-5.</b> Traceroute con de IPv4.....	68
<b>Figura 36-5.</b> Tabla de enrutamiento de IPv6 .....	69
<b>Figura 37-5.</b> Tasa de trasferencia de los protocolos IPv4 e IPv6 .....	72

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo elaborar una metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6 para mejorar el acceso de Servicios de Valor Agregado (SVA) al segmento corporativo de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP Napo, a través de una solución que permita atender las nuevas necesidades de interconectividad, mejorar las características de infraestructura tecnológica de los proveedores de servicio de Internet y fomentar el despliegue del protocolo IPv6.

Para el desarrollo de la investigación se empleó el tipo de investigación experimental, a través de las herramientas de simulación, técnicas e instrumentos de investigación y uso de la distribución estadística T-student para la demostración de la hipótesis planteada. Con la ayuda del software de emulación se implementó la técnica de transición IPv6 sobre MPLS/VPN (6VPE) en el ambiente de prueba de la red de CNT EP de Napo; como parámetros de análisis se consideraron a la conectividad de la red y a la transferencia de archivos.

Finalmente se presentó una metodología de coexistencia y transición de IPv4 a IPv6 sobre redes IP/MPLS con sus respectivas fases, esta metodología demostró prácticamente que permite la fácil implementación gradual de IPv6, soporta redes VPN e instancias de enrutamiento VRF, conmuta tráfico IPv6 correspondiente a VPN/VRF en redes MPLS con un core de IPv4, y que además ofrece ventajas de carácter económico.

**Palabras Clave:** <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <REDES DE COMPUTADORAS>, <INTERCONEXIÓN DE REDES>, <DIRECCIONAMIENTO IP>, <TRANSMISIÓN DE DATOS>, <MULTIPROTOCOLO DE CONMUTACIÓN DE ETIQUETAS (MPLS)>, <SERVICIOS DE VALOR AGREGADO (SVA)>, <CONECTIVIDAD>, <TRANSFERENCIA DE ARCHIVOS>.

## **ABSTRACT**

The present investigation aims to elaborate the methodology of transition from network IP/MPLS to IPv6 in order to improve the access to value-added services (VAS) to the corporative segment of National Telecommunication Corporation Public Enterprise (NTC PE) in Napo province. We proposed a solution to satisfy the new necessities of connectivity, improve the characteristics of technological infrastructure of the internet service providers and promote the protocol extension.

We used experimental investigation by simulation tools, techniques and instruments of investigation and the use of the statistical distribution T-student to demonstrate the hypothesis. By means of software emulation, the transition technique IPv6 over MPLS/VPN (6VPE) was implemented in the network testing area at NTC PE Napo. Network connectivity and file transfer were used as analysis parameters.

Finally, coexistence and transition methodology with its corresponding phases from IPv4 to Ipv6 over IP/MPLS networks was proposed. It lets the gradual implementation of IPv6, support networks VPN and applications of virtual routing and forwarding VRF, switch traffic IPv6 corresponding to VPN/VRF in MPS networks with a core IPv4, and offer economical advantages.

**Key words:** <ENGINEERING SCIENCE AND TECHNOLOGY>, <COMPUTER NETWORKS>, <NETWORK INTERCONNECTION>, <IP ADDRESSING>, <DATA TRANSMISSION>, <MULTIPROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS)>, <VALUE-ADDED SERVICES (VAS)>, <CONNECTIVITY >, <FILE TRANSFER >.

# CAPÍTULO I

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Introducción

A nivel mundial se han venido presentando una serie de falencias en proveedores de servicios de valor agregado y de telecomunicaciones, respecto a mantener infraestructuras sobre el protocolo IPv4 (O'Flaherty & Rocha, 2009), entre las cuales se encuentran:

- Difícil movilidad IP.
- Uso de tecnologías tipo NAT (Traducción de Direcciones de Redes), las cuales no permiten la comunicación directa de extremo a extremo, funcionando solo las aplicaciones con modalidad cliente-servidor.
- IPv4 más el uso de NAT no permiten la incorporación del protocolo IPsec (seguridad IP).
- Agotamiento de direcciones IPv4 públicas.

Cada vez son más los clientes del segmento corporativo que hacen uso de Servicios de Valor Agregado (SVA) a través de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) en la provincia Napo, los cuales son atendidos a través de la red IP/MPLS y sus redes de acceso en los diferentes cantones.

Debido a la obsolescencia programada del protocolo IPv4, es necesaria una metodología que permita realizar la transición de la red IP/MPLS a IPv6 de la CNT en la provincia de Napo.

La metodología de transición propuesta en la presente investigación, estará compuesta por diferentes fases que permitirán la coexistencia y transición de IPv4 a IPv6 en la red IP/MPLS de CNT EP Napo a través del despliegue de las técnicas de transición a IPv6 que mejor se adapten a las necesidades de la empresa.

El objetivo que se pretende alcanzar es fomentar el despliegue del protocolo IPv6 en proveedores de acceso a Internet, desarrollo de productos, servicios y operaciones, y además brindar una solución efectiva al agotamiento de las direcciones IPv4 ocasionado por el crecimiento exponencial de Internet y la explosiva demanda de direcciones IP; para esto se analizarán las diferentes metodologías y

técnicas de transición existentes a IPv6, análisis de la infraestructura actual de la red IP/MPLS de CNT EP Napo, y uso de herramientas de simulación de plataformas de red para la entrega de SVA a clientes corporativos en diferentes ambientes de prueba.

## **1.2 Situación problemática**

El desarrollo de las telecomunicaciones ha permitido la interconexión de redes y recursos, para acceder a los SVA (Servicios de Valor Agregado), los cuales son definidos por ARCOTEL (Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones) como “aquellos que utilizan los servicios finales de un portador de telecomunicaciones, y que incorporan aplicaciones para transformar el contenido de la información transmitida”, como por ejemplo el acceso al servicios de Internet y redes corporativas (SENATEL, 2017).

Existen estudios de carácter internacional, donde se proponen metodologías para la transición y coexistencias de plataformas tecnológicas de IPv4 a IPv6, como la desarrollada por el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones de Colombia (MINTIC, 2016), por su parte LACNIC a través de su libro Despliegue de IPv6 para el desarrollo socio económico en América Latina y el Caribe (Martínez, Cicileo, & Kaplan, 2015), detalla una metodología de 12 fases generales para la transición hacia IPv6 desarrolladas por algunos ISP para la evolución de sus redes. Mientras que Cisco (CISCO, IPV6 ASSESSMENT AND MIGRATION SERVICES, 2006), describe una metodología para la transición a IPv6 a través del inventario de equipos marca Cisco, análisis de características de dicho hardware, desarrollo de la propuesta de transición e implementación de la misma.

En dichos estudios y metodologías se abarcan de manera global las fases requeridas para la transición a una plataforma tecnológica de solo IPv6, sin dar mayor información para aplicar una metodología y desarrollo de escenarios que permitan ser aplicados a proveedores de servicios y de telecomunicaciones de nivel 2 y 3. Por esta razón se crea la necesidad de elaborar una metodología que dé solución a problemas de este tipo.

El 8 de junio del 2011 se celebró el *Día Mundial IPv6*, donde el principal objetivo fue motivar la participación de proveedores de contenidos, proveedores de servicios de Internet, fabricantes de hardware y sistemas operativos, entre otros, para que preparen sus infraestructuras, productos y servicios para la coexistencia y transición a IPv6. Los resultados obtenidos fueron, “pérdida del acceso a sus páginas en un 0,05%” (Morán, 2011), y la concientización del problema del

direccionamiento IP; es necesario que los proveedores de contenidos e ISP adopten el protocolo IPv6 para que pueda ser aplicado consistentemente.

En Ecuador la implementación de IPv6 es incipiente, a pesar que existen organizaciones como IPv6 Task Force – Ecuador, que coordinan esfuerzos para la adopción de IPv6, a través de la capacitación, difusión, elaboración de planes de acción para la implementación de IPv6 en el país en conjunto con el Ministerio de Telecomunicaciones, entre otros. A través de las estadísticas presentadas para el año 2017 por el sitio web <http://ipv6-test.com/stats/country/EC>, se encuentran la siguiente información:

- Existen un soporte de 50% para IPv4 y 50% para IPv6 respecto a su crecimiento e implementación.
- Los principales proveedores de servicio de Internet a través de IPv6 en Ecuador son: la Corporación Nacional de Telecomunicaciones - CNT EP, Hurricane Electric y Cedia.

CNT EP regional Napo, es el principal proveedor de servicios de telecomunicaciones de valor agregado, el cual cuenta con redes de última milla a través de medios de acceso de cobre, radio enlaces, fibra óptica, mediante tecnología FTTx, y plataformas que permiten ofertar a sus abonados acceso a Internet de Banda Ancha en los 5 cantones que componen la provincia de Napo.

La infraestructura que conforma la red IP/MPLS de CNT EP Napo, está basada en el modelo jerárquico de 3 capas de Cisco, lo que permite definir las funciones que cada equipo activo debe realizar, y además que facilita la administración de la red, brinda características de disponibilidad y redundancia, a través del uso de mecanismos de transporte y conmutación como Vlans.

Debido a que CNT EP Napo, trabaja con una infraestructura sobre IPv4 en su red IP/MPLS, no es posible entregar SVA a clientes corporativos con características de direccionamiento IPv6, integración de protocolos que permitan asegurar las comunicaciones sobre el protocolo IP de extremo a extremo, teniendo que realizar configuraciones de carácter más complejo lo cual añade mayor grado de dificultad en la administración de la red. Esto ha generado a nivel de acceso de servicios cierto malestar con determinados clientes que requieren operar bajo este protocolo de conectividad, este es el caso de una de las universidades emblemáticas de Ecuador “IKIAM”, proveedores ISP locales, y entidades varias; como consecuencia a la creciente necesidad es imperioso realizar un estudio para la coexistencia y transición IPv4 a IPv6 en la plataforma IP/MPLS.

Entre las limitaciones que CNT EP Napo, viene presentando con el uso de IPv4 a nivel de red están:

- Uso de mecanismos de traducción de direcciones (NAT), afectando el rendimiento, interrumpiendo conexiones TCP, y entre otras desventajas no permite el correcto seguimiento IP de extremo a extremo (CISCO, ECOVI.UAGRO, 2010).
- Requerimiento de seguridad a nivel de IP.
- Configuraciones complejas en la conectividad, para integrar un nuevo recurso a la red.
- Uso de infraestructura que requiere ser actualizada para atender las nuevas demandas de los clientes y nuevos usuarios.
- Respecto a la entrega de SVA, en la actualidad no existe restricciones para la entrega de pools de IPs públicas a través de CNT EP, pero se proyecta que en algunos años no será factible seguir entregando IPs públicas, debido a que estamos atravesando la fase de agotamiento de la tecnología IPv4 en América Latina y el Caribe según LACNIC (LACNIC, LACNIC, 2017).

Las limitaciones mencionadas anteriormente crean la necesidad de aplicar una metodología de transición a una plataforma tecnológica de IPv6 que facilitará la solución de las mismas, generando beneficios de carácter tecnológico al proveedor de servicios y a sus usuarios.

### **1.3 Formulación del problema**

¿La aplicación de una metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6, permitirá mejorar el acceso de servicios de valor agregado al segmento corporativo de CNT EP en la provincia de Napo?

### **1.4 Preguntas directrices**

- ¿Cuál es la situación actual de la red IP/MPLS en la provincia de Napo, para atender a clientes corporativos?
- ¿Cuáles son las técnicas de transición a IPv6 que se pueden aplicar en la red IP/MPLS?
- ¿Cuáles son las metodologías de migración y coexistencia de IPv4 e IPv6 existentes?
- ¿La infraestructura de red con la que actualmente se está atendiendo a los clientes corporativos en la provincia de Napo, permite la integración del protocolo IPv6?

- ¿Cuáles son las técnicas, características y fases que deberían contener la metodología propuesta?
- ¿Qué herramientas se deben utilizar para simular el escenario propuesto?

### **1.5 Justificación de la investigación**

Según estudios realizados por LACNIC (Registro de Direcciones de Internet para América Latina y Caribe), “actualmente cinco de cada diez latinoamericanos tienen acceso a Internet. Se estima que habrá 100 millones de nuevos usuarios de Internet al llegar a 2015, totalizando 355 millones de internautas en América Latina y el Caribe” (LACNIC, LACNIC, 2012). Motivos como la integración de nuevos recursos a Internet, desarrollo de nuevas aplicaciones, y atención a nuevas necesidades de conectividad a nivel de corporativo y de hogar hacen obligatoria la transición de proveedores de servicios a infraestructuras sobre IPv6, por los beneficios que conlleva la implementación de este protocolo IP, y a la vez es necesaria una metodología de transición que sea aplicada a ISP, la cual también sea orientada a la conectividad y no solo a servicios, como las propuestas por varios organismos.

La provincia de Napo cuenta con 103.697 habitantes (INEC, 2010) distribuidos en 5 cantones, su economía está basada en el turismo, comercio, ganadería, y prestación de servicios en calidad de funcionarios y empleados públicos, los cuales hacen uso de enlaces al servicio de Internet y datos, como herramienta de gestión de información.

La solución que se propone dar al problema de transición a IPv6, es desarrollar una metodología que permita la coexistencia y transición al protocolo IPv6 de la red IP/MPLS, que sirve de plataforma del PST (Proveedor de Servicios de Telecomunicaciones) para brindar acceso a SVA a clientes corporativos a través de diferentes tecnologías de última milla en la provincia de Napo.

Los beneficiarios del proyecto serán entidades de servicios privados y públicos, como ministerios e instituciones que juegan un rol importante en el desarrollo económico, social y cultural en la provincia, además CNT EP Regional 2 Napo; ya que se realizará un estudio de la situación actual de la infraestructura, y se propondrá una metodología de transición a IPv6 de acuerdo a las necesidades de CNT EP y las necesidades de los usuarios del sector corporativo.

Esta investigación es relevante porque permitirá contribuir al desarrollo del Internet, y que operadores de red como CNT EP implementen IPv6 para garantizar la eficiencia, la conectividad y crecimiento a largo plazo de Internet.

A demás se hará uso de la herramienta de simulación de plataformas de red GNS3, para no acudir a sistemas reales, ahorrando recursos económicos y aprovechando el conocimiento de carácter técnico de diferentes fuentes de información y experiencia de la investigadora.

Para la simulación de los escenarios, se tomará en cuenta las métricas de medición de la **conectividad y transferencia de archivos; el primer escenario a simular es la infraestructura** actual de la red IP/MPLS de CNT EP Napo para obtener la información relacionada a la población y muestra de la investigación, **el segundo escenario estará basado en el análisis** de las diferentes técnicas y propuesta de metodología, para determinar si se obtienen resultados que ratifiquen la mejora o no en las métricas de medición.

Además aportará al mejoramiento de la plataforma tecnológica, a través de la propuesta de la metodología para la transición a IPv6, para atender las nuevas necesidades de los clientes y nuevos usuarios del segmento corporativo, en cuanto a seguridad, rendimiento, mayor cantidad de direccionamiento IP asignado, e infraestructura a nivel de core/distribución/acceso que afronten los nuevos desafíos de conectividad.

## **1.6 Objetivos**

### ***1.6.1 Objetivo general***

- Elaborar una metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6 para mejorar el acceso de SVA al segmento corporativo de CNT EP en la provincia de Napo.

### ***1.6.2 Objetivos específicos***

- Analizar las técnicas de transición de IPv4 a IPv6, para determinar las potencialidades de cada una de ellas.
- Analizar la infraestructura de la red IP/MPLS, para determinar las características de operación y funcionamiento del equipamiento activo.

- Analizar las diferentes técnicas de coexistencia y transición del protocolo IPv4 a IPv6, para determinar las características que mejor se adapten a la red IP/MPLS de CNT EP NAPO; para el desarrollo de la metodología.
- Determinar las características, técnicas y fases, que formarán parte de la metodología de transición a proponer.
- Diseñar ambientes de prueba para el análisis de los parámetros que determinan el mejor acceso de servicios de valor agregado al segmento corporativo.
- Evaluar la metodología propuesta en la red IP/MPLS a través de software de simulación, para demostrar la mejora en el acceso a los servicios de valor agregado.

## **1.7 Hipótesis**

### **1.7.1 General**

- La aplicación de la metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6, permitirá cambiar el acceso de SVA al segmento corporativo de CNT EP en la provincia de Napo.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Red IP/MPLS

Las redes de Comunicación nacen con la necesidad de compartir información entre diferentes puntos a través de diversos medios y tecnologías, para cumplir con este objetivo se han desarrollado diferentes métodos de envío como la conmutación de circuitos, y conmutación de paquetes. MPLS (Multi Protocol Label Switching) se desarrolla en los años 90s a partir de la necesidad de implementar arquitecturas de red optimizadas, que permitan manejar grandes volúmenes de tráfico y ofrecer diferentes niveles de servicio en un entorno de mayor fiabilidad.

Una red IP/MPLS (Internet Protocol/Multi Protocol Label Switching), “es una tecnología del reenvío de paquete que utiliza las escrituras de la etiqueta para tomar las decisiones del reenvío de datos” (SUPPORT, 2016), y que además es aplicable a cualquier protocolo de la capa de red.

Uno de los beneficios que ha permitido su implementación es la interoperabilidad de diferentes tecnologías en las capas de enlace de datos (capa 2) y red (capa 3) del modelo OSI. También permite llevar las funciones de enrutamiento únicamente a los equipos exteriores del dominio de MPLS, de tal forma que en la parte interna del dominio se realizan funciones de conmutación mediante la consulta de etiquetas añadidas a cada paquete en el momento de la entrada al dominio.

##### *2.1.1 Infraestructura de una red IP/MPLS*

##### **Características:**

- Provee un mecanismo de envío a través de la conmutación veloz de paquetes, usando etiquetas y no direcciones IP de destino.
- Flow management, para el manejo del flujo de tráfico de tamaño variado, proporcionando capacidad de controlar dónde y cómo se enruta el tráfico en la red, priorizar diferentes tipos de servicios y evitar la congestión de los mismos.

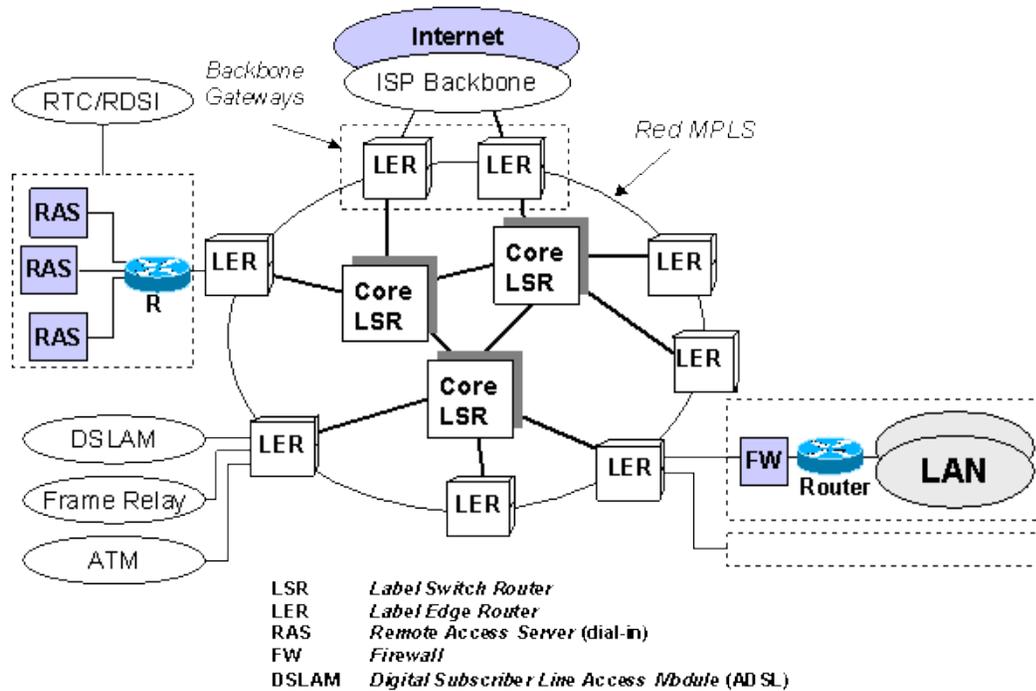
- Implementación de redes multiservicio para proporcionar servicios de transporte de datos y enrutamiento IP, a través de la misma infraestructura de red conmutada por paquetes.
- Ofrece un servicio orientado a conexión, que mantiene un estado de comunicación entre nodos y mantiene circuitos virtuales.
- Provee un mecanismo para la implementación de ingeniería de tráfico (TE) a través de mecanismos de protección de tráfico (como: balanceo de carga, ruteo, entre otros), y además adecuando el tráfico de acuerdo a los recursos de la red, para que éstos sean aprovechados eficientemente.
- MPLS proporciona uso de aplicaciones como:
  - Virtual Private Networking (VPN)
  - Ingeniería de tráfico (TE)
  - Calidad del servicio (Quality of Service)
  - Mecanismos de protección ante fallos

### **Componentes:**

Dentro de su estructura está compuesto por (Rosen, Cisco Systems, & Force10 Networks, 2001):

- LSP (Label Switch Path): túnel unidireccional entre dos enrutadores, los cuales están ruteados a través de una red MPLS.  
Este túnel es creado a través del protocolo LDPs (Label Distribution Protocols), el cual permite descubrir nodos MPLS para establecer una ruta, y reservar recursos físicos necesarios.
- LER (Label Edge Routers): también denominado nodo de Ingreso o Router PE (Provider Edge Router). Es el dispositivo que maneja el tráfico que ingresa o sale de una red MPLS, aplica o remueve la etiqueta MPLS a los paquetes, y realiza la selección de la ruta inicial. Y también se encuentra ubicado en el borde de la red MPLS, para realizar funciones de encaminamiento y proporcionar conectividad a los usuarios de la red.
- LSR (Label Switching Routers): denominado también nodo de Tránsito o Router P (Provider Router).  
Se encuentran en el núcleo de la red MPLS, para realizar el enrutamiento de alto rendimiento basado en la conmutación por etiquetas, trabaja solo a nivel 2 de la capa OSI.
- FEC (Forwarding Equivalence Class), es un grupo de paquetes IP que son remitidos de manera semejante (ingreso por la misma interfaz), y sobre la misma trayectoria.

En la Figura 1-2, se muestra un ejemplo de red MPLS, donde se encuentran los componentes activos LER, LSR y la ruta LSP.



**Figura 1-2.** Ejemplo de una red MPLS

Fuente: (Huidobro & Millán, 2002)

Mientras que los componentes lógicos de MPLS son:

- **Control (plano de control):** realiza el intercambio de etiquetas y rutas a nivel de capa 3.
- **Datos (plano de datos):** se encarga del envío de paquetes basado en las etiquetas.

#### Protocolos utilizados por MPLS:

- El protocolo LDP (Label Distribution Protocol), es usado para la distribución de las etiquetas generadas, también comunica la información de las etiquetas a los ruteadores LSR. Hace uso de TCP para establecer sesiones en las que se informa a otros ruteadores del mapeo de etiquetas.
- Para el proceso de enrutamiento se hace uso del protocolo OSPF (Open Shortest Path First), el cual permite determinar el enrutamiento más económico, multiruta y de equilibrio de carga.

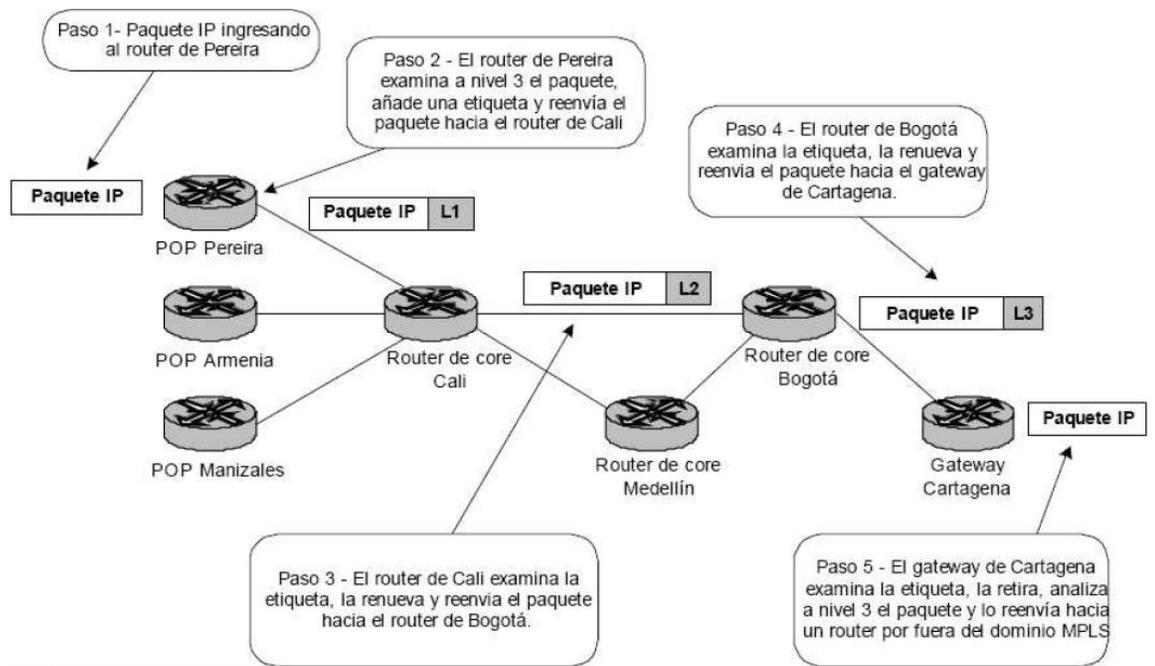
- El protocolo RSVP (Resource Reservation Protocol), es usado para la reservación de recursos, también especifica los requerimientos de ancho de banda y condiciones de tráfico para una trayectoria definida, y si el ancho de banda requerido está disponible, entonces se establece el enlace para la transmisión.

### **Reenvío de paquetes MPLS:**

Los paquetes MPLS entran y salen de la red a través de los equipos *LSR* (o Router *P*), donde el camino que recorren se denomina *LSP* (Label Switched Path), un *LSP* trabaja en un esquema orientado a conexión, siendo este path formado antes que exista un flujo de información circulando sobre él. “Cuando un paquete atraviesa la red MPLS, cada LSR cambia la etiqueta entrante por una nueva etiqueta saliente, este proceso continúa hasta que el último LSR (Router *P*) ha sido alcanzado. Cada LSR mantiene dos tablas que almacenan la información relevante al componente de reenvío MPLS. La primera conocida como **LIB** (Label Information Base), la segunda es **LFIB** (Label Forwarding Information Base)” (Tapasco García, 2008).

- La tabla **LIB** (Label Information Base o Base de datos de información de etiquetas), guarda todas las etiquetas asignadas por este LSR (Router *P*) y las correspondencias de esas etiquetas a otras recibidas desde algún LSR vecino.
- La tabla **LFIB** (Label Forwarding Information Base), mantiene almacenadas únicamente las etiquetas que están siendo actualmente usadas por el componente de reenvío.

En la Figura 2-2, se muestra cómo funciona el mecanismo de envío de paquetes en una red MPLS, desde que ingresa a un dominio y sale de él, se puede apreciar además cómo las etiquetas cambian entre los distintos LSR, y que en el último LSR (o Router *P*) se obtiene el paquete IP original.



**Figura 2-2.** Reenvío de paquetes en una red MPLS  
Fuente: (Tapasco García, 2008)

## 2.2 VRF (Virtual Routing and Forwarding)

“Virtual Routing and Forwarding (VRF) es una tecnología IP que permite que varias instancias de una tabla de enrutamiento coexistan en el mismo enrutador al mismo tiempo. Debido a que las instancias de enrutamiento son independientes, y poseen su propia tabla de enrutamiento, permite incluso que haya superposición de redes IP en la misma infraestructura sin que haya conflictos de direccionamiento IP” (Cisco-Systems, 2014).

Donde una instancia VRF es una entidad en un enrutador físico, la cual permite la implementación de planos de enrutamiento y control separados para cada red de cliente en la infraestructura física.

Los elementos que componen una VRF, son:

- **Interfaces** asociadas a la VRF.
- **Nombre:** el cual identifica localmente la VRF en el dispositivo y permite ingresar al modo de configuración de esta VRF específica.
- **Route Distinguisher:** permite identificar las VRF que componen la misma red virtual, y que realizan el intercambio de información de enrutamiento entre sí.

- **Exported Route Target:** permite identificar a qué otra VRF dentro de la misma red se envía información de enrutamiento de esa VRF.
- **Imported Route Target:** identifica de qué otra VRF dentro de la misma red se aprende información de enrutamiento para esa VRF.
- **Tabla de enrutamiento:** con la creación de VRFs, se habilitarán diferentes instancias de enrutamiento en un mismo dispositivo, las cuales se encuentran separadas lógicamente. Donde cada instancia de enrutamiento es totalmente independiente y se mantiene una tabla de enrutamiento por cada instancia, siendo así que cada VRF puede tener sus propias rutas estáticas o instancia de un protocolo de enrutamiento.

Existen los siguientes tipos de tablas:

*Tablas de enrutamiento global* o de la infraestructura, en la que se mantienen las rutas propias de la infraestructura física de red.

*Tabla de enrutamiento independiente* por cada VRF, en esta tabla se almacena la información de las rutas de la red virtual a la que pertenece la VRF. Esta tabla es formada del intercambio de información de enrutamiento con otras VRFs de la misma red virtual.

### 2.3 Técnicas de coexistencia y transición de IPv4 a IPv6

Debido a que los protocolos IP son incompatibles entre sí, se requiere aplicar diferentes técnicas para la transición gradual y definitiva a IPv6, que permitirán solventar problemas relacionados al agotamiento del direccionamiento IPv4 comunicado por IANA en el 2011 (Gobierno de España. Ministerio de Energía, 2017) a través de la transición al protocolo IPv6, el cual tiene las siguientes características (IPv6MX, 2017):

- Mayor espacio de direccionamiento.
- Presenta modos de autoconfiguración.
- Enrutamiento eficiente y escalable hacia el Internet.
- Transmisión de multicasting en el link local.
- Encabezado eficiente.
- Capacidades de autenticación y privacidad, entre otras (Ramírez & Cervantes, 2015).

Existen tres técnicas principales creadas por la IETF, las cuales serán analizadas básicamente para comprender el principio de funcionamiento de cada una:

- **Dual Stack:** hace uso de un nodo de doble pila IPv6/IPv4 (es posible comunicarse con un nodo solo IPv6 o solo IPv4), para lograr ese objetivo el nodo IPv6/IPv4 debe tener configurados los dos tipos de direcciones.

El término doble pila hace referencia a la duplicación de todos los niveles en la pila de protocolos desde la capa de aplicaciones hasta la capa de red, para el correcto funcionamiento de IPv4 e IPv6.

Las consideraciones para implementar esta técnica son: contar con suficientes direcciones IPv4, y la configuración de ruteo externo e interno debe estar correctamente realizada.

- **Tunneling:** esta técnica encapsula los paquetes IPv6 con cabeceras IPv4, para ser transportados por una red IPv4.

Para su funcionamiento “el nodo IPv6 que hace frontera con el túnel, toma el paquete IPv6, y lo pone en el campo de datos de un paquete IPv4. Este paquete IPv4 tiene como dirección de destino el nodo IPv6 en la parte final del túnel y es enviado al primer nodo IPv4 que conforma el túnel. Los nodos IPv4 del túnel encaminan el paquete, sin tener constancia de que el paquete IPv4 que están manejando contiene un paquete IPv6.

Finalmente cuando el paquete llega al extremo receptor IPv6 del túnel, este determina que el paquete IPv4 contiene un paquete IPv6 que debe ser extraído” (Landy, 2013).

- **Traducción:** es un mecanismo de transición de paquetes IP, el cual transforma los paquetes IPv6 a IPv4, y viceversa.

Entre sus características están el permitir una comunicación transparente entre nodos que soporten una sola versión del protocolo IP, o que a su vez tienen características de doble pila. No es muy recomendable debido a que entre sus limitaciones no permite el uso de protocolos de seguridad como IPsec en el dispositivo de translación.

### 2.3.1 Análisis comparativo de las técnicas de transición de IPv4 a IPv6

En la Tabla 1-2, se realiza un análisis de las potencialidades de las técnicas de transición:

**Tabla 1-2:** Técnicas de coexistencia/transición IP

TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Dual Stack	Permite la comunicación con un nodo solo IPv6 o solo IPv4.	Ambos protocolos están operando en paralelo en la red. Actualmente todos los sistemas operativos soportan IPv6, además al añadir IPv6, no se elimina la pila IPv4.	Las configuraciones de ruteo externo e interno deben ser correctamente realizadas.
Tunneling	Encapsula los paquetes IPv6 con cabeceras IPv4, para ser transportados por una red IPv4.	Proporciona un mecanismo para usar infraestructuras IPv4 mientras la red IPv6 es implementada.	Las configuraciones de los túneles son manual. El troubleshooting puede resultar complejo. Según la topología de la red, podría ser requerido full-mesh de túneles.
Traducción	Mecanismo de transición de paquetes IP, que transforma los paquetes IPv6 a IPv4, y viceversa.	Es una técnica donde no hay necesidad inmediata de cambiar los CPE en el extremo del cliente (sea propiedad del proveedor o del propio usuario).	Permite la comunicación entre dispositivos que son solo IPv6 y aquellos que son solo IPv4. Una consecuencia de no cambiar el CPE es que posiblemente IPv6 no funcione, a pesar que el proveedor lo ofrezca.

Realizado por: Gabriela Cifuentes

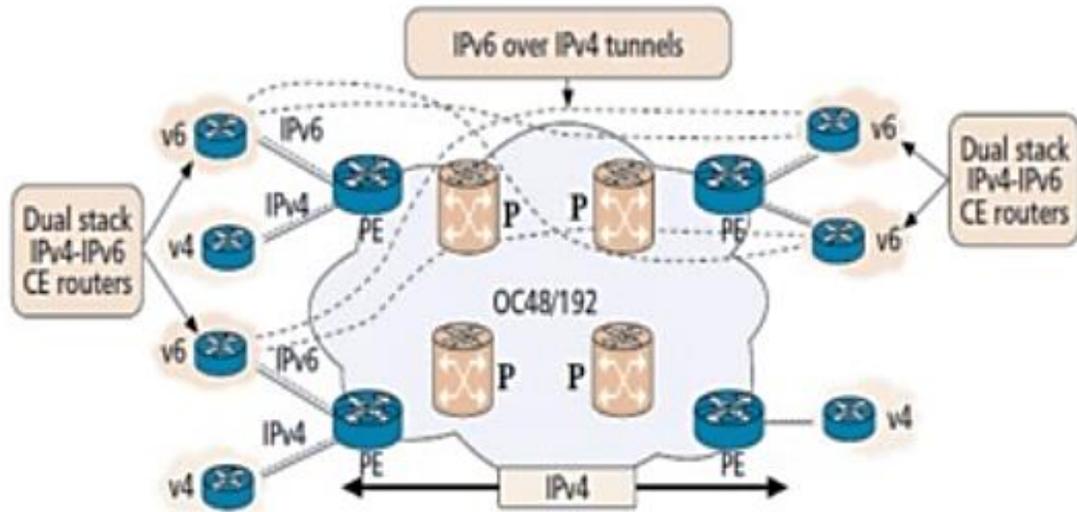
## 2.4 Técnicas de coexistencia y transición de IPv4/IPv6 sobre redes IP/MPLS

Con el propósito de tener una infraestructura tecnológica segura, escalable, que brinde mayores prestaciones a los usuarios y permita cumplir con las necesidades actuales, es imperativo para los ISP contar con plataformas sobre IPv6, y además considerando que la mayoría de las redes de los ISP usan IPv4 nativo en su core, resulta provechoso aplicar técnicas que permitan la coexistencia y transición de IPv4 a IPv6.

Entre las técnicas para la coexistencia/transición se encuentran las siguientes (Gelvez, López, & Rivas, 2013):

### 2.4.1 Túneles IPv6 en los enrutadores de acceso (CE)

Consiste en la implementación de túneles en los ruteadores de acceso, los cuales deben ser doble pila, para permitir el tráfico de información IPv6 de forma transparente para el core IP/MPLS, facilitando la encapsulación de paquetes IPv6 a IPv4, en la Figura 3-2, se muestra un ejemplo de esta técnica.



**Figura 3-2.** Técnica de coexistencia/transición de IPv6 con túneles entre los enrutadores de acceso (CE)

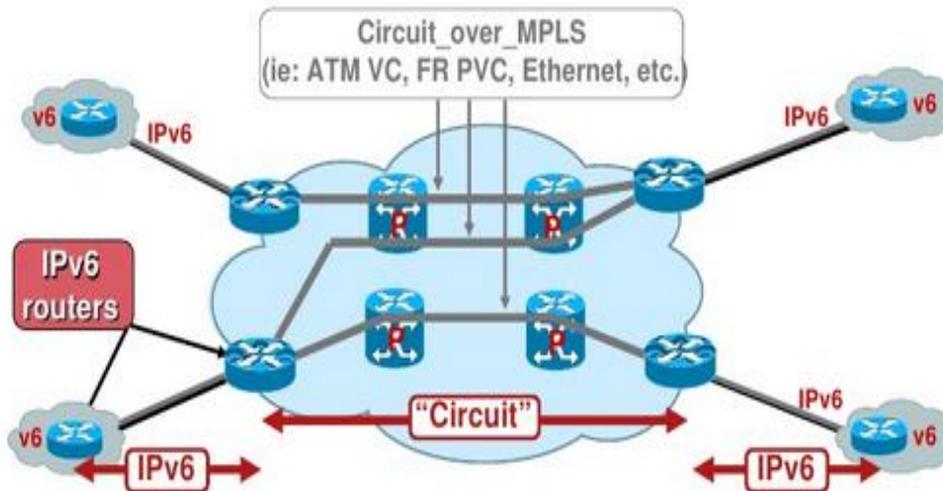
Fuente: (Gelvez, López, & Rivas, 2013)

Es necesario implementar un túnel entre cada CE que esté operando sobre IPv6, por lo cual se requiere una arquitectura full mesh, presentado cierta desventaja respecto a la escalabilidad y crecimiento de la red.

#### 2.4.2 IPv6 sobre MPLS con circuitos de transporte

Comprende la interconexión entre islas IPv6, a través de enlaces dedicados los cuales son transparentes para IPv6, no siendo necesarias las modificaciones para la infraestructura del core de la red MPLS/IPv4.

El transporte del tráfico IPv6 entre CE se realiza a través de enlaces dedicados, los cuales son configurados en los equipos PE del proveedor, a través de túneles de capa 2 con tecnologías como por ejemplo: Frame Relay, ATM, Ethernet (Ethernet sobre MPLS - EoMPLS, Figura 4-2), que implica conexiones prescriptivas las conexiones sobre Ethernet o ATM respectivamente entre el proveedor y los enrutadores de acceso (CE).



**Figura 4-2.** IPv6 sobre IP/MPLS con circuitos de transporte  
Fuente: (Gelvez, López, & Rivas, 2013; CISCO, ECOVI.UAGRO, 2010)

Es una técnica fácil de implementar, pero presenta problemas debido a que no es escalable.

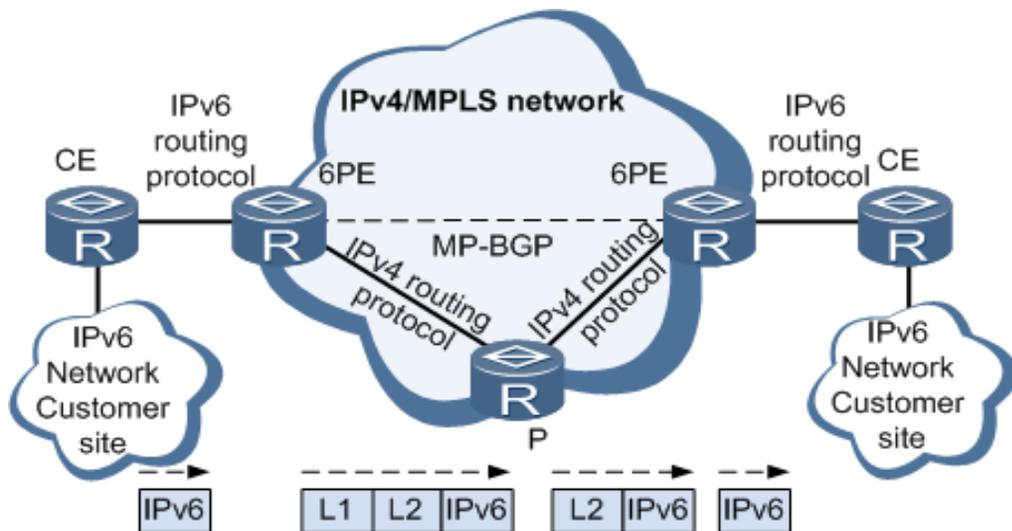
### 2.4.3 IPv6 sobre el protocolo MPLS en los equipos de borde (6PE)

En esta técnica los cambios son realizados en los equipos de borde de la red del proveedor (PE), mientras que para el intercambio de información referente a ruteo se hace uso del Multiprotocolo de BGP (MP-BGP), el cual soporta tanto IPv4 como IPv6.

Los equipos PE están configurados de tal forma que soportan el tráfico IPv4 e IPv6 (doble pila), además del uso de direcciones IPv6 mapeadas IPv4.

En el libro Despliegue de IPv6 para el desarrollo socio económico en América Latina y el Caribe (LACNIC, 2015) se menciona que “con 6PE se mantiene una única tabla de enrutamiento por lo que es adecuada para la Internet en general. Esto debido a que en el core de la red IP/MPLS se realiza el intercambio de etiquetas en la conmutación.

En la Figura 5-2, se presenta un esquema de funcionamiento de 6PE.



**Figura 5-2.** Técnica 6PE  
Fuente: (Huawei, 2015)

Para que sea transparente el tráfico de IPv6 en los equipos de la capa del modelo jerárquico core, en los equipos de borde PE de ingreso se impone una jerarquía de etiquetas, donde:

- La primera etiqueta MPLS (L-MPLS), facilita la conectividad dentro del core y permite el intercambio de etiquetas dentro del core de la red IPv4/MPLS, a través de la distribución por:
  - TDP - Protocolo de Distribución de Rótulos-Tags,
  - LDP - Protocolo de Distribución de Etiquetas,
  - o RSVP - Protocolo de Reservación de Recursos.
- La segunda etiqueta (L-MP-IBGP), establece comunicación interna a través del protocolo IGP (como OSPF o IS-IS).

En la técnica 6PE se conectan todas las redes IPv6 a través de una VPN, es por esta razón que no pueden ser separadas de forma lógica.

#### 2.4.4 IPv6 sobre MPLS/VPN en los equipos de borde (6VPE)

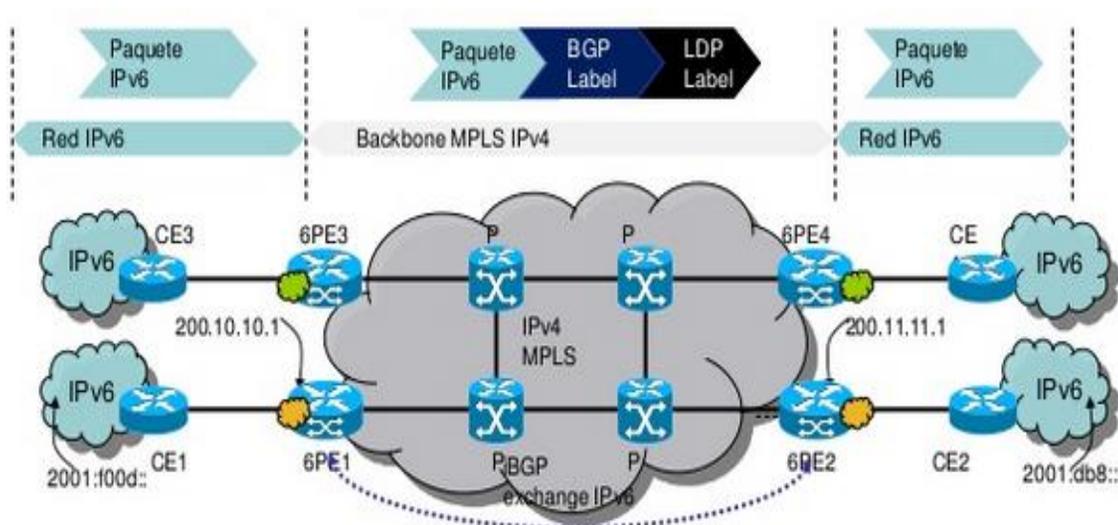
Permite definir varias redes privadas virtuales (VPN), a través de instancias de enrutamiento VRF (Virtual Routing and Forwarding), con el objetivo de segmentar los diferentes servicios que oferta el proveedor. 6VPE es un mecanismo para utilizar el backbone IPv4 para proporcionar servicios VPN con IPv6.

Entre sus ventajas están brindar escalabilidad a la red, menos impacto en las configuraciones lógicas y costo de implementación a nivel del core IP/MPLS, además de permitir integrar características de funcionalidad avanzadas de MPLS como TE, QoS, entre otras.

Según (SUPPORT-CISCO, 2013) 6VPE consta de los siguientes componentes:

- Comunidades de destino de rutas VPN: es una lista de todos los miembros de una comunidad VPN.
- Multiprotocolo BGP: permite propagar la información para accesibilidad VRF a todos los miembros de una comunidad VPN.
- MPLS forwarding: transporta todo el tráfico entre toda la comunidad de miembros VPN a través de la VPN del proveedor de servicios.

En la Figura 6-2, se presenta un esquema de funcionamiento de la técnica 6VPE.



**Figura 6-2.** Esquema de funcionamiento de la técnica 6VPE  
Fuente: (Lavado, 2015)

## 2.5 Análisis comparativo de las técnicas de transición de IPv4 a IPv6 sobre redes IP/MPLS

En la Tabla 2-2, se realiza un análisis comparativo de las diferentes técnicas coexistencia/transición en redes IP/MPLS:

**Tabla 2-2:** Técnicas de coexistencia/transición IPv4/IPv6 sobre IP/MPLS

TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS	DUAL STACK	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Túneles IPv6 en los enrutadores de acceso (CE)	Implementación de túneles de capa 3 en los ruteadores de acceso del cliente (CE).	No se realizan cambios en los equipos de borde y core en la red IP/MPLS.	Equipos CE	Fácil implementación. No se requieren modificaciones en la red IP/MPLS.	No permite la escalabilidad. Configuración manual de túneles. Se requiere un túnel entre cada CE.
IPv6 sobre MPLS con circuitos de transporte	Conectividad entre CE a través de enlaces dedicados mediante túneles capa 2, los cuales se configuran en los equipos de borde (PE).	No se realizan cambios en los equipos de core en la red IP/MPLS.	Equipos CE	Fácil implementación.	No permite la escalabilidad.
IPv6 sobre el protocolo MPLS en los equipos de borde (6PE)	Se hace uso del multiprotocolo BGP (MP-BGP) para el transporte de paquetes IPv6.	No se realizan cambios en los equipos de borde y core en la red IP/MPLS.	Equipos CE y PE	Características de flexibilidad, para la implementación gradual. Permite entregar tráfico IPv6 nativo al CE.	No soporta redes VPN. No soporta VRF. Posee una única tabla de enrutamiento global en el router del proveedor.
IPv6 sobre MPLS/VPN en los equipos de borde (6VPE)	Se hace uso del multiprotocolo BGP (MP-BGP) para el transporte de paquetes IPv6. Se implementan VPN IPv6 entre los equipos de borde (PE).	No se realizan cambios en los equipos de core en la red IP/MPLS.	Equipos CE y PE	Soporta redes VPN e instancias de enrutamiento VRF. Permite entregar tráfico IPv6 nativo al CE. Facilita la implementación gradual de IPv6. Conmuta tráfico IPv6 correspondiente a VPN/VRF para encapsularlo con MPLS dentro de un core de IPv4.	Se requiere la habilitación manual del envío de etiquetas BOTTOM generadas por multiprotocolo BGP (MP-BGP).

Realizado por: Gabriela Cifuentes

## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Diseño de la investigación

La investigación realizada fue de diseño longitudinal debido a que se analizaron las variables de hipótesis y sus indicadores, para determinar su incidencia antes y después de la aplicación de la metodología propuesta, y para el escenario planteado en la red IP/MPLS de CNT Napo de clientes del sector corporativo.

#### 3.2 Tipo de investigación

Para el desarrollo de la investigación se utilizó el tipo de investigación experimental, debido a que se usaron herramientas de simulación para determinar la técnica que mejor se adaptó a las necesidades de CNT EP Napo a nivel de conectividad en el acceso a SVA, para permitir la coexistencia y transición de IPv4 a IPv6 en la red IP/MPLS, dentro del análisis se consideraron parámetros como: conectividad y transferencia de archivos, antes y después de la metodología propuesta.

#### 3.3 Métodos de investigación

La investigación se realizó a través de la aplicación de los siguientes métodos de investigación:

**Método deductivo**, para la comprensión de conceptos, principios, definiciones, y normativas para el uso del protocolo IPv6 y su incidencia en redes IP/MPLS.

**Método inductivo**, permitió que en el proceso de análisis teórico de las diferentes técnicas de coexistencia/transición de IPv4 a IPv6, se seleccione la mejor técnica a ser propuesta en la metodología de transición en la red de CNT EP Napo.

**Método Sintético**, se utilizó para la comprensión de los temas de investigación, y extracción de la información más relevante y que permitió además la comprobación de la hipótesis.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas usadas para la recolección de datos fueron:

- Documentales-bibliográficas.
- Lectura de libros, revistas, informes, documentos técnicos y artículos científicos para fundamentar la hipótesis planteada.
- Fichaje usado para recopilar y extraer información relevante para la aplicación de las técnicas de coexistencia y transición del protocolo IPv4 a IPv6, diseño de la metodología, y desarrollo del ambiente de pruebas.
- Entrevistas al personal del área técnica de CNT RG2, lo cual permitió determinar características a considerar en el desarrollo de la metodología y escenario de pruebas.

Mientras que los instrumentos de recolección de datos fueron:

- Fichas de observación, las cuales sirvieron para el análisis de la situación actual y análisis de técnicas de coexistencia y transición del protocolo IPv4 al protocolo IPv6.
- Software de simulación GNS3, en donde se realizó la simulación de la red IP/MPLS, de acuerdo a la situación actual y a las características de la metodología propuesta a través de la técnica de coexistencia y transición 6VPE.
- Configuración del servidor FTP para la transferencia de archivos.

### **3.5 Población y muestra**

Para este estudio se utilizó la estadística descriptiva, que está compuesta por la recolección de los datos, y organizarlos de acuerdo a los indicadores establecidos previamente, procediendo con su análisis y finalizando con la interpretación de los mismos.

#### **3.5.1 Población**

La población está compuesta por la cantidad de pruebas de conectividad de la red y transferencia de archivos a la red IP/MPLS de CNT EP de la provincia de Napo.

### 3.5.2 Muestra

“La muestra es un subconjunto de la población a estudiar” Álvarez (2015). Para la muestra de esta investigación se tomó en cuenta a los 5 equipos terminales configurados en un entorno IPv6, donde se realizó pruebas en los parámetros de conectividad y transferencia de archivos.

Para determinar el tamaño de la **muestra** se utilizó la técnica de **muestreo no probabilístico** que sirve para realizar **estudios exploratorios**, se determinó un número de 8 pruebas de conectividad.

### 3.6 Operacionalización de las variables

Para la investigación se establecieron variables e indicadores que fueron necesarios para la comprobación de la hipótesis, los cuales fueron comprobados mediante el análisis de la información recolectada a través de las técnicas e instrumentos adecuados como se describe en la Tabla 1-3 con la operacionalización de las variables de investigación y la Tabla 2-3 en donde se conceptualizan los indicadores de la variable dependiente.

#### **Variable Independiente:**

Metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6

#### **Variable Dependiente:**

Acceso a los servicios de valor agregado (SVA) al segmento corporativo de CNT EP en la Provincia de Napo.

**Tabla 1-3:** Operacionalización de las variables de la investigación

VARIABLES		INDICADORES	ÍNDICES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
INDEPENDIENTE	Metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6	Fases de metodología	Número de fases	Entrevista	Fuentes de información (documentos técnicos, Internet, libros)
			Actividades por fase	Revisión Documental y Observación	
			Número de configuraciones	Observación	Ficha de observación
DEPENDIENTE	Acceso a servicios de valor agregado (SVA)	Conectividad de la red	Conectividad de la red IP/MPLS en IPv4 e IPv6	Pruebas de funcionalidad	Software de simulación GNS3
		Transferencia de archivos	Tiempo de transferencia	Pruebas de funcionalidad	Servidor Xampp (FTP)

Realizado por: Gabriela Cifuentes

**Tabla 2-3:** Conceptualización de la variable dependiente

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADOR	CONCEPTO	ÍNDICE	CONCEPTO
Acceso a servicios de valor agregado (SVA)	Servicios que a través de redes de acceso, ofrecen disponibilidad de información/contenido o servicio	I.1 Conectividad de la red	Capacidad de establecer una comunicación entre una red de datos y sus componentes activos.	I.1.1 Conectividad de la red IP/MPLS en IPv4 e IPv6	Parámetro que permite medir la correcta operatividad de comunicación desde/hacia una red de datos.
		I.2 Transferencia de archivos	Transmisión de un archivo desde y hacia un componente activo de red a través de un canal de comunicación.	I.2.1 Tiempo de transferencia	Período de tiempo en el que se realiza una transferencia de archivos.

Realizado por: Gabriela Cifuentes

### Índice I.1.1 Conectividad de la red IP/MPLS en IPv4 e IPv6

Para el índice Conectividad de la red IP/MPLS en IPv4 e IPv6, se tienen las siguientes características:

- Unidad de medida milisegundos (ms)
- La herramienta de medición utilizada es el software de simulación GNS3.

- Se midió a través del escenario propuesto con la red IP/MPLS sin implementar la metodología propuesta, y con la implementación de la metodología para determinar valores numéricos.

### **Índice I.2.1 Tiempo de transferencia**

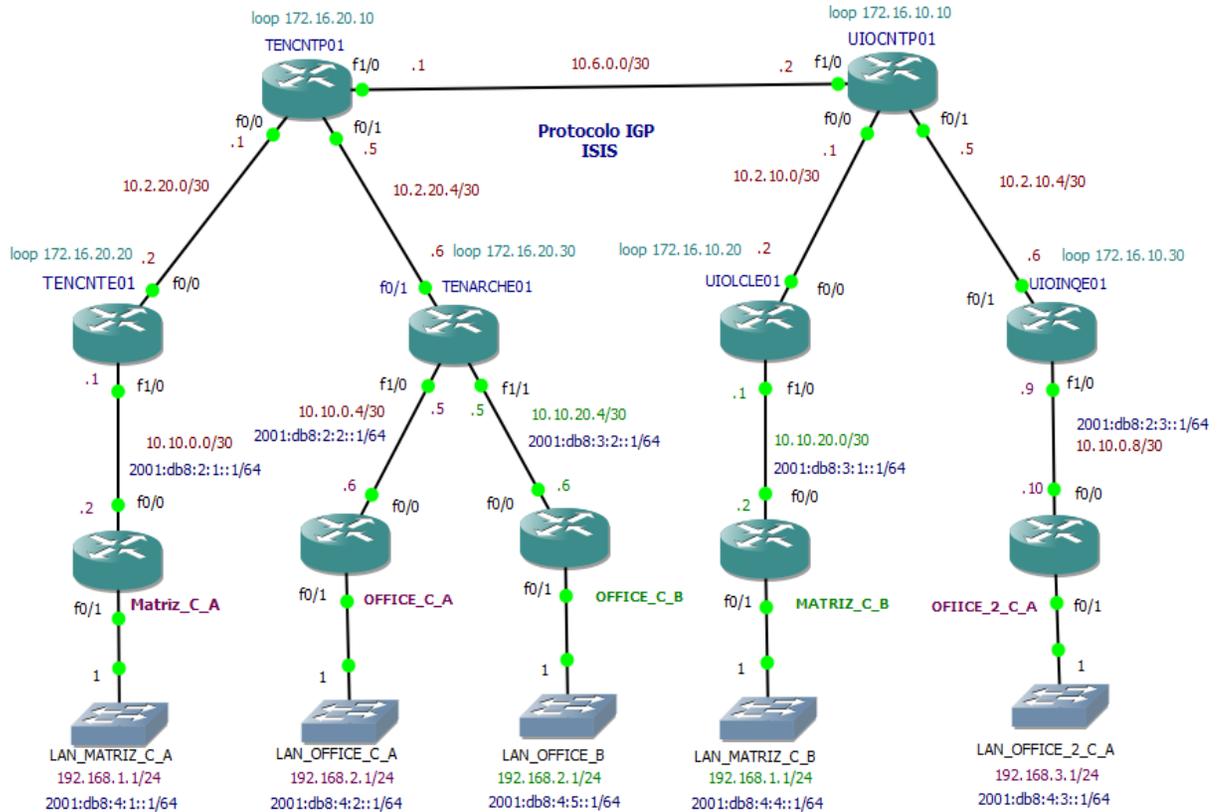
Para el índice Tiempo de transferencia, se tienen las siguientes características:

- Unidad de medida milisegundos (ms)
- La herramienta de medición utilizada es el software de simulación GNS3 y servidor FTP Xampp Server.
- Se midió a través del escenario propuesto con la red IP/MPLS sin implementar la metodología propuesta, y con la implementación de la metodología para determinar valores numéricos para validar la hipótesis planteada.

### **3.7 Diseño de los ambientes de pruebas**

Para los ambientes de prueba se presentaron dos escenarios simulados con las herramientas software GNS3 y servidor FTP Xampp Server, para los cuales se usó el caso práctico de la red IP/MPLS de CNT EP de la provincia de Napo, en el primer escenario se simuló la infraestructura de la red MPLS sobre el protocolo IPv4 con su modelo jerárquico basado en redes CISCO, en el segundo escenario se implementó la metodología de transición de redes MPLS en IPv6 con la técnica 6VPE y el modelo jerárquico de CISCO implementado en CNT EP de la provincia de Napo, permitiendo la obtención de información relevante respecto a los indicadores propuestos en la variable dependiente.

En la Figura 1-3 se muestra la topología de la red IP/MPLS para los dos escenarios de pruebas, en donde se realizó el análisis de conectividad de la red y la transferencia de archivos.



**Figura 1-3.** Esquema de direccionamiento IPv4/IPv6 a ser utilizado con 6VPE  
**Fuente:** Captura de Pantalla GNS3

Con la configuración de la red y sus respectivos componentes, para la verificación del parámetro *conectividad de la red* se elige como ejemplo a los nodos MATRIZ\_C\_A y OFFICE\_C\_A de la muestra. Con el uso del software de simulación GNS3 y la herramienta **ping** del protocolo ICMP, entre los distintos nodos, se realizaron las respectivas pruebas.

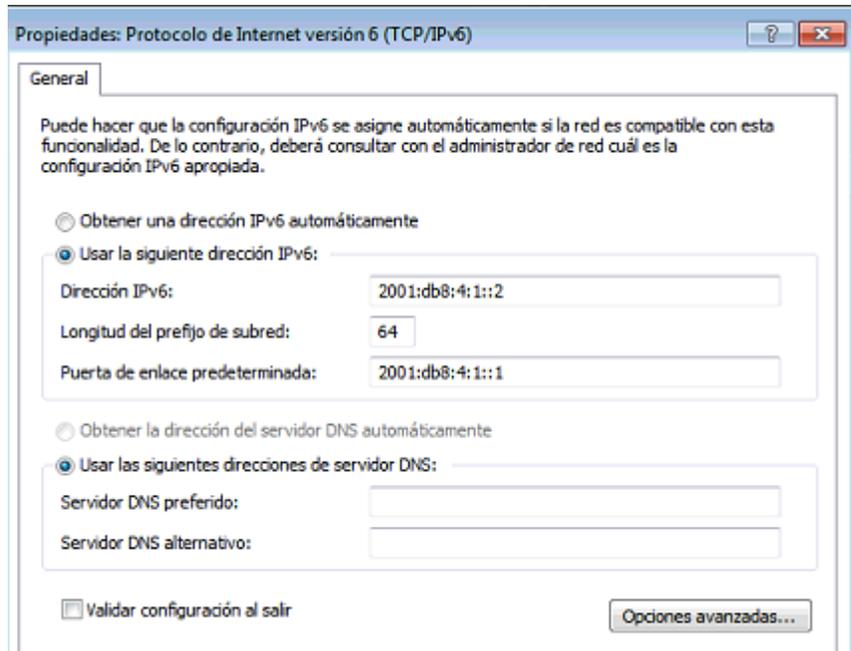
En la Figura 2-3 se puede observar, que para la conectividad se tomaron parámetros que se apegan a la realidad, se enviaron 2000 paquetes con un tamaño de 1500 bytes y el tiempo de vida de 5s, en el escenario con la implementación de la metodología.

MATRIZ\_C\_A IPv6: 2001:db8:4:1::1

OFFICE\_C\_A IPv6: 2001:db8:4:2::1

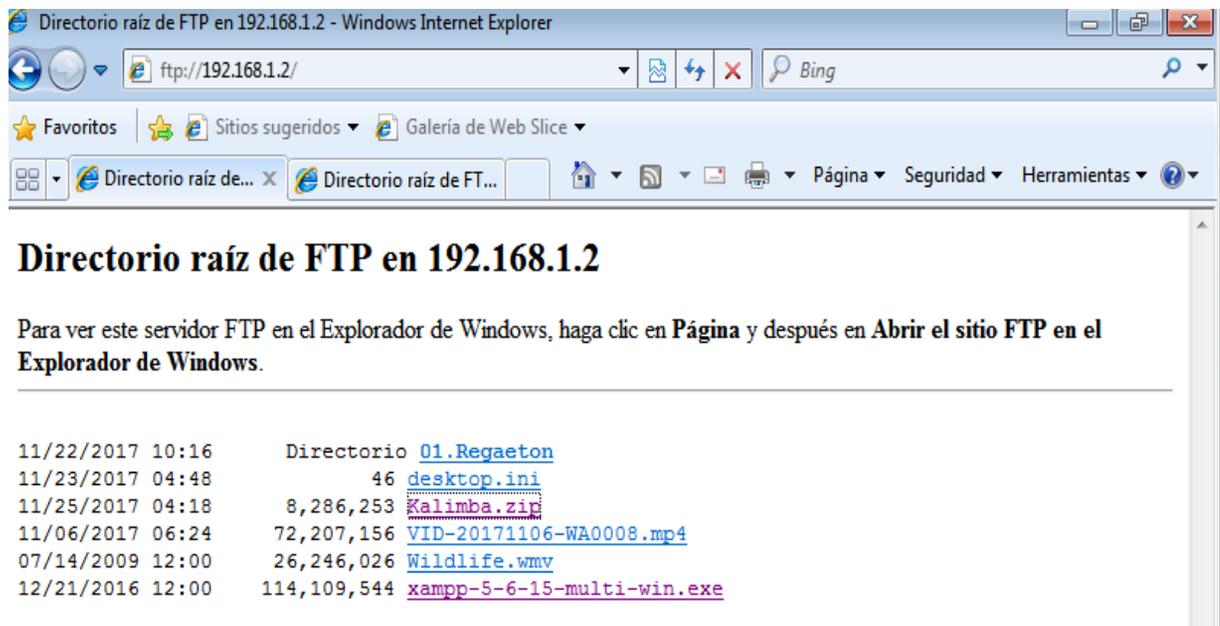






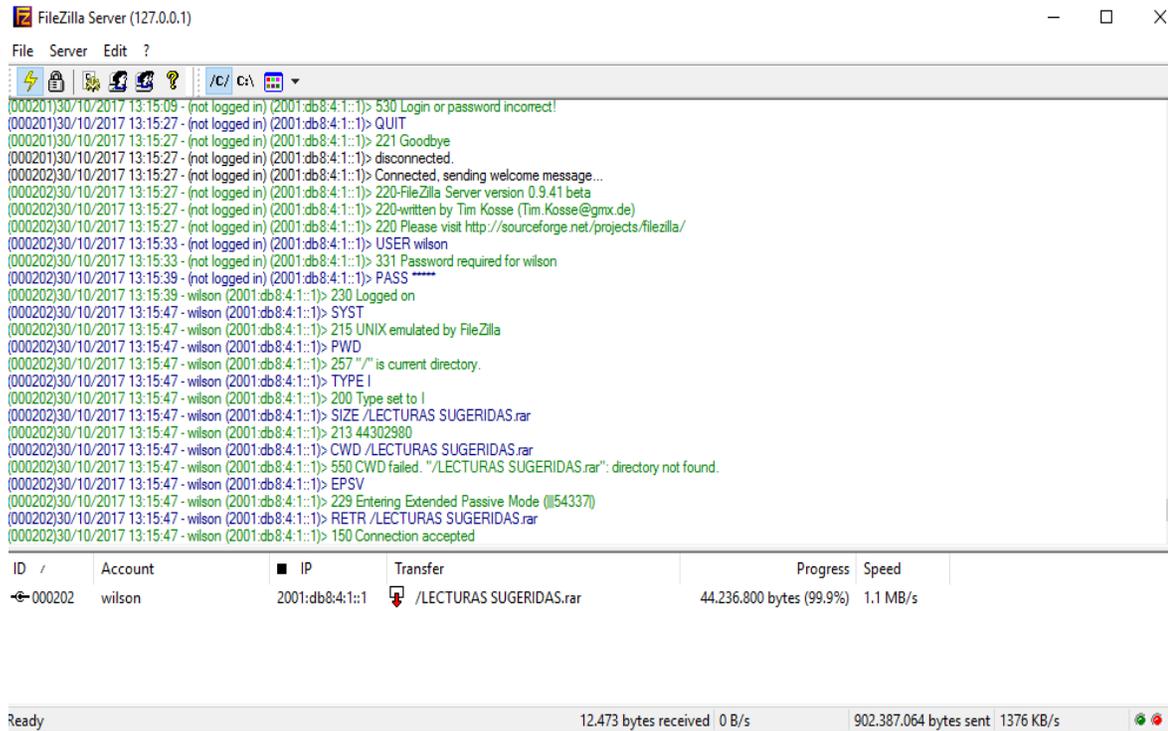
**Figura 4-3.** Configuración del nodo MATRIZ\_C\_A con IPv6  
**Fuente:** Captura de Pantalla Propiedades de Internet versión 6 (TCP/IPv6)

Para acceder a los archivos del nodo MATRIZ\_C\_A se debe colocar la siguiente dirección IP en el navegador web: <ftp://192.168.1.2>, como se muestra en la Figura 5-3.



**Figura 5-3.** Acceso a los archivos del nodo MATRIZ\_C\_A con IPv4  
**Fuente:** Captura de Pantalla Navegador Chrome

Para determinar el tiempo de transferencia se aplicaron parámetros de tamaño del archivos de 10, 20, 30 y 40 MB en los que se analizó el tiempo de transferencia, como se muestra en la Figura 6-3.



**Figura 6-3.** Tiempo de descarga de archivos en el nodo OFFICE\_C\_A

Fuente: Captura de Pantalla FileZilla Server (Xampp)

### 3.8 Plan de recolección de información

#### 3.8.1 Entrevista

La entrevista fue realizada al personal del área técnica de CNT sobre la metodología utilizada para la transición de la red IP/MPLS al protocolo IPv6, efectuándose mediante preguntas claras y precisas.

#### 3.8.2 Observación

Permitió obtener información sobre el número de protocolos, las pruebas de funcionalidad de la red, así como también la conectividad y transferencia de archivos, esta información fue recolectada mediante fichas de observación.

### ***3.8.3 Revisión Documental***

Esta técnica fue utilizada en la investigación de la metodología adecuada para la transición de IP/MPLS a IPv6. La información fue recolectada a través de libros, documentos técnicos, artículos y el Internet.

### ***3.8.4 Pruebas de Funcionalidad***

Mediante esta técnica se realizaron las configuraciones necesarias para la conectividad de la red y de transferencia de archivos utilizando el software de simulación GNS3 y el Servidor Xampp (FTP).

## **3.9 Plan de recolección de información**

La información recolectada fue analizada y comparada entre la red IP/MPLS IPv4 y la red IP/MPLS IPv6, de la cual se pudo determinar la funcionalidad, conectividad de la red, transferencia de archivos y los beneficios que ofrecen los diferentes protocolos. Con el objetivo de plantear una metodología con sus respectivas fases para la coexistencia y transición la red IP/MPLS a IPv6 de CNT EP en la provincia de Napo.

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Posterior a las pruebas y resultados obtenidos en los escenarios propuestos con la implementación de la metodología de transición a IPv6 en redes IP/MPLS, y sin la integración de la metodología, se obtuvieron los siguientes resultados para los indicadores planteados.

#### 4.1 Variable independiente: Metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6

La metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6, integra características de funcionalidad y operatividad del protocolo IPv6 en una red IP/MPLS, esta variable se encuentra descrita de forma macro en el capítulo v – denominado propuesta, y aplicada de forma práctica en el escenario 2 sobre el caso práctico de la red IP/MPLS del proveedor CNT EP de la provincia de Napo.

##### 4.1.1 Determinación de las fases, técnicas y actividades de la metodología

Con la investigación de las distintas fuentes de información bibliográfica, y el uso de las técnicas e instrumentos de investigación, se pudo determinar una metodología para la transición de la red IP/MPLS IPv4 a IPv6 basada en 3 fases fundamentales. En donde la metodología se basó en un proceso secuencial y lógico que abarca desde el estudio de la situación actual de CNT EP hasta la configuración de los escenarios de red y pruebas de funcionamiento del protocolo IPv6, como se muestra en la Tabla 1-4.

**Tabla 1-4:** Fases y actividades de la metodología propuesta

Ord	Fases	Actividades
01	Planificación	Situación actual de red de CNT
		Equipamiento de la red
		Planeamiento de la Transición
02	Diseño	Técnica de transición usando 6VPE
		Topología de la Red
03	Implementación	Configuración del Backbone IPv4
		Configuración de clientes corporativos
		Configuración de la Red IP/MPLS con direccionamiento IPv6
		Pruebas de conectividad de la Red
		Análisis de los servicios

Realizado por: Gabriela Cifuentes

La transición entre el entorno de la red IP/MPLS IPv4 a IPv6, puede llevarse a cabo de manera efectiva, si se sigue el marco de un modelo procedimental, de una manera amigable, en donde incluso se buscará una transición gradual, y asentando las bases para una transición definitiva.

#### 4.2 Variable dependiente: Acceso a servicios de valor agregado (SVA)

Para el acceso a servicios de valor agregado través de redes de acceso, con la implementación de la metodología de transición se obtuvieron datos numéricos que confirman que el acceso a servicios SVA como por ejemplo el acceso a enlaces de datos entre distintos nodos mejoran considerablemente los indicadores propuestos en la hipótesis.

De la topología de red mostrada en la Figura 1-3 se utilizó la muestra definida para la investigación (Ver Tabla 2-3) para poder realizar las pruebas de funcionalidad.

##### 4.2.1 Evaluación de la metodología propuesta a través del software GNS3

###### 4.2.1.1 Conectividad de la red

Para el parámetro conectividad se realizaron las pruebas en los escenarios propuestos, como se muestra en la Figura 2-3 en donde fue aplicada la metodología, y en la Figura 3-3 que muestra los resultados obtenidos sobre la infraestructura sin la aplicación de la metodología de transición.

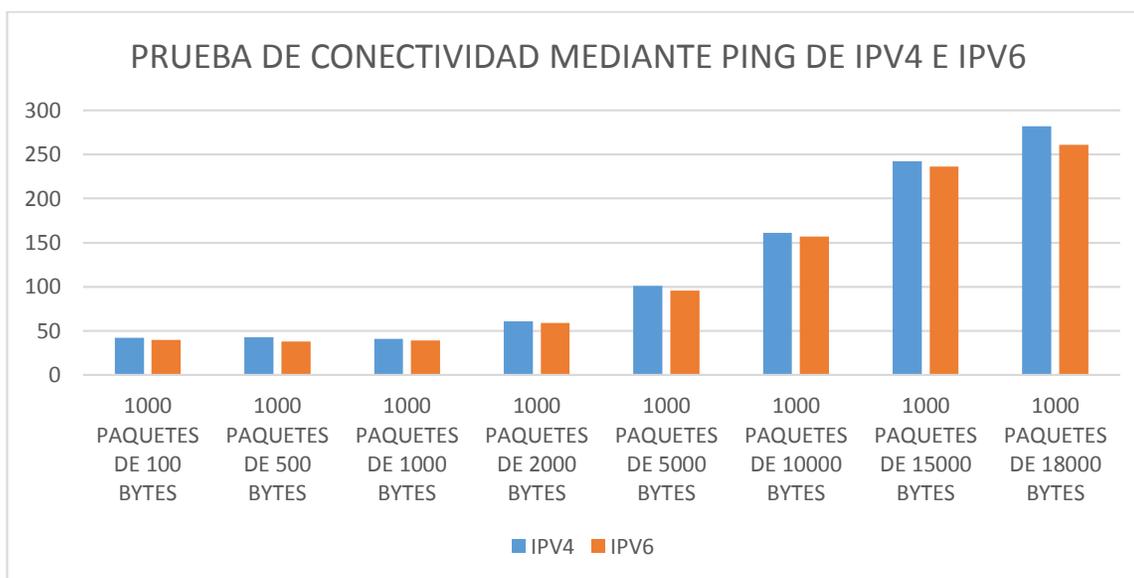
En la Tabla 2-4, se evidencia las pruebas realizadas de acuerdo al tamaño de los paquetes mediante el comando ping. Ver anexo de la Conectividad.

**Tabla 2-4:** Pruebas de conectividad de los protocolos IPv4 e IPv6 mediante ping

CONECTIVIDAD MEDIANTE PING	IPv4			IPv6		
	Min (ms)	Prom (ms)	Max (ms)	Min (ms)	Prom (ms)	Max (ms)
1000 PAQUETES DE 100 BYTES	16	42	72	22	40	68
1000 PAQUETES DE 500 BYTES	16	43	76	20	38	72
1000 PAQUETES DE 1000 BYTES	16	41	80	20	39	60
1000 PAQUETES DE 2000 BYTES	36	61	88	44	59	80
1000 PAQUETES DE 5000 BYTES	88	101	296	76	96	140
1000 PAQUETES DE 10000 BYTES	148	161	200	144	157	196
1000 PAQUETES DE 15000 BYTES	224	242	304	216	236	276
1000 PAQUETES DE 18000 BYTES	268	282	368	264	261	580

Realizado por: Gabriela Cifuentes

Para el análisis se ha seleccionado el tiempo promedio de ida y de vuelta de los paquetes en ms (milisegundos), de los cuales se puede evidenciar que en el protocolo IPv6 los paquetes se transmiten más rápido en comparación que con IPv4. En la Figura 1-4 se puede observar la diferencia en la transmisión de paquetes con respecto al tiempo.



**Figura 1-4.** Gráfico de la prueba de conectividad mediante ping  
**Realizado por:** Gabriela Cifuentes

#### 4.2.1.2 Transferencia de archivos

Las pruebas realizadas para determinar los tiempos de transferencia de archivos, para el escenario con la metodología de transición propuesta se muestran en la Figura 4-3, Figura 5-3 y Figura 6-3 con las configuraciones del servidor de archivos ftp y demás especificaciones descritas en el capítulo iii – denominado metodología de investigación.

En la Tabla 3-4 se puede observar los resultados obtenidos de las pruebas realizadas al indicador transferencia de archivos en función del tiempo en los escenarios sin la implementación de la metodología con el uso de IPv4 y el escenario de pruebas con la implementación de la metodología con el uso de IPv6.

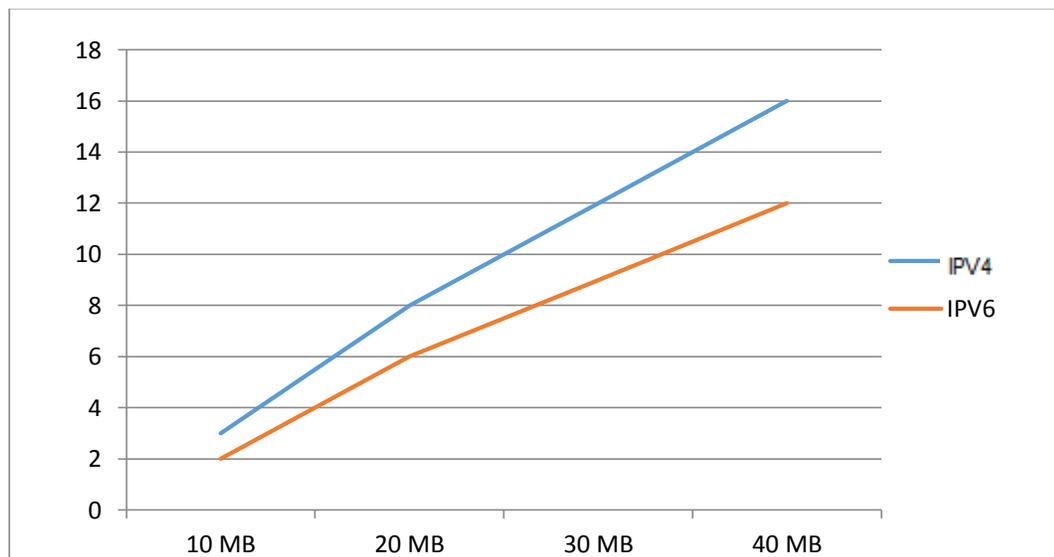
**Tabla 3-4:** Comparación de la transferencia de archivos entre IP/MPLS IPv4 vs IPv6

DATOS TRANSMITIDOS	TIEMPO DE TRANSMISIÓN EN IPv4 (segundos)	TIEMPO DE TRANSMISIÓN EN IPv6 (segundos)	PORCENTAJE DE TIEMPO GANADO CON IPv6
10 MB	3	2	33,33%
20 MB	8	6	25,00%
30 MB	12	9	33,33%
40 MB	16	12	25,00%

Realizado por: Gabriela Cifuentes

Se determina entonces un porcentaje del 29.17% a favor del escenario con la metodología propuesta con el uso de IPv6 en la transferencia de archivos (tiempo de transmisión).

En la Figura 2-4 se puede observar que el tiempo de transferencia de archivos en el escenario con la metodología de transición en IPv6 es inferior al del protocolo IPv4 que es en donde no se aplica la metodología sobre el escenario propuesto.



**Figura 2-4.** Gráfico de resultados de comparación IPv4 vs IPv6

Fuente: Captura de Pantalla FileZilla Server (Xampp)

### 4.3 Análisis de resultados y verificación de Hipótesis

Con el análisis de la información se concluye:

- Las fases propuestas para la metodología de transición contemplan todo el análisis, desarrollo y el funcionamiento del entorno IPv6 en la red MPLS de CNT Napo.
- Se pudo determinar la conectividad de red entre todos los equipos configurados en un entorno con el protocolo IPv6.
- El tiempo de la transferencia de archivos es más rápido en el escenario con la metodología de transición propuesta con IPv6 en comparación al escenario de la red IP/MPLS sin la metodología y con el protocolo IPv4.

La demostración de la hipótesis se realizó a través de la distribución **T-Student**.

- Para la prueba T-Student, se tomó un número de 8 muestras debido a que se utilizó la técnica de **muestreo no probabilístico**, que permite realizar **estudios exploratorios**.
- Según (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010), manifiesta que las muestras no probabilísticas, suponen un procedimiento de selección informal, se seleccionan individuos o casos “típicos” sin intentar que sean representativos de una población determinada. (pág. 190)

Los datos para analizar son los tiempos promedios en milisegundos (ms) de conectividad de la red, que se realizó con el escenario sin la aplicación de la metodología y el escenario en donde se implementó la metodología de transición, se obtuvieron dos muestras de datos relacionados como se muestra en la Tabla 4-4.

**Tabla 4-4:** Muestras de datos relacionados para una prueba T-Student

CONECTIVIDAD MEDIANTE PING	TIEMPO DE CONECTIVIDAD EN IPv4 (ms)	TIEMPO DE CONECTIVIDAD EN IPv6 (ms)	PORCENTAJE DE TIEMPO GANADO EN IPv6
1000 PAQUETES DE 100 BYTES	42	40	4,76%
1000 PAQUETES DE 500 BYTES	43	38	11,63%
1000 PAQUETES DE 1000 BYTES	41	39	4,88%
1000 PAQUETES DE 2000 BYTES	61	59	3,28%
1000 PAQUETES DE 5000 BYTES	101	96	4,95%
1000 PAQUETES DE 10000 BYTES	161	157	2,48%
1000 PAQUETES DE 15000 BYTES	242	236	2,48%
1000 PAQUETES DE 18000 BYTES	282	261	7,45%

Elaborado por: Gabriela Cifuentes

#### 4.3.1 Determinación de la hipótesis a través de la distribución T-Student

Los pasos utilizados para determinar la hipótesis son los siguientes:

##### **Paso 1. Determinar la hipótesis, hipótesis nula e hipótesis alterna**

**Hipótesis:** La aplicación de la metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6, permitirá cambiar el acceso de SVA al segmento corporativo de CNT EP en la provincia de Napo.

**Variable Independiente:** Metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6.

**Variable Dependiente:** Acceso de SVA (Servicios de Valor Agregado).

**Hipótesis Nula - H0:** La metodología no cambia la velocidad de conectividad de la red para el acceso a SVA en el segmento corporativo de CNT EP Napo. Se considera que  $\mu_a = \mu_d$ .

**Hipótesis Alterna – H1:** La metodología cambia la velocidad de conectividad de la red para el acceso a SVA en el segmento corporativo de CNT EP Napo. Se considera que  $\mu_a \neq \mu_d$ .

En donde:

$\mu_a$  es la media poblacional de la conectividad de la red antes de aplicar la metodología de transición.

$\mu_d$  es la media poblacional de la conectividad de la red después de aplicar la metodología de transición.

##### **Paso 2. Determinar el nivel de significancia**

El nivel de significancia ( $\alpha$ ), es un nivel de la probabilidad de equivocarse y se fija por la investigadora antes de probar hipótesis inferenciales.

$\alpha = 0.05$  (5%).

##### **Paso 3. Elección de la prueba**

El tipo de prueba T-Student es para **dos muestras relacionadas** que corresponden a las pruebas del indicador conectividad de la red en el entorno IPv4 (sin metodología) e IPv6 (con metodología), para lo cual se consideran los siguientes aspectos:

- La distribución T-student es una prueba estadística que permite evaluar si dos grupos difieren entre sí de forma significativa respecto a sus medias en una variable de análisis.
- Estudios longitudinales  
Mediante la observación se determina la variación de tiempo en la conectividad en los entornos sin aplicar la metodología y con la implementación de la metodología en una red IP/MPLS.
- Antes y Después  
La prueba de conectividad se realizó antes de la metodología (IPv4) y después de la metodología (IPv6), donde la prueba de conectividad de la red en el entorno IPv6 se relaciona con los resultados de la prueba de conectividad en el entorno IPv4, es decir existe una antes y un después en las pruebas del indicador de conectividad de la red.

#### Paso 4. Determinar normalidad

La normalidad indica si los datos pertenecen a una distribución normal, para determinar la normalidad se tiene en cuenta el criterio de los siguientes actores:

- **Kolmogorov-Smirnov** muestras grandes (>30 individuos)
- **Shapiro-Wilk** muestras pequeñas (<30 individuos)

Como la muestra es menor a 30 pruebas, se selecciona la normalidad según Shapiro-Wilk, para determinar los resultados de la prueba de normalidad se utiliza el programa SPSS, en donde se obtienen los datos de la matriz que se muestran en la Tabla 5-4.

**Tabla 5-4:** Resultados de la prueba de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
IPv4	,236	8	,200 <sup>a</sup>	,830	8	0,059
IPv6	,233	8	,200 <sup>a</sup>	,825	8	0,053

Elaborado por: Gabriela Cifuentes  
Fuente: SPSS

Para determinar la normalidad se considera el siguiente criterio:

- **P\_valor** =>  $\alpha$  Aceptar **H<sub>0</sub>**= Los datos provienen de una distribución normal
- **P\_valor** <  $\alpha$  Aceptar **H<sub>1</sub>**= Los datos **NO** provienen de una distribución normal

En la Tabla 5-4, se muestran los resultados de las pruebas de Shapiro-Wilk y se puede observar que el valor de significancia (P\_valor) corresponde a 0,059 en el entorno IPv4 y 0,053 en el entorno IPv6. Tomando en cuenta el criterio de normalidad se puede concluir que  $P\_valor \geq 0,05$ , por lo cual se acepta la hipótesis nula, y los datos proviene de una distribución normal (el parámetro de tiempo de conectividad se comporta normalmente).

### Paso 5. Decisión estadística

En la Tabla 6-4, se observa que el tiempo promedio de conectividad de IPv4 e IPv6; donde se tiene 121,625 ms como tiempo promedio de conectividad en IPv4, mientras que en IPv6 se obtuvo una media de 115,75 ms, lo que evidencia una disminución de 5,88 ms en el tiempo de la transmisión de paquetes, estos resultados son positivos, con la propuesta metodológica en IPv6 se mejoran los tiempos de conectividad en comparación al escenario con IPv4.

**Tabla 6-4:** Estadísticas de muestras emparejadas

	Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
IPv4	121,63	8	96,276	34,039
IPv6	115,75	8	91,451	32,33

Elaborado por: Gabriela Cifuentes

Fuente: SPSS

Los resultados obtenidos en la Tabla 7-4 se interpretan de la siguiente manera; la diferencia entre los tiempos promedios de IPv4 e IPv6 es de 5,88 ms, con una desviación típica de 6,312 lo que demuestra una distribución homogénea de los datos en función de la media.

**Tabla 7-4:** Resultados de la prueba T-Student / Prueba de muestras emparejadas

Diferencia conectividad	Diferencias emparejadas					T	gl	Valor de significancia (bilateral)
	Media	Desviación	Error típico de la media	95% de intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
IPv4 - IPv6	5,875	6,312	2,232	,598	11,152	2,633	7	,034

Elaborado por: Gabriela Cifuentes

Fuente: SPSS

Para la decisión estadística se considera el siguiente criterio:

- Si el valor de significancia obtenido (**P\_valor**)  $\leq \alpha$ , se rechaza H0 (**se acepta H1**)
- Si el valor de significancia **obtenido (P\_valor)**  $> \alpha$ , no rechaza H0 (**se acepta H0**)

En la Tabla 7-4 se puede observar que se obtuvo un *valor de significancia* de 0.034; tomando en consideración que el *valor de significancia*  $< 0,05$  se rechaza hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, existen diferencias significativas en las pruebas de tiempo de conectividad de la red, las cuales fueron obtenidas de los escenarios mediante los protocolos IPv4 (sin metodología) e IPv6 (implementando la metodología). Lo que permite inferir que la propuesta metodológica con el protocolo IPv6 es efectiva para mejorar la velocidad de conectividad de la red en el acceso de los servicios valor agregado del segmento corporativo de CNT EP Napo.

Después del análisis realizado se puede determinar que con la aplicación de la metodología propuesta en la red IP/MPLS con IPv6 se proporcionan mejores beneficios de conectividad de la red y se determina también que mejora el acceso a servicios de valor agregado SVA a todos sus clientes, en relación a la actual infraestructura sin implementar la metodología de transición.

## CAPÍTULO V

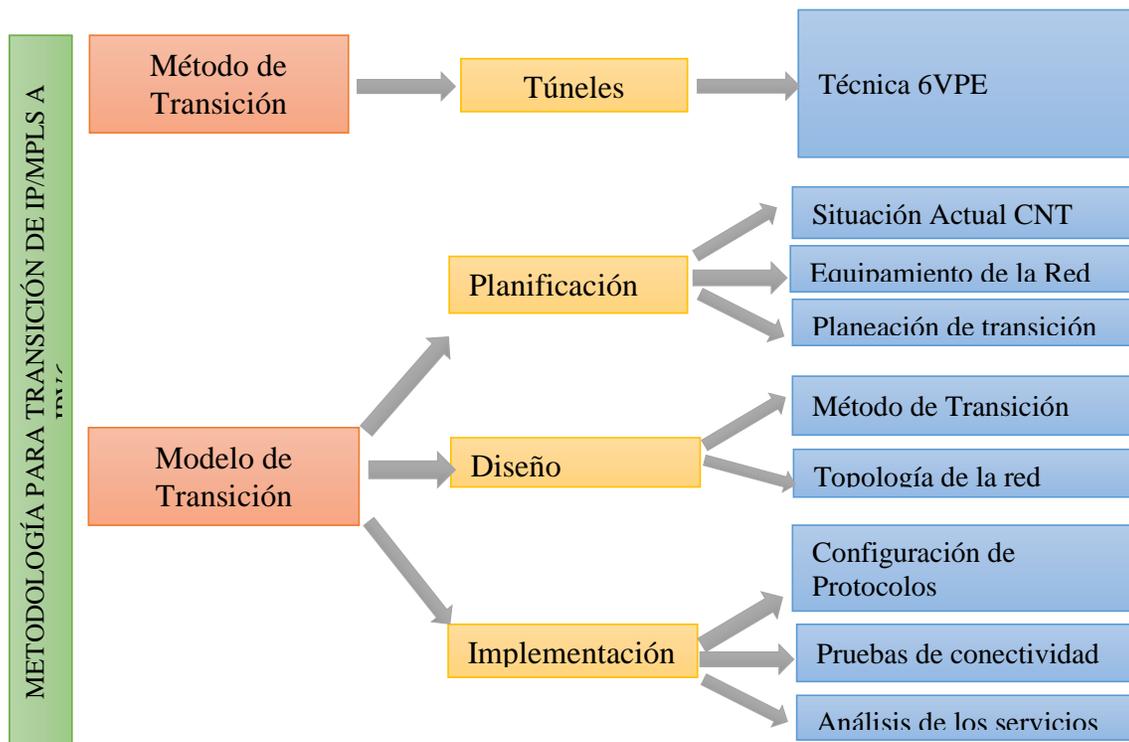
### 5 PROPUESTA

#### 5.1 Implementación de la metodología propuesta

Para la implementación de la metodología propuesta se consideró la situación actual de CNT EP en la provincia de Napo, se determinaron las diferentes actividades que componen las distintas fases. El análisis se realizó con el personal de área técnica de CNT EP como responsables del funcionamiento de la red IP/MPLS.

La metodología propuesta se basa en dos factores básicos, los cuales son:

- El método de transición de IP/MPLS a IPv6 y
- El modelo compuesto por tres fases, y sus respectivos componentes como se muestra en la Figura 1-5.



**Figura 1-5.** Propuesta metodológica de transición IP/MPLS IPv4 a IPv6

Realizado por: Gabriela Cifuentes

## 5.2 Modelo propuesto para la Transición

Está compuesto por 3 fases que describen un proceso lógico y secuencial para el desarrollo de un proyecto de coexistencia y transición en redes IP/MPLS, como se muestra en la Figura 2-5.



**Figura 2-5.** Fases de la metodología propuesta

Realizado por: Gabriela Cifuentes

### 5.2.1 Planificación

La fase de planificación representa una etapa crítica e importante en el proceso de transición, comienza con el plan de diagnóstico de la infraestructura de la Red del proveedor de servicios de telecomunicaciones CNT EP de la provincia de Napo, el equipamiento activo de red, y la planeación de la transición al protocolo IPv6 en la red IP/MPLS.

#### 5.2.1.1 Análisis de la situación actual de CNT

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT EP es una empresa proveedora de servicios de telecomunicaciones, la cual posee una red IP/MPLS, con un backbone en topología anillo con un despliegue de más 200Km de fibra óptica desplegados a nivel nacional, CNT EP utiliza el modelo jerárquico de tres capas: core, distribución y acceso, contando con aproximadamente 2500 equipos operativos que forman la red IP/MPLS sobre los cuales CNT EP tiene sus servicios de Voz, Datos, e Internet.

En la topología física se maneja una tipo estrella extendida, mientras que en su topología lógica de red se tienen a las vecindades a nivel de protocolos BGP, LDP e IS-IS como protocolos fundamentales de operación.

Para el manejo del tipo de tráfico en la red IP/MPLS de CNT EP se hace uso de VRFs, para el tráfico de Internet, datos, IPTV, VoIP, y gestión. La asignación de VRFs tiene asignado distintos nombres definidos respectivamente para cada VPN.

CNT EP cuenta con una política para asignación de nombres para el equipamiento activo, en donde la definición de las denominaciones para cada equipo de la red se realiza de forma estándar, como se muestra en la Figura 3-5.



**Figura 3-5.** Definición de nombres  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

La ubicación denominada como AAA son tres caracteres que identifican la ubicación geográfica (Capital de Provincial) de los equipos, en donde se usa el código IATA internacional.

Las letras BBB identifican los sitios ubicados dentro de cada ciudad, esta atribución se realiza de acuerdo a los parámetros que CNT EP identifique geográficamente en cada uno de los sitios físicos.

La letra F representa la función que tiene cada equipo en la red, corresponde a un acrónimo de una letra que identifica que función y objetivo tiene el dispositivo en la red, los valores para F pueden ser:

- P      Equipo router P de red MPLS
- E      Equipo PE de red MPLS
- M      Equipo Switch

El número de secuencia dado por ## es un valor que identifica la cantidad de dispositivos que cumplen el rol definido dentro de la misma ubicación.

### **Diagnóstico de la infraestructura actual**

La red de CNT EP está configurado el protocolo MPLS (Multi-Protocol Label Switching) que permite el reenvío de paquetes con el uso de etiquetas de tamaño fijo para el envío de datos. Las etiquetas corresponden a las redes de destino IP (similar a IP tradicional) pero combinando las mejores funciones de la capa 3 (ruteo) y las de capa 2 (switching).

### 5.2.1.2 Equipamiento de la Red

El equipamiento a nivel de core, físicamente se encuentran distribuidos estratégicamente a nivel nacional dentro de las instalaciones de CNT EP, dicho equipamiento se encuentra conectado a través de enlaces redundantes de fibra óptica para asegurar una disponibilidad superior al 99,5%.

El backbone de CNT EP está conformado por una red de equipos IP/MPLS, distribuidos de forma estratégica dentro del Distrito Metropolitano de Quito. El equipamiento de la Red de CNT está constituida por el equipamiento listado en la Tabla 1-5.

**Tabla 1-5:** Equipos de la Red IP/MPLS de CNT

Equipos	Modelos
Equipamiento IP/MPLS de Core	CRS-8/S, 12816/PRP y CRS-4/S
Equipamiento IP/MPLS de Distribución	CISCO 7600, CISCO 12000/16
Equipamiento IP/MPLS de Acceso	CISCO ME3800X, CISCO 2960

**Realizado por:** Gabriela Cifuentes

Las características más importantes de la red MPLS de CNT EP RG2 Napo se listan en la presente sección, para determinar características de: hardware, software, protocolos de enrutamiento, y configuraciones lógicas, que intervienen en el funcionamiento de la infraestructura para brindar conectividad de red. Esto sirvió de base para analizar la técnica de coexistencia y transición que se ajusta a las necesidades de CNT EP de Napo.

### 5.2.1.3 Planeación de la transición

Para la planeación de la transición es importante identificar y establecer los planes a futuro para la adopción del protocolo IPv6, determinando el recurso humano requerido para la delegación de funciones y responsabilidades en cada área y llevar a cabo el proceso de transición y coexistencia de la red IP/MPLS con IPv6.

#### **Selección del personal.**

Se debe elegir a los ingenieros y técnicos que trabajan en el departamento del área técnica de CNT EP, para cumplir con todas las actividades que el proyecto demanda.

## Capacitación y entrenamiento

Se debe realizar una capacitación al personal de área técnica de CNT EP de la provincia de Napo, con la finalidad de llevar a cabo el proyecto con responsabilidad, y conocimiento técnico requerido.

## Cronograma de actividades

En la Tabla 2-5 se detalla el cronograma de actividades del proceso de transición, para el control y ejecución de las distintas actividades dispuestas en cada fase.

**Tabla 2-5:** Cronograma de actividades para la transición

Fases	Duración	Responsable
Planificación	2 Semanas	Gabriela Cifuentes
Diseño	1 Semanas	Gabriela Cifuentes
Implementación	3 Semanas	Gabriela Cifuentes

**Realizado por:** Gabriela Cifuentes

### 5.2.2 Diseño

Esta etapa tiene como objetivo realizar el análisis actual de la empresa, identificando las áreas en donde se va a implementar IPv6, la topología de red y la técnica de transición para verificar el soporte del protocolo IPv6, al igual que seleccionar los servicios y aplicaciones que van a operar sobre el nuevo protocolo.

#### 5.2.2.1 Método de transición de IPv6 sobre MPLS

El mecanismo de transición de IPv6 sobre MPLS que mejor se acopla al funcionamiento de la red de CNT EP está basado en *túneles*, debido a que el direccionamiento de los paquetes llega a un determinado destino sin que el origen tenga que conocer la topología intermedia de la red, siendo transparente para el usuario corporativo.

Mediante este método es posible “unir” con interfaces lógicas que simulan conexiones directas entre dispositivos/redes que no están físicamente conectadas.

Las técnicas de transición de IPv6 sobre MPLS a través del mecanismo de túneles, son:

- IPv6 con túneles en los enrutadores de acceso CE.
- IPv6 con circuitos de transporte en MPLS.
- Provider Edge 6PE - IPv6 sobre el protocolo MPLS en los equipos de borde PE.
- Método 6VPE - IPv6 con VPN / MPLS en los equipos de borde PE.

En la Tabla 3-5 se realiza una comparación de las técnicas de transición de IPv6 sobre MPLS, tomando en cuenta parámetros y características descritos en la **Tabla 2-2: Técnicas de coexistencia/transición IPv4/IPv6 sobre IP/MPLS** que servirán para seleccionar la mejor técnica que se acople a las necesidades de CNT EP en la actualidad.

**Tabla 3-5:** Comparativa de las diferentes técnicas de transición de IPv6 sobre MPLS

Parámetro característica y/o	IPv6 con túneles en los enrutadores de acceso CE.	IPv6 con circuitos de transporte en MPLS.	6PE - IPv6 sobre el protocolo MPLS en los equipos de borde PE.	6VPE - IPv6 sobre MPLS/VPN en los equipos de borde PE.
Equipos CE	X	X	X	X
Equipos PE			X	X
Fácil implementación	X	X		
Flexibilidad de la red			X	X
No se realizan cambios en los equipos de core en la red IP/MPLS	X	X	X	X
Protocolos de enrutamiento IGP - ISIS	X	X	X	X
Compatible con protocolo BGP	X	X	X	X
Compatible con la configuración VRF (Virtual Routing and Forwarding)				X

**Realizado por:** Gabriela Cifuentes

De la información mostrada se puede determinar que la mejor técnica de transición para MPLS es: **6VPE - IPv6 sobre MPLS/VPN en los equipos de borde PE**, debido a que se adapta a las necesidades del proveedor CNT EP Napo en cuanto a que permite:

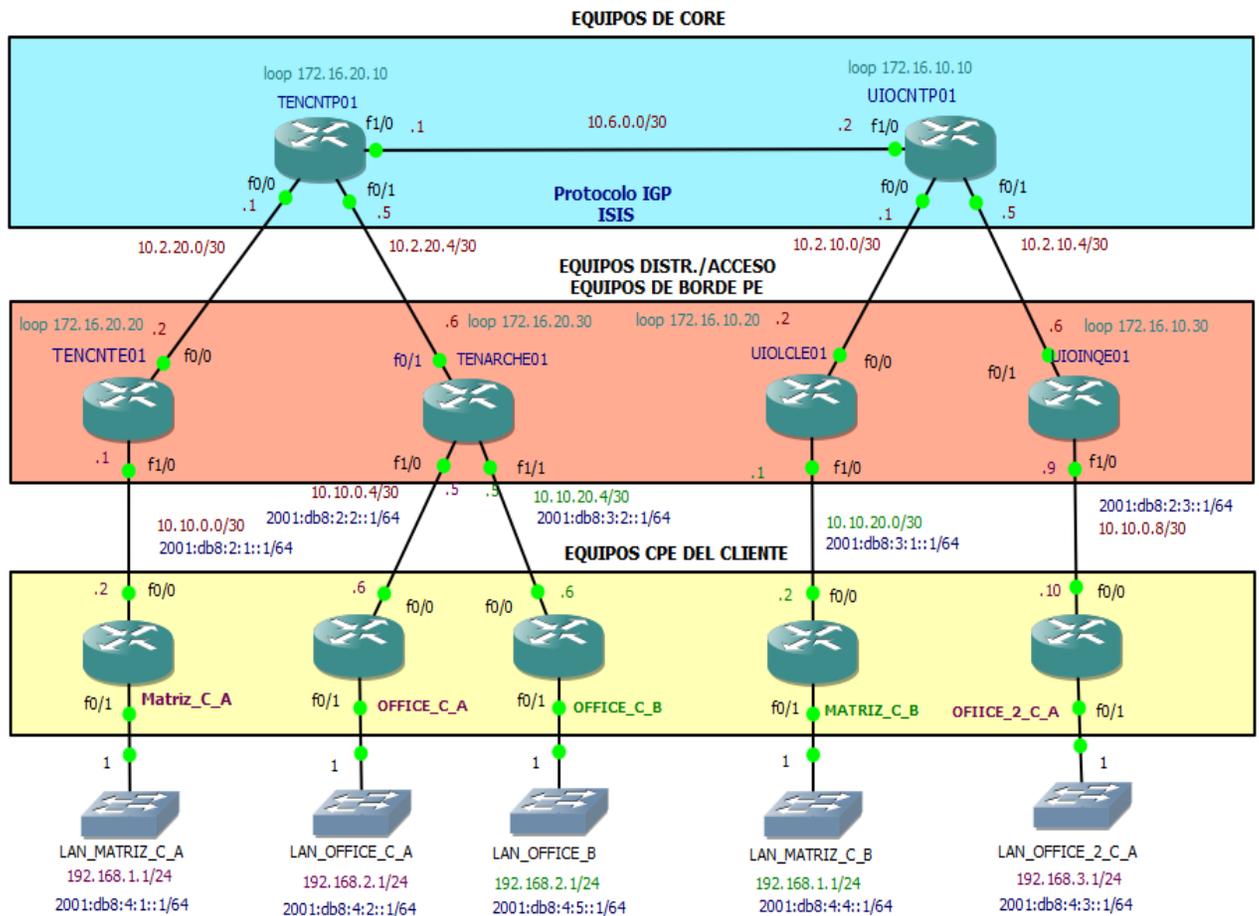
- Ofertar IPv4 nativo al igual que IPv6 nativo, los equipos CE y PE deben ser configurados con la técnica Dual Stack para la coexistencia de ambos protocolos IP.

- Permite la fácil implementación debido a que el hardware y software de la infraestructura tecnológica de CNT EP Napo soporta la configuración de los protocolos IGP IS-IS para la rápida convergencia y escalabilidad, distribución de rutas dentro del Sistema Autónomo Privado que maneja CNT EP en su core de MPLS.
- CNT EP cuenta con equipamiento que soporta las configuraciones del protocolo MP-BGP para el transporte de información de enrutamiento de protocolo IP en IPv4 a IPv6. Permite además distribuir la información de las VPNs, distribuir las rutas específicas de cada VPN, y negociar una etiqueta para la VPN dentro del dominio MPLS. En los ambientes de prueba se configura BGP para el intercambio de rutas entre clientes y los equipos de borde (PE).
- Para la implementación de la técnica 6VPE no se requiere modificar el core MPLS IPv4, debido a que 6VPE facilita la conmutación de tráfico IPv6 correspondiente a una VPN(VRF) para después encapsular con tecnología MPLS dentro de un core con infraestructura IPv4.
- 6VPE permite la configuración de VRFs para dividir el tráfico de información referente a gestión, y servicios de valor agrado de distintos clientes del segmento corporativo.

La transición de IP/MPLS a IPv6 no es una tarea fácil, y es recomendable que se realice de manera progresiva mientras sea posible la coexistencia entre los dos protocolos IP, teniendo en cuenta que los servicios que la institución presta no deben verse afectados.

#### 5.2.2.2 *Topología de la Red*

Una vez analizada la técnica de transición 6VPE, en la Figura 4-5 se muestra el esquema de red IPv6 sobre MPLS de la empresa CNT EP de la provincia de Napo.



**Figura 4-5.** Esquema de la Red IP/MPLS de CNT EP Napo  
 Realizado por: Gabriela Cifuentes

En el esquema se presentan los distintos niveles de topología de la red IP/MPLS, los cuales son:

- Nivel de equipamiento de Core.
- Nivel de equipamiento de distribución/acceso.
- Equipamiento CPE ubicado físicamente en las instalaciones del cliente.

### 5.2.3 Implementación

Para la implementación de la metodología de transición en la red MPLS con el protocolo IPv6 se procede con la configuración de los diferentes protocolos y escenarios propuestos con la metodología de transición, para finalmente realizar las pruebas con los indicadores: conectividad de la red y transferencia de archivos, haciendo uso de la herramienta de simulación GNS3.

### 5.2.3.1 Configuración del backbone de CNT EP

#### Configuración direccionamiento IPv4 en interfaces

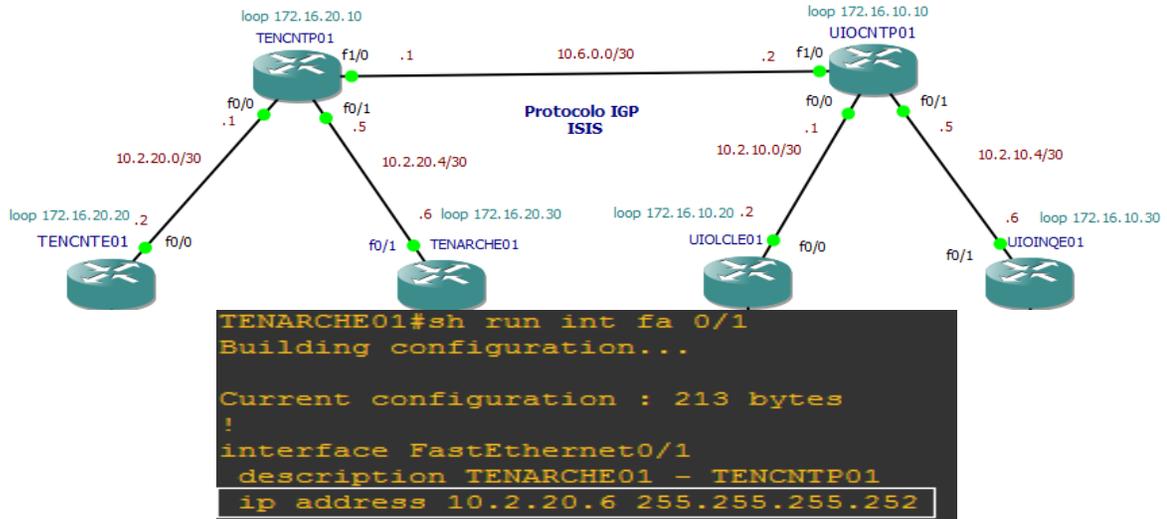
Para la simulación se realiza las configuraciones de la infraestructura sobre el protocolo IPv4, el cual está detallado en la Tabla 4-5, y fue habilitado en cada una de las interfaces físicas y lógicas.

**Tabla 4-5:** Direccionamiento IP del equipamiento de la red MPLS

DIRECCIONAMIENTO IP BACKBONE				
EQUIPO	INTERFAZ	DIRECCIÓN IP	MÁSCARA	DETALLE CONEXIÓN
TENCNTP01	fa 0/0	10.2.20.1	255.255.255.252	TENCNTP01 - TENCNTE01
	fa 0/1	10.2.20.5	255.255.255.252	TENCNTP01 - TENARCHE01
	fa 1/0	10.6.0.1	255.255.255.252	TENCNTP01 - UIOCNTP01
	Loop	172.16.20.10	255.255.255.255	ROUTER ID
TENCNTE01	fa 0/0	10.2.20.2	255.255.255.252	TENCNTE01 - TENCNTP01
	fa 1/0	10.10.0.1	255.255.255.252	TENCNTE01 - CPE_MATRIZ_C_A
	Loop	172.16.20.20	255.255.255.255	ROUTER ID
TENARCHE01	fa 0/1	10.2.20.6	255.255.255.252	TENARCHE01 - TENCNTP01
	fa 1/0	10.10.0.5	255.255.255.252	TENARCHE01 - OFFICE_C_A
	fa 1/1	10.10.20.5	255.255.255.252	TENARCHE01 - OFFICE_C_B
	Loop	172.16.20.30	255.255.255.255	ROUTER ID
UIOCNTP01	fa 0/0	10.2.10.1	255.255.255.252	UIOCNTP01 - UIOLCLE01
	fa 0/1	10.2.10.5	255.255.255.252	UIOCNTP01 - UIOINQE01
	fa 1/0	10.6.0.2	255.255.255.252	UIOCNTP01 - TENCNTP01
	Loop	172.16.10.10	255.255.255.252	ROUTER ID
UIOLCLE01	fa 0/0	10.2.10.2	255.255.255.252	UIOLCLE01 - UIOCNTP01
	fa 1/0	10.10.20.1	255.255.255.252	UIOLCLE01 - MATRIZ_C_B
	Loop	172.16.10.20	255.255.255.255	ROUTER ID
UIOINQE01	fa 0/1	10.2.10.6	255.255.255.252	UIOINQE01 - UIOCNTP01
	fa 1/0	10.10.0.9	255.255.255.252	UIOINQE01 - OFIICE_2_C_A
	Loop	172.16.10.30	255.255.255.255	ROUTER ID

Realizado por: Gabriela Cifuentes

La Figura 5-5 se muestra la distribución de los diferentes niveles jerárquicos, de core (denominados equipos P0), y el nivel distribución/acceso (denominados equipos E0).



**Figura 5-5.** Configuración de IPv4  
 Realizado por: Gabriela Cifuentes

### Configuración de protocolo ISIS

El protocolo de enrutamiento interno (IGP) utilizado en CNT EP es IS-IS. Para su habilitación se utilizan los siguientes comandos, como se muestra en la Figura 6-5.

```
router isis
net 49.0001.1720.1602.0030.00
is-type level-2-only
metric-style wide
```

**Figura 6-5.** Habilitación del protocolo IS-IS  
 Realizado por: Gabriela Cifuentes

**NET:** El protocolo IS-IS asigna un identificador de 20 bytes a cada enrutador llamado NET (Network Entity Title). En CNT se configura con AFI 49 que indica una dirección NSAP privada, luego se coloca el IDI o el área a la cual pertenece el enrutador en este caso 0001, y los otros bytes que componen la NET son una modificación de interface loopback del router que sirve como identificador del mismo.

**is-type level -2-only:** Añade ispf de nivel 2 al protocolo IS-IS.

Una vez levantado el protocolo IS-IS se asocia a cada interface que está conectada dentro del backbone de CNT EP, como se muestra en la Figura 7-5.

```
interface FastEthernet0/0
description TENCNTE01 - TENCNTP01
ip address 10.2.20.2 255.255.255.252
ip router isis
duplex auto
speed auto
```

**Figura 7-5.** Configuración para habilitar el protocolo IS-IS en una interfaz  
**Realizado por:** Gabriela Cifuentes

## Configuración MPLS

La CNT EP utiliza el protocolo MPLS, el cual es un método para el reenvío de paquetes a través de una red de datos usando información contenida en etiquetas añadidas a los paquetes IP.

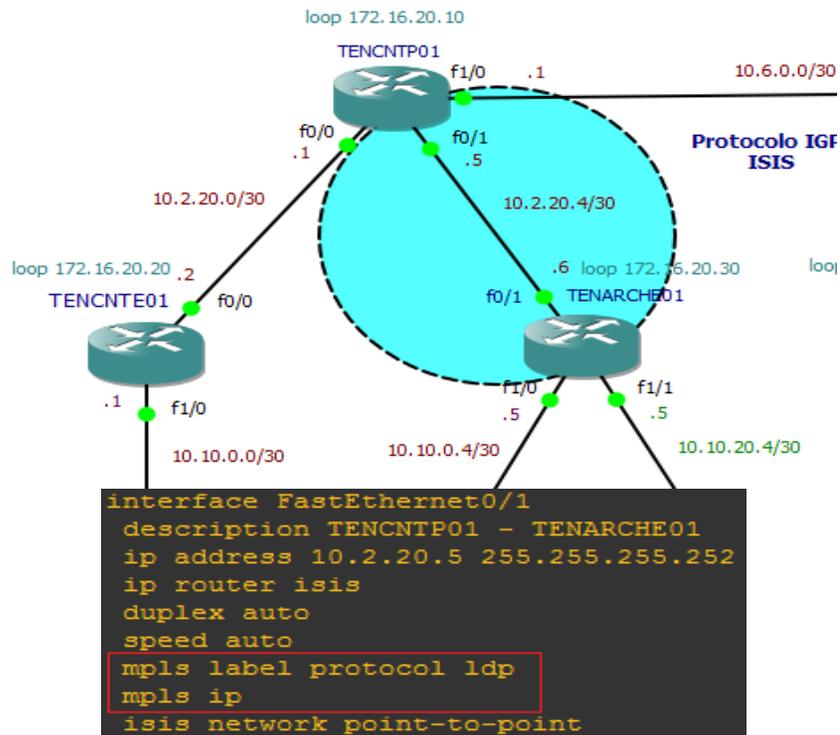
Para habilitar MPLS primero se habilita la conmutación CEF, el cual se basa en la tabla denominada FIB, la cual contiene información completa de conmutación IP. CEF ya se encuentra habilitado en las últimas versiones de IOS.

**MPLS-ID:** Causa que la dirección IP de la interfaz especificada sea usada como ID del router. En la Figura 8-5 se muestra el comando de configuración del ID en MPLS.

```
mpls ldp router-id Loopback100
```

**Figura 8-5.** Configuración del ID MPLS  
**Realizado por:** Gabriela Cifuentes

**Habilitar MPLS:** Se habilita el protocolo MPLS en cada interface que se conecte al backbone, y a su vez se debe seleccionar el protocolo de distribución de etiquetas para este caso LDP, como se muestra en la Figura 9-5.

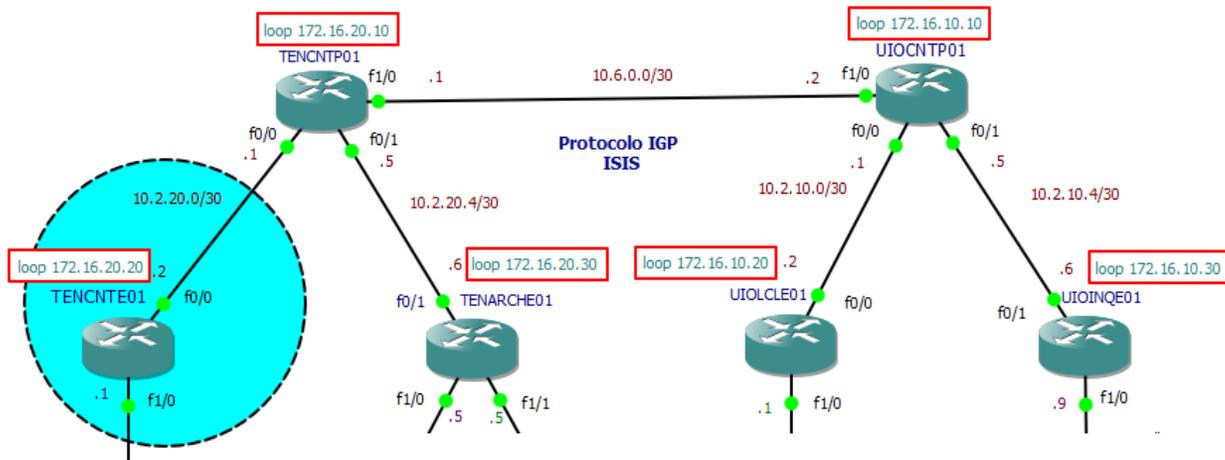


**Figura 9-5.** Configuración de MPLS para habilitar en cada interface  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

### Verificación de funcionamiento de Backbone (Core)

Con la configuración del direccionamiento IPv4, del protocolo de enrutamiento IS-IS y MPLS, se procede a validar conectividad a nivel de backbone.

En la Figura 10-5 se puede observar que el equipo TENCNTE01, mediante el protocolo IS-IS aprende las redes de los equipos que componen el backbone y muestra la información de enrutamiento y topología. Esta información es aprendida por los demás router con el mismo método.



```
TENCNTE01#sh ip route isis
172.16.0.0/16 is variably subnetted, 6 subnets, 2 masks
i L2 172.16.20.10/32 [115/20] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2 172.16.10.20/32 [115/40] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2 172.16.10.30/32 [115/40] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2 172.16.20.28/30 [115/30] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2 172.16.10.10/32 [115/30] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
10.0.0.0/30 is subnetted, 5 subnets
i L2 10.2.10.0 [115/30] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2 10.2.10.4 [115/30] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2 10.6.0.0 [115/20] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2 10.2.20.4 [115/20] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
```

```
TENCNTE01#sh isis hostname
Level System ID Dynamic Hostname (notag)
 2 1720.1601.0020 UIOLCLE01
 * 1720.1602.0020 TENCNTE01
 2 1720.1601.0030 UIOINQE01
 2 1720.1602.0030 TENARCHE01
 2 1720.1601.0010 UIOCNTP01
 2 1720.1602.0010 TENCNTP01
```

```
TENCNTE01#sh isis topology

IS-IS paths to level-2 routers
System Id Metric Next-Hop Interface SNPA
UIOCNTP01 20 TENCNTP01 Fa0/0 ca01.0ff8.0008
UIOLCLE01 30 TENCNTP01 Fa0/0 ca01.0ff8.0008
UIOINQE01 30 TENCNTP01 Fa0/0 ca01.0ff8.0008
TENCNTP01 10 TENCNTP01 Fa0/0 ca01.0ff8.0008
TENCNTE01 --
TENARCHE01 20 TENCNTP01 Fa0/0 ca01.0ff8.0008
```

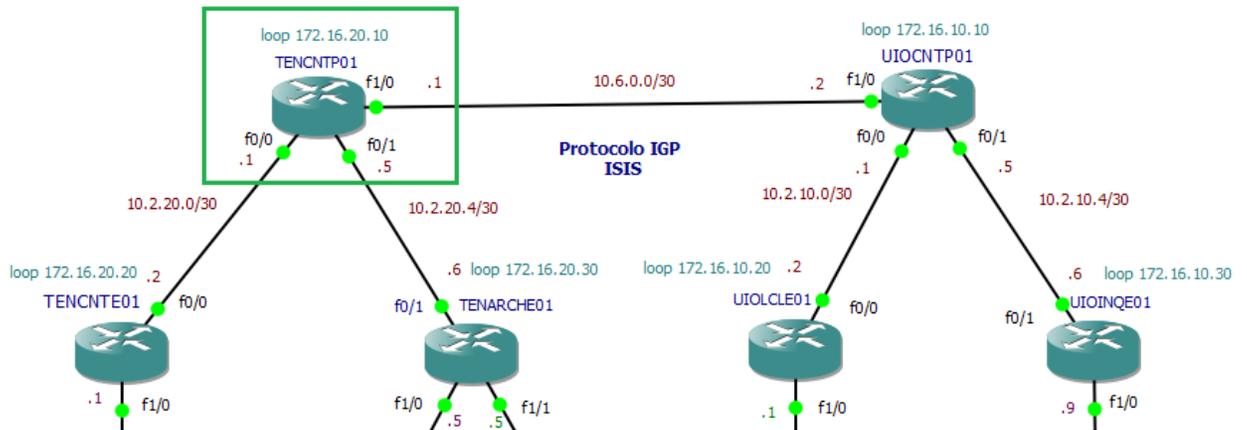
**Figura 10-5.** Resultados de enrutamiento a través del protocolo IS-IS

Realizado por: Gabriela Cifuentes

Se valida que mediante el protocolo de enrutamiento IS-IS se aprende la rutas que están configuradas en los diferentes segmentos de red del backbone.

## Verificación MPLS

En las Figuras 11-5, 12-5, 13-5, 14-5 y 15-5, se muestra la operatividad del protocolo MPLS en la infraestructura haciendo uso de la herramienta de simulación.



**Figura 11-5.** Esquema de red en core/distribución para configuración de MPLS

Realizado por: Gabriela Cifuentes

```
TENCNTP01#sh mpls interfaces
```

Interface	IP	Tunnel	BGP	Static	Operational
FastEthernet0/0	Yes (ldp)	No	No	No	Yes
FastEthernet0/1	Yes (ldp)	No	No	No	Yes
FastEthernet1/0	Yes (ldp)	No	No	No	Yes

**Figura 12-5.** Verificación del protocolo MPLS en las interfaces

Realizado por: Gabriela Cifuentes

```
TENCNTP01#sh mpls ldp neighbor
Peer LDP Ident: 172.16.20.20:0; Local LDP Ident 172.16.20.10:0
TCP connection: 172.16.20.20.19348 - 172.16.20.10.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 86/86; Downstream
Up time: 01:03:38
LDP discovery sources:
FastEthernet0/0, Src IP addr: 10.2.20.2
Addresses bound to peer LDP Ident:
10.2.20.2 172.16.20.20
Peer LDP Ident: 172.16.10.10:0; Local LDP Ident 172.16.20.10:0
TCP connection: 172.16.10.10.646 - 172.16.20.10.65267
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 86/86; Downstream
Up time: 01:03:32
LDP discovery sources:
FastEthernet1/0, Src IP addr: 10.6.0.2
Addresses bound to peer LDP Ident:
10.2.10.1 172.16.10.10 10.2.10.5 10.6.0.2
Peer LDP Ident: 172.16.20.30:0; Local LDP Ident 172.16.20.10:0
TCP connection: 172.16.20.30.39210 - 172.16.20.10.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 87/86; Downstream
Up time: 01:03:29
LDP discovery sources:
FastEthernet0/1, Src IP addr: 10.2.20.6
Addresses bound to peer LDP Ident:
10.2.20.6 172.16.20.30
```

**Figura 13-5.** Verificación de MPLS en las interfaces utilizando LDP

Realizado por: Gabriela Cifuentes

```
TENCNTP01#sh mpls ldp bindings
lib entry: 10.2.10.0/30, rev 15
  local binding: label: 18
  remote binding: lsr: 172.16.10.10:0, label: imp-null
  remote binding: lsr: 172.16.20.30:0, label: 21
  remote binding: lsr: 172.16.20.20:0, label: 21
lib entry: 10.2.10.4/30, rev 17
  local binding: label: 19
  remote binding: lsr: 172.16.10.10:0, label: imp-null
  remote binding: lsr: 172.16.20.30:0, label: 22
  remote binding: lsr: 172.16.20.20:0, label: 22
lib entry: 10.2.20.0/30, rev 8
  local binding: label: imp-null
  remote binding: lsr: 172.16.20.20:0, label: imp-null
  remote binding: lsr: 172.16.10.10:0, label: 18
  remote binding: lsr: 172.16.20.30:0, label: 19
lib entry: 10.2.20.4/30, rev 7
  local binding: label: imp-null
  remote binding: lsr: 172.16.20.20:0, label: 17
  remote binding: lsr: 172.16.10.10:0, label: 19
  remote binding: lsr: 172.16.20.30:0, label: imp-null
lib entry: 10.6.0.0/30, rev 6
  local binding: label: imp-null
  remote binding: lsr: 172.16.20.20:0, label: 18
  remote binding: lsr: 172.16.10.10:0, label: imp-null
  remote binding: lsr: 172.16.20.30:0, label: 20
lib entry: 172.16.10.10/32, rev 13
  local binding: label: 17
  remote binding: lsr: 172.16.10.10:0, label: imp-null
  remote binding: lsr: 172.16.20.30:0, label: 17
  remote binding: lsr: 172.16.20.20:0, label: 20
lib entry: 172.16.10.20/32, rev 22
  local binding: label: 22
  remote binding: lsr: 172.16.10.10:0, label: 21
  remote binding: lsr: 172.16.20.20:0, label: 23
```

**Figura 14-5.** Verificación de MPLS en las interfaces utilizando LDP bindings  
 Realizado por: Gabriela Cifuentes

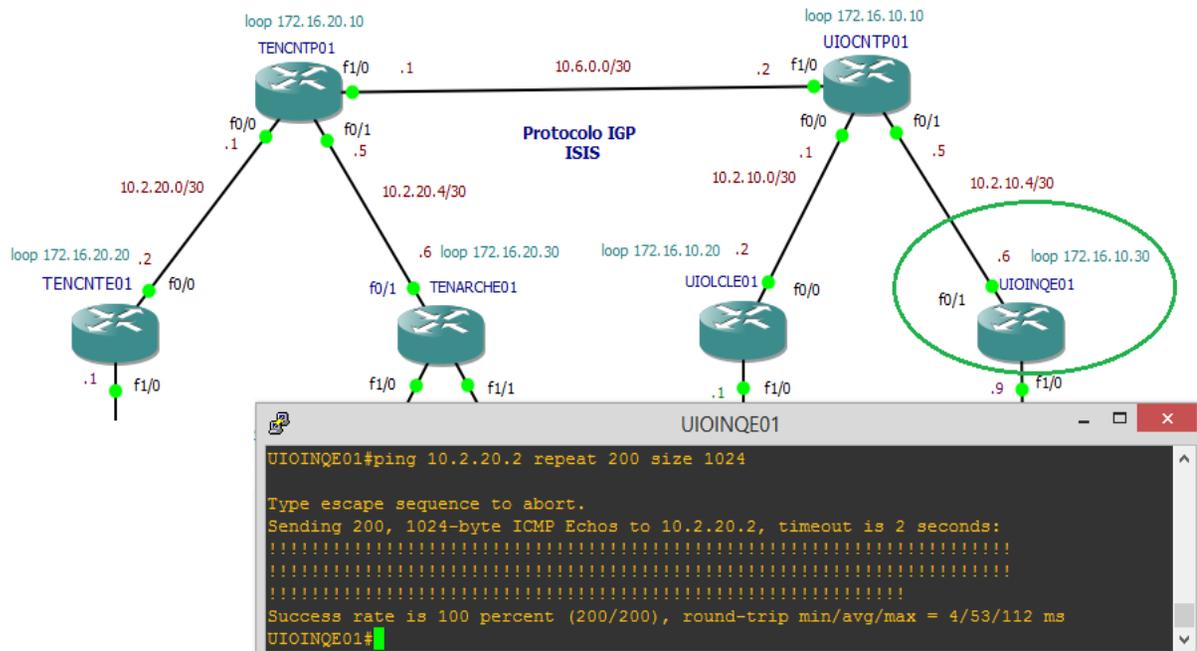
```
TENCNTP01# sh mpls forwarding-table
```

Local Label	Outgoing Label or VC	Prefix or Tunnel Id	Bytes Switched	Label	Outgoing interface	Next Hop
16	Pop Label	172.16.20.20/32	18352		Fa0/0	10.2.20.2
17	Pop Label	172.16.10.10/32	0		Fa1/0	10.6.0.2
18	Pop Label	10.2.10.0/30	0		Fa1/0	10.6.0.2
19	Pop Label	10.2.10.4/30	0		Fa1/0	10.6.0.2
20	Pop Label	172.16.20.28/30	27650		Fa0/1	10.2.20.6
21	22	172.16.10.30/32	20147		Fa1/0	10.6.0.2
22	21	172.16.10.20/32	10093		Fa1/0	10.6.0.2

**Figura 15-5.** Verificación de la Tabla LFIB  
 Realizado por: Gabriela Cifuentes

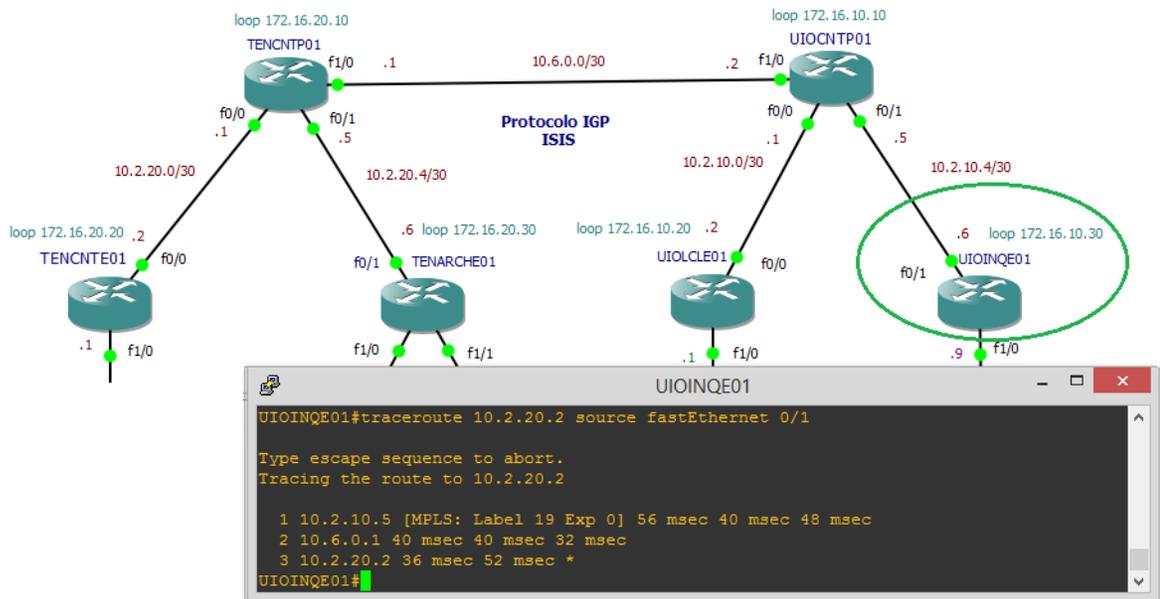
### Pruebas de conectividad

**Mediante Ping:** En la Figura 16-5 se muestra la conectividad de los nodos UIOINQE01 (10.2.10.6) -> TENCNTE01 (10.2.20.2), para lo cual se envía 200 paquetes de un tamaño 1024 y la prueba es satisfactoria.



**Figura 16-5.** Prueba de conectividad mediante Ping  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

**Mediante Traceroute:** La prueba se realiza desde el equipo UIOINQE01 (10.2.10.6) -> TENCNTE01 (10.2.20.2), en donde se puede observar las direcciones IPs hasta alcanzar el destino, como se muestra en la Figura 17-5.



**Figura 17-5.** Prueba de conectividad mediante el comando Traceroute  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

### 5.2.3.2 Configuración servicio de clientes corporativos en backbone de CNT EP

VPN MPLS MP-BGP es una arquitectura que provee envío de datos seguros a través de una red compartida que conecta sitios geográficamente distribuidos, básicamente se utiliza el backbone IP/MPLS para entregar servicio VPN a los clientes corporativos.

#### **Habilitación y/o configuración VRF**

Permite a varias instancias de una tabla de enrutamiento existir en un router y trabajar de manera simultánea.

Se crea una VRF para cada VPN, y se asocian la interfaces lógicas o físicas. Ver Figura 18-5.

```
ip vrf datca
rd 28006:1
 route-target export 28006:1
 route-target import 28006:1
```

**Figura 18-5.** Habilitación de VRF  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

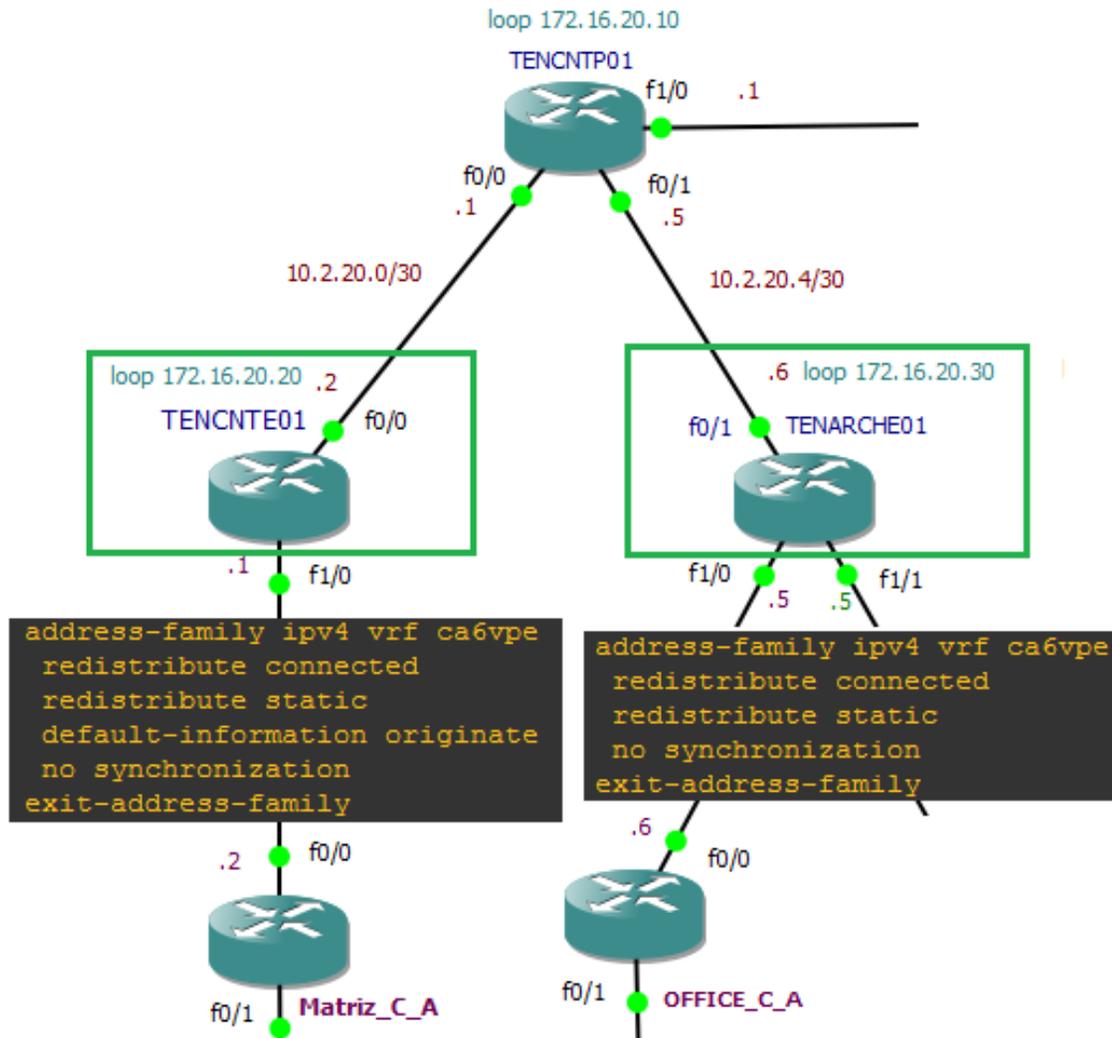
#### **VPN sobre MPLS para clientes Corporativos**

Las técnicas de “Tunneling” IP permiten alcanzar un determinado destino sin que el origen tenga que conocer la topología intermedia. Permite “unir” con interfaces lógicas que simulan conexiones directas entre dispositivos o redes que no están físicamente conectadas.

El modelo Peer to peer se basa en el uso de un esquema de enrutamiento único para cada cliente. El proveedor no participa en el enrutamiento del cliente, con lo cual se puede definir la separación entre el dominio de enrutamiento del proveedor y del cliente.

La VPN capa 3 se crea entre los equipos de borde (PE) en donde se generan las tablas de enrutamiento que separan las rutas privadas del cliente, de las rutas hacia la red del proveedor.

Para que las rutas y la vrf del cliente se propaguen dentro de la red, se configura el comando “address family” dentro del proceso BGP y se indica que protocolo de enrutamiento utilizará la instancia de enrutamiento, como se muestra en la Figura 19-5.



**Figura 19-5.** Configuración de VPN sobre MPLS para clientes corporativos  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

### Configuración de IPv4 y asociación de la VRF

Dentro de la interfaz virtual o física del equipo de borde PE se configura el direccionamiento IPv4 del cliente (WAN), para completar la VPN sobre MPLS se le asocia a la VRF que pertenece al cliente, teniendo así los siguientes parámetros:

**IP\_WAN:** Generalmente /30, en donde una IP libre se configura del lado del proveedor y la otra IP del lado del cliente en el equipo CPE.

**IP\_LAN:** Se configura la IP\_RED que el cliente administra internamente, para poder ser agregada a la tabla de enrutamiento de esta instancia o VRF.

**IP VRF forwarding:** La vrf creada se asocia a la interfaz y de ser el caso al protocolo de enrutamiento IGP que el cliente maneja como se muestra Figura 20-5.

```
interface FastEthernet1/0
  description WAN_MATRIZ_C_A
  vrf forwarding ca6vpe
  ip address 10.10.0.1 255.255.255.252
  duplex full
  speed 100
```

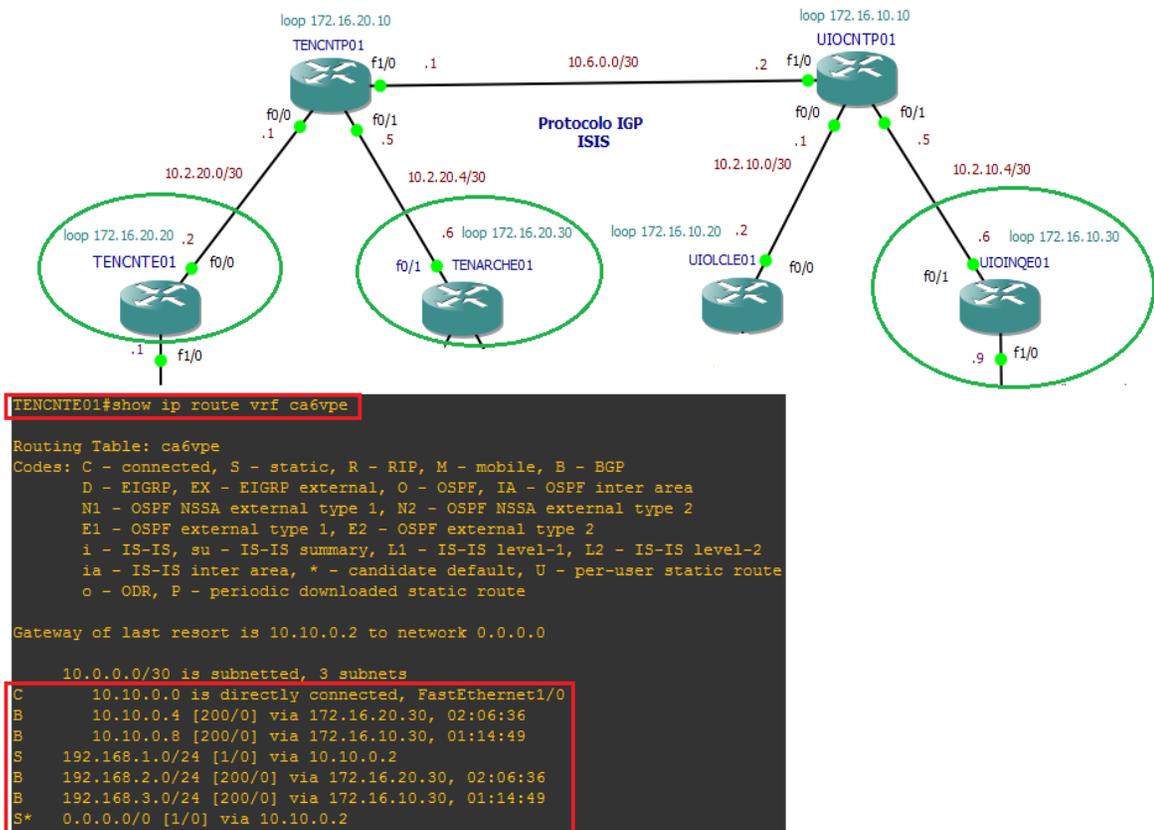
**Figura 20-5.** Configuración de VRF en una interfaz WAN  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

## Pruebas de Conectividad de Clientes Corporativos con IPv4

### *Verificación de tablas de enrutamiento*

Al utilizar VRF se dispone de varias tablas de enrutamiento, para este caso se visualiza la tabla del cliente el mismo que utiliza la vrf **ca6vpe**.

Para realizar esta prueba se selecciona a los equipos router TENCNTE01, TENARCHE01 Y UIOINQE01, de los cuales se utiliza a TENCNTE01 para realizar la prueba de enrutamiento VRF a través del comando *show ip route vrf ca6vpe*, como se muestra en la Figura 21-5.



**Figura 21-5.** Verificación de tablas de enrutamiento

Realizado por: Gabriela Cifuentes

**Mediante Ping:** La prueba de conectividad se realiza desde la Matriz del cliente A hacia la sucursal OFFICE 2 A (WAN: 10.10.0.9/30) obteniendo respuesta satisfactoria, como se muestra en la Figura 22-5.

```

TENCNTE01#ping vrf ca6vpe 10.10.0.9 size 1024

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 1024-byte ICMP Echos to 10.10.0.9, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 24/32/52 ms

```

**Figura 22-5.** Prueba de conectividad con IPv4 mediante Ping

Realizado por: Gabriela Cifuentes

**Mediante Traceroute:** Al igual que la prueba con **ping**, esta prueba se realiza desde la Matriz del cliente A hacia la sucursal OFFICE 2 A (WAN: 10.10.0.9/30) obteniendo respuesta satisfactoria, como se muestra en la Figura 23-5.

```
TENCNTE01#traceroute vrf ca6vpe 10.10.0.9
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 10.10.0.9

 1 10.2.20.1 [MPLS: Labels 18/25 Exp 0] 72 msec 48 msec 52 msec
 2 10.6.0.2 [MPLS: Labels 17/25 Exp 0] 24 msec 36 msec 32 msec
 3 10.10.0.9 32 msec 52 msec *
```

**Figura 23-5.** Prueba de conectividad con IPv4 mediante Traceroute  
**Realizado por:** Gabriela Cifuentes

### 5.2.3.3 Configuración de la red IP/MPLS con direccionamiento IPv6 utilizando método 6VPE

Del análisis del método 6VPE, se determina que no requiere modificación la configuración en el core del MPLS, se mantendrá su funcionamiento actual con el protocolo IPv4, para la aplicación del método 6VPE se habilitaron los protocolos de enrutamiento IGP del cliente, VPNv6, VRF, direccionamiento IPv6 y se comprueba su funcionamiento.

#### Diagrama de direccionamiento IPv6 ha ser utilizado en el método 6VPE

En la Tabla 5-5 y Figura 24-5 se indica el direccionamiento IP que se configuró en el backbone, donde observa que las IPs internas del proveedor mantienen el protocolo IPv4, y en las interfaces de conexión hacia el cliente se configura IPv4 e IPv6.

**Tabla 5-5:** Diagrama de direccionamiento IPv6 ha ser utilizado con 6VPE.

DIRECCIONAMIENTO IP CNT – CLIENTE				
EQUIPO	INTERFAZ	DIRECCIÓN IP	MASCARA	DETALLE CONEXIÓN
TENCNTP01	fa 0/0	10.2.20.1	255.255.255.252	TENCNTP01 - TENCNTE01
	fa 0/1	10.2.20.5	255.255.255.252	TENCNTP01 - TENARCHE01
	fa 1/0	10.6.0.1	255.255.255.252	TENCNTP01 - UIOCNTP01
	Loop	172.16.20.10	255.255.255.255	ROUTER ID
TENCNTE01	fa 0/0	10.2.20.2	255.255.255.252	TENCNTE01 - TENCNTP01
	fa 0/1	10.10.0.1	255.255.255.252	TENCNTE01 - MATRIZ_C_A
	fa 0/1	2001:db8:2:1::1	/64	TENCNTE01 - MATRIZ_C_A
	Loop	172.16.20.20	255.255.255.255	ROUTER ID
TENARCHE01	fa 0/1	10.2.20.6	255.255.255.252	TENARCHE01 - TENCNTP01
	fa 1/0	10.10.0.5	255.255.255.252	TENARCHE01 - OFFICE_C_A
	fa 1/0	2001:db8:2:2::1	/64	TENARCHE01 - OFFICE_C_A
	fa 1/1	10.10.20.5	255.255.255.252	TENARCHE01 - OFFICE_C_B
	fa 1/1	2001:db8:3:2::1	/64	TENARCHE01 - OFFICE_C_B
Loop	172.16.20.30	255.255.255.255	ROUTER ID	
UIOCNTP01	fa 0/0	10.2.10.1	255.255.255.252	UIOCNTP01 - UIOLCLE01
	fa 0/1	10.2.10.5	255.255.255.252	UIOCNTP01 - UIOINQE01
	fa 1/0	10.6.0.2	255.255.255.252	UIOCNTP01 - TENCNTP01
	Loop	172.16.10.10	255.255.255.252	ROUTER ID
UIOLCLE01	fa 0/0	10.2.10.2	255.255.255.252	UIOLCLE01 - UIOCNTP01

	fa 1/0	10.10.20.1	255.255.255.252	UIOLCLE01-MATRIZ_C_B
	fa 1/0	2001:db8:3:1::1	/64	UIOLCLE01-MATRIZ_C_B
	Loop	172.16.10.20	255.255.255.255	ROUTER ID
UIOINQE01	fa 0/1	10.2.10.6	255.255.255.252	UIOINQE01 - UIOCNTP01
	fa 1/0	10.10.0.9	255.255.255.252	UIOINQE01 - OFFICE_2_C_A
	fa 1/0	2001:db8:2:3::1	/64	UIOINQE01 - OFFICE_2_C_A
	Loop	172.16.10.30	255.255.255.255	ROUTER ID

Realizado por: Gabriela Cifuentes

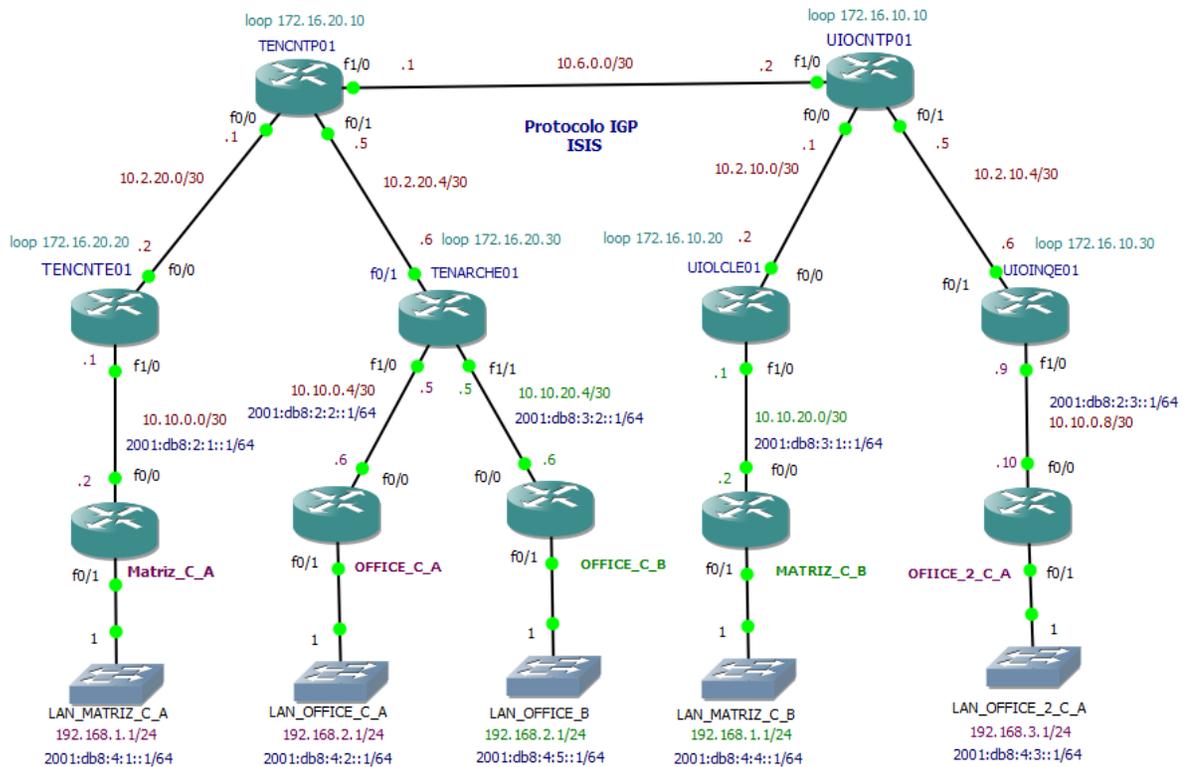


Figura 24-5. Esquema de direccionamiento IPv6

Realizado por: Gabriela Cifuentes

### Configuración del backbone

En el backbone (Core) de la red del proveedor CNT EP no se requiere cambios y se mantiene la configuración IPv4 el protocolo IGP, protocolo ISIS, y protocolo MPLS.

En la Figura 25-5 se observa la tabla de enrutamiento del core el cual mantienen las mismas rutas que en el escenario con el protocolo IPv4.

```
TENCNTE01#sh ip route isis
      172.16.0.0/16 is variably subnetted, 6 subnets, 2 masks
i L2   172.16.20.10/32 [115/20] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2   172.16.10.20/32 [115/40] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2   172.16.10.30/32 [115/40] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2   172.16.20.28/30 [115/30] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2   172.16.10.10/32 [115/30] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
      10.0.0.0/30 is subnetted, 5 subnets
i L2   10.2.10.0 [115/30] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2   10.2.10.4 [115/30] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2   10.6.0.0 [115/20] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
i L2   10.2.20.4 [115/20] via 10.2.20.1, FastEthernet0/0
TENCNTE01#
```

**Figura 25-5.** Tabla de enrutamiento del backbone con el método 6VPE  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

### Habilitación del protocolo de internet IPv6

Para la habilitación del protocolo IPv6, el ruteo y reenvío de paquetes, se configuran con los siguientes comandos, como se muestra en la Figura 26-5.

```
ipv6 unicast-routing
ipv6 cef
```

**Figura 26-5.** Habilitación del protocolo IPv6  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

### Configuración de las instancias de enrutamiento VRF para el cliente

Se crea VRF para tener múltiples instancias de enrutamiento de modo simultáneo en un router. En la configuración se hace uso del comando VRF definition, el cual soporta múltiples protocolos y permite habilitar IPv4 e IPv6 dentro de la misma VRF. Con el método 6VPE es posible la configuración de redes VPN sobre redes MPLS y segmentar los servicios de los clientes.

En la Figura 27-5 se observa que los comandos para IPv6 e IPv4 son los mismos y se mantiene el esquema de la red actual.

```

vrf definition ca6vpe
 rd 28006:1
 !
 address-family ipv4
 route-target export 28006:1
 route-target import 28006:1
 exit-address-family
 !
 address-family ipv6
 route-target export 28006:1
 route-target import 28006:1
 exit-address-family

```

**Figura 27-5.** Instancia de enrutamiento VRF  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

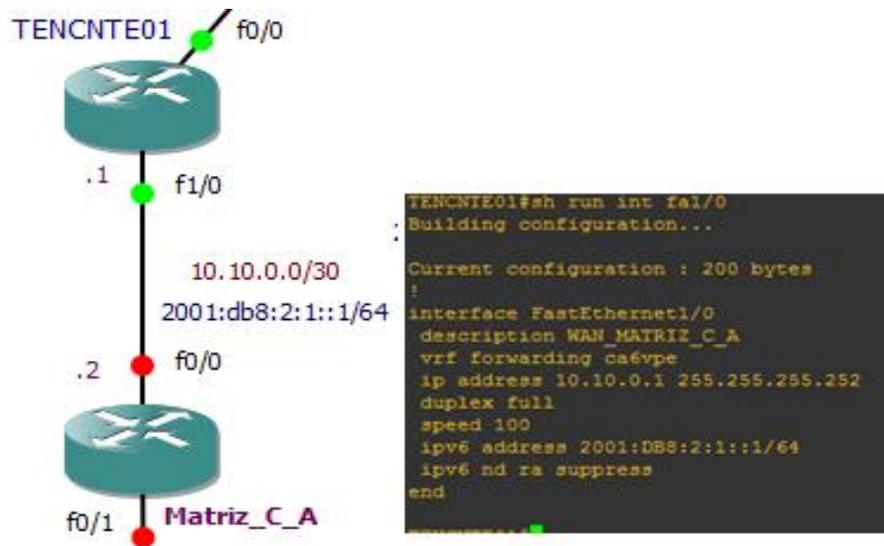
### Configuración direccionamiento IP de Cliente a la Red del Proveedor

En la Tabla 6-5 y Figura 28-5, se listan las direcciones IPv6 que se configuraron para el nuevo escenario, se valida además que se puede habilitar simultáneamente el protocolo IPv4 en la misma interface.

**Tabla 6-5:** Direccionamiento IPv6 de matrices y sucursales

DETALLE	INTERFAZ	WAN_MPLS	VRF
MATRIZ_C_A	Fa 0/0	2001:db8:2:1::2/64	ca6vpe
	Fa 0/1	2001:db8:4:1::1/64	
OFFICE_C_A	Fa 0/0	2001:db8:2:2::1/64	
	Fa 0/1	2001:db8:4:2::1/64	
OFFICE_2_C_A	Fa 0/0	2001:db8:2:3::1/64	
	Fa 0/1	2001:db8:4:3::1/64	
MATRIZ_C_B	Fa 0/0	2001:db8:3:1::1/64	cb6vpe
	Fa 0/1	2001:db8:4:4::1/64	
OFFICE_C_B	Fa 0/0	2001:db8:3:2::1/64	
	Fa 0/1	2001:db8:4:5::1/64	

Realizado por: Gabriela Cifuentes



**Figura 28-5.** Configuración del direccionamiento IPv4 e IPv6  
 Realizado por: Gabriela Cifuentes

### Configuración Red Privada Virtual (VPNv6) en MPLS

Al mantener la configuración de los protocolos IS-IS, MPLS y BGP, se levanta la red privada virtual (VPN) versión 6, donde se configuran las vecindades con otros equipos de borde donde la red VPN esté presente y permita identificar unívocamente a un cliente. Esta configuración se la realiza dentro del proceso BGP 28006, como se muestra en la Figura 29-5.

```
router bgp 28006
  bgp router-id 172.16.20.20
  no bgp default ipv4-unicast
  no bgp default route-target filter
  bgp log-neighbor-changes
  neighbor 172.16.10.30 remote-as 28006
  neighbor 172.16.10.30 update-source Loopback100
  neighbor 172.16.20.30 remote-as 28006
  neighbor 172.16.20.30 update-source Loopback100
  !
  address-family vpnv6
    neighbor 172.16.10.30 activate
    neighbor 172.16.10.30 send-community both
    neighbor 172.16.20.30 activate
    neighbor 172.16.20.30 send-community both
  exit-address-family
  !
  address-family vpnv4
    neighbor 172.16.10.30 activate
    neighbor 172.16.10.30 send-community both
    neighbor 172.16.20.30 activate
    neighbor 172.16.20.30 send-community both
  exit-address-family
  !
```

**Figura 29-5.** Configuración del protocolo BGP y VPN  
 Realizado por: Gabriela Cifuentes

La configuración que permite la distribución de las rutas que se aprende entre el CPE (equipo del cliente) y el equipo de borde PE es muy similar a la configuración lógica de la red actual. En la Figura 30-5 se muestra que se utiliza el protocolo IPv6 y que las rutas se distribuyen estáticamente.

```

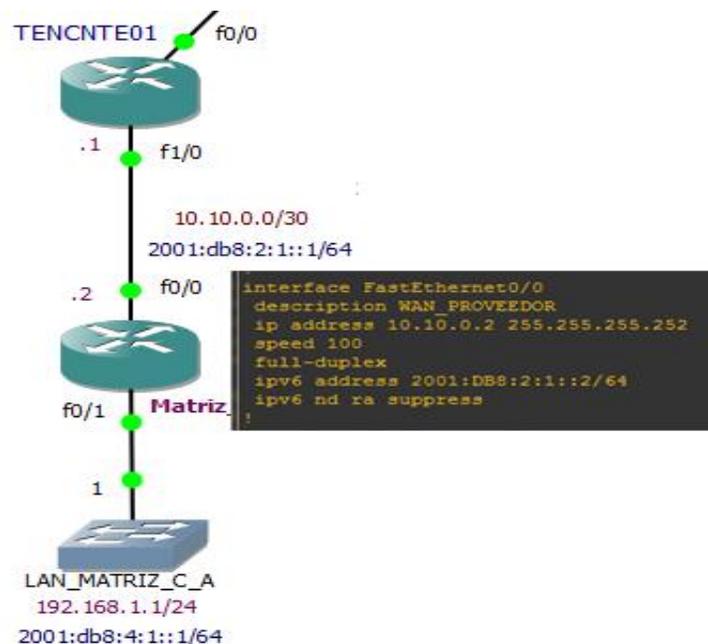
address-family ipv4 vrf ca6vpe
 redistribute connected
 redistribute static
 default-information originate
 no synchronization
 exit-address-family
!
address-family ipv6 vrf ca6vpe
 redistribute connected
 redistribute static
 default-information originate
 no synchronization
 exit-address-family

```

**Figura 30-5.** Distribución de las rutas que aprende el equipo cliente  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

### Configuración del protocolo IPv6 en el equipo el cliente CE

Al utilizar 6VPE se debe considerar que el equipo del cliente debe ser Dual Stack, CNT EP para la entrega servicios corporativos emplea equipos de marca Cisco de la serie 800–1940, los cuales cumplen con la característica de habilitar el protocolo IPv4 e IPv6 de manera simultánea, en la Figura 31-5 se muestra la configuración de la interfaz en Dual Stack.



**Figura 31-5.** Configuración del protocolo IPv6 en el equipo el cliente CE  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

## Pruebas de Conectividad con el método 6VPE

**Tabla de enrutamiento:** Debido a que los protocolos IPv4 e IPv6 son incompatibles, al usar VRF se crean dos instancias de enrutamiento, uno para cada protocolo IP tal como se muestra en la Figura 32-5 y la Figura 33-5.

```
TENCNTE01#sh ip route vrf ca6vpe

Routing Table: ca6vpe
Codes: C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2
       i - IS-IS, su - IS-IS summary, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2
       ia - IS-IS inter area, * - candidate default, U - per-user static route
       o - ODR, P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is 10.10.0.2 to network 0.0.0.0

10.0.0.0/30 is subnetted, 3 subnets
C    10.10.0.0 is directly connected, FastEthernet1/0
B    10.10.0.4 [200/0] via 172.16.20.30, 00:46:20
B    10.10.0.8 [200/0] via 172.16.10.30, 00:46:20
S    192.168.1.0/24 [1/0] via 10.10.0.2
B    192.168.2.0/24 [200/0] via 172.16.20.30, 00:46:20
B    192.168.3.0/24 [200/0] via 172.16.10.30, 00:46:20
S*   0.0.0.0/0 [1/0] via 10.10.0.2
```

**Figura 32-5.** Tabla de enrutamiento VRF ca6vpe con IPv4  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

```
TENCNTE01#sh ipv6 route vrf ca6vpe

IPv6 Routing Table - ca6vpe - 8 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, U - Per-user Static route
       B - BGP, M - MIPv6, R - RIP, I1 - ISIS L1
       I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary, D - EIGRP
       EX - EIGRP external
       O - OSPF Intra, OI - OSPF Inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
       ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2

S    ::/0 [1/0]
       via 2001:DB8:2:1::2
C    2001:DB8:2:1::/64 [0/0]
       via FastEthernet1/0, directly connected
L    2001:DB8:2:1::1/128 [0/0]
       via FastEthernet1/0, receive
B    2001:DB8:2:2::/64 [200/0]
       via 172.16.20.30%Default-IP-Routing-Table, indirectly connected
B    2001:DB8:2:3::/64 [200/0]
       via 172.16.10.30%Default-IP-Routing-Table, indirectly connected
B    2001:DB8:4:2::/64 [200/0]
       via 172.16.20.30%Default-IP-Routing-Table, indirectly connected
B    2001:DB8:4:3::/64 [200/0]
       via 172.16.10.30%Default-IP-Routing-Table, indirectly connected
L    FF00::/8 [0/0]
       via Null0, receive
```

**Figura 33-5.** Tabla de enrutamiento VRF ca6vpe con IPv6  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

**Mediante Ping:** La prueba se realiza desde el equipo CPE de matriz de cliente A hacia el CPE office 2 A, de la cual se obtiene una prueba satisfactoria como se muestra en la Figura 34-5.

```
CPE_MATRIZ_C_A#ping 10.10.0.10 rep 10
Type escape sequence to abort.
Sending 10, 100-byte ICMP Echos to 10.10.0.10, timeout is 2 seconds:
!!!!!!!!!!
Success rate is 100 percent (10/10), round-trip min/avg/max = 52/83/116 ms
CPE_MATRIZ_C_A#ping ipv6 2001:db8:2:3::2 rep 10
Type escape sequence to abort.
Sending 10, 100-byte ICMP Echos to 2001:DB8:2:3::2, timeout is 2 seconds:
!!!!!!!!!!
Success rate is 100 percent (10/10), round-trip min/avg/max = 56/70/80 ms
```

**Figura 34-5.** Prueba de conectividad desde MATRIZ A hacia OFFICE 2A  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

**Mediante Traceroute:** En la Figura 35-5 se muestra que con el uso de la herramienta traceroute utilizando IPv4, se observa que la ruta se marca solo utilizando este protocolo, pero al usar IPv6 las direcciones al entrar al core del proveedor se “modifican” o mapea y utilizan IPv4 ya que se establece un túnel entre los equipos PE como se muestra en la Figura 36-5.

```
CPE_MATRIZ_C_A#traceroute 10.10.0.10
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 10.10.0.10

 1 10.10.0.1 152 msec 72 msec 80 msec
 2 10.2.20.1 [MPLS: Labels 21/25 Exp 0] 148 msec 156 msec 144 msec
 3 10.6.0.2 [MPLS: Labels 22/25 Exp 0] 144 msec 156 msec 176 msec
 4 10.10.0.9 148 msec 236 msec 240 msec
 5 10.10.0.10 256 msec 184 msec *
```

**Figura 35-5.** Traceroute con de IPv4  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

```
CPE_MATRIZ_C_A#traceroute ipv6 2001:DB8:2:3::2
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 2001:DB8:2:3::2

 1 2001:DB8:2:1::1 40 msec 44 msec 36 msec
 2 ::FFFF:10.2.20.1 64 msec 80 msec 88 msec
 3 ::FFFF:10.6.0.2 72 msec 64 msec 68 msec
 4 2001:DB8:2:3::1 52 msec 64 msec 52 msec
 5 2001:DB8:2:3::2 72 msec 76 msec 80 msec
```

**Figura 36-5.** Tabla de enrutamiento de IPv6  
Realizado por: Gabriela Cifuentes

#### 5.2.3.4 Pruebas de conectividad

Para comprobar el funcionamiento de la red se utilizan las herramientas **ping** y **traceroute**, las cuales permiten verificar el tráfico de red y enviar datagramas a un nodo destino.

Las pruebas se realizaron en los diferentes escenarios con la red MPLS y el direccionamiento IPv4 e IPv6, de las cuales todas las pruebas han sido satisfactorias.

#### 5.2.3.5 Análisis de los Servicios

Para realizar el análisis se consideró los parámetros de conectividad de red y transferencia de archivos, destacando las siguientes características:

- La transición aumenta las direcciones IP para los clientes corporativos.
- La coexistencia con IPv4 hizo posible la transición paulatina al protocolo IPv6, debido a que la técnica 6VPE en MPLS es escalable.
- No se requirió la actualización de Hardware y software en el backbone de la red ya que se mantiene el mismo.
- Las configuraciones de los protocolos IPv4 e IPv6 en la red son similares, únicamente se modificaron las interfaces y protocolos que permiten la conexión para los clientes desde el equipo de borde PE y el equipo del cliente CE.
- La red IP/MPLS de CNT EP actualmente permite la transición con la técnica 6VPE, y no es necesario realizar modificaciones a nivel de equipamiento del core.
- El mecanismo para transición está basado en la técnica Tunneling.

### 5.2.3.6 *Análisis de los protocolos IPv4 e IPv6*

Una vez realizada la transición fue necesario determinar las ventajas y desventajas del protocolo IPv6 en comparación con un entorno IPv4, para lo cual se escogieron los siguientes parámetros: conectividad de la red y transferencia de archivos como indicadores de la variable dependiente acceso a SVA (Servicios de Valor Agregado).

#### **Conectividad**

Al verificar el parámetro de conectividad en el escenario propuesto, las herramientas **ping** y **tracert** sobre las máquinas virtuales, se determinó que los paquetes viajan más rápido en el escenario con la metodología propuesta debido a que los tiempos de conectividad disminuyeron. Ver Anexo “A”.

#### **Transferencia de archivos**

Respecto a la transferencia de archivos, el escenario con la metodología implementada presenta mayor velocidad de transmisión de datos y menor pérdida de paquetes en comparación con el escenario sin metodología. Ver Anexo “B”.

Tomando en cuenta estos factores se ha realizado una comparación cualitativa de los dos protocolos en el momento de realizar las pruebas de conectividad y transferencia de archivos. En la Tabla 7-5, se muestra el análisis comparativo sobre la infraestructura tecnológica antes y después de aplicar la metodología de transición y coexistencia.

**Tabla 7-5:** Análisis comparativo de los protocolos IPv4 e IPv6

Indicadores		Sin la metodología (IPv4)	Con la metodología (IPv6)
<i>Conectividad de la red</i>	Conectividad nodo origen con nodo destino de 1000 de tamaño 1500 bytes	Tiempo mínimo: 20 ms Tiempo promedio: 104 ms Tiempo máximo: 372 ms Total paquetes: 100%  Correcta operatividad de la red.	Tiempo mínimo: 20 ms Tiempo promedio: 104 ms Tiempo máximo: 284 ms Total paquetes: 100%  Correcta operatividad de la red, e integración de otros protocolos para la coexistencia.
<i>Transferencia de archivos</i>	Acceso a los archivos de distinto tamaño desde la matriz hacia una sucursal.	El tiempo de transferencia de archivos aumenta.	El tiempo de transferencia disminuye.
<i>Enrutamiento</i>		Permite integración de VRFs para mejor manejo de tipo de tráfico.	Permite integración de VRFs para mejor manejo según el tipo de tráfico.

**Realizado por:** Gabriela Cifuentes

Utilizando la herramienta Wireshark, en la Figura 37-5 se muestran las tasas de porcentajes de paquetes enviados desde un nodo origen (matriz) hasta un nodo destino (sucursal), así como también la utilización del servicio ftp en cada uno de los protocolos al momento de realizar la transferencia de archivos, se observa que con la integración de la metodología se tiene una tasa de transferencia del 49% en comparación a cuando no se implementó la metodología se tiene una tasa de transferencia del 50%.

Wireshark · Protocol Hierarchy Statistics · wireshark\_6C64FF24-0EAB-45D6-A18F-0421235A8989\_20171126150001\_a10136

Protocol	Percent Packets	Packets	Percent Bytes	Bytes	Bits/s	End Packets
Frame	100.0	18596	100.0	17734401	372 k	0
Ethernet	100.0	18596	1.5	260344	5471	0
Logical-Link Control	0.0	5	0.0	2075	43	0
Cisco Discovery Protocol	0.0	5	0.0	2035	42	5
Internet Protocol Version 6	49.3	9162	2.1	366480	7702	0
User Datagram Protocol	1.7	311	0.0	2488	52	0
Multicast Domain Name System	0.0	1	0.0	41	0	1
Link-local Multicast Name Resolution	0.8	152	0.0	3600	75	152
Domain Name System	0.8	144	0.0	6174	129	0
TRANSUM RTE Data	0.8	144	0.1	15102	317	144
DHCPv6	0.1	14	0.0	1239	26	14
Transmission Control Protocol	46.5	8653	47.3	8383127	176 k	8650
File Transfer Protocol (FTP)	0.0	2	0.0	44	0	2
Data	0.0	1	0.0	1	0	1
Internet Control Message Protocol v6	1.1	198	0.1	15862	333	54
TRANSUM RTE Data	0.8	144	0.1	22014	462	144
Internet Protocol Version 4	50.5	9396	1.1	187960	3950	0
User Datagram Protocol	3.2	594	0.0	4752	99	0
Simple Service Discovery Protocol	0.1	14	0.0	2422	50	14
NetBIOS Name Service	2.3	419	0.1	20950	440	417
TRANSUM RTE Data	0.0	2	0.0	184	3	2
NetBIOS Datagram Service	0.0	2	0.0	413	8	0
SMB (Server Message Block Protocol)	0.0	2	0.0	249	5	0
SMB MailSlot Protocol	0.0	2	0.0	50	1	0
Microsoft Windows Browser Protocol	0.0	2	0.0	77	1	0
TRANSUM RTE Data	0.0	2	0.0	497	10	2
Link-local Multicast Name Resolution	0.8	151	0.0	3576	75	151
Bootstrap Protocol	0.0	8	0.0	2400	50	8

**Figura 37-5.** Tasa de transferencia de los protocolos IPv4 e IPv6  
**Realizado por:** Gabriela Cifuentes

A través de este análisis se determinó que la integración del protocolo IPv6 con la metodología sobre la red IP/MPLS presenta mejores ventajas en comparación a la red que no se aplica la metodología, ya que la pérdida de paquetes en el envío es menor, el tiempo de respuesta es mínimo, y permite la coexistencia con la red que actualmente se encuentra operativa sobre la infraestructura de CNT EP de la provincia de Napo en IPv4.

### 5.3 Cumplimiento de los objetivos

El estudio de los mecanismos de transición Dual Stack, Tunneling y Traducción de los cuales se determinó las ventajas y potencialidades para migrar una red IPv4 a IPv6, siendo la más recomendable Tunneling, cumplen con el primer objetivo que es analizar las técnicas de transición para determinar las potencialidades de cada una de ellas.

Al analizar la situación actual del proveedor de servicios de telecomunicaciones CNT EP de la provincia de Napo, así como también la infraestructura de la red IP/MPLS y los recursos tecnológicos disponibles en el área técnica de CNT, se pudo determinar las características de operación y funcionamiento del equipamiento activo.

El análisis de los protocolos IPv4 e IPv6, facilitó la coexistencia y transición entre protocolos en la red IP/MPLS, determinando que el mejor mecanismo de transición es **IPv6 sobre MPLS/VPN en los equipos del borde del proveedor (6VPE)** ya que ofrece múltiples ventajas en cuanto al direccionamiento IPv6 y trabaja en base a la técnica **Tunneling**.

La metodología de transición de la red IP/MPLS a IPv6 (Método 6VPE), con todos los objetivos anteriormente mencionados se plantea en la propuesta del ítem *5.1 Implementación de la metodología propuesta*.

Para los ambientes de prueba se definieron indicadores para determinar la prestación Servicios de Valor Agregado por parte de CNT: conectividad de la red y transferencia de archivos.

La evaluación de la metodología se realizó con el software de simulación GNS3 y el software Xampp Server, de la red IP/MPLS con los protocolos IPv4 e IPv6, los parámetros conectividad y transferencia de archivos, se comprobó que IPv6 proporciona mejores ventajas para prestar servicios de valor agregado al segmento corporativo.

## CONCLUSIONES

- El análisis de los protocolos IPv4 e IPv6 y las técnicas de coexistencia y transición a IPv6 sobre redes IP/MPLS, facilitó la determinación de las ventajas para el mejoramiento de la infraestructura tecnológica de proveedores de servicios de telecomunicaciones y el acceso a servicios de valor agregado.
- Con el análisis de las características de la infraestructura actual de CNT EP, referentes a hardware y software, se determinó que facilitan la coexistencia y transición a través del uso de la técnica 6VPE, debido a que las configuraciones a nivel de core son similares y no se modificaron, permitiendo integrar VRF, MPLS BGP, IS-IS para la conectividad de servicios de valor agregado en IPv4 e IPv6.
- Se propuso una metodología de transición en redes IP/MPLS sobre IPv6, basado en túneles con tres fases, que demostraron el correcto funcionamiento de la red.
- Al aplicar los dos escenarios propuestos en las herramientas de simulación para medir el parámetro conectividad de red, se observa una mejora del 5.24% en el escenario con la implementación de la metodología de transición.
- El tiempo de transferencia de archivos, es más rápido en IPv6 en relación a IPv4, se evidencia una mejora del 29.17% en las pruebas realizadas una vez aplicada la metodología de transición.
- En la conectividad del nodo origen con el nodo destino, se observan mejoras en los tiempos promedio de emisión de información de diferente cantidad de bytes en el escenario con la metodología de transición a IPv6 en redes MPLS.
- La aplicación de la metodología en la transición de la red IP/MPLS a IPv6 facilitó su integración y desarrollo de la misma.
- Para la demostración de la hipótesis se utilizó la distribución estadística T-Student para el análisis de muestreo no probabilístico y estudios exploratorios, en donde los resultados mostraron que existe una diferencia significativa entre las medias del indicador conectividad

de la red de 5.88 ms, evidenciando que cambian y mejoran las velocidades de conectividad cuando se aplica la metodología de coexistencia/transición de la red IP/MPLS a IPv6 a través de la técnica 6VPE.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de la metodología de transición en proveedores de servicios de telecomunicaciones que requieran actualizar su infraestructura para mejorar el acceso a servicios de valor agregado sobre el protocolo IPv6.
- Se recomienda utilizar la técnica de transición para redes IP/MPLS sobre IPv6 para realizar un proceso progresivo, más no migrar totalmente a IPv6 nativo ya que implicaría asignar una cantidad elevada de recursos económicos.
- Se recomienda validar las características del equipo CPE para soportar Dual Stack, en caso que el cliente tenga su propio equipo, y pueda funcionar con la metodología propuesta.
- Se recomienda un estudio futuro de una metodología de transición a IPv6, para el acceso a servicios de valor agregado para el segmento masivo en proveedores de servicios de telecomunicaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, N. (2015).** *Población y Muestra*. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/novahia/poblacion-y-muestra-47502751>
- CISCO. (2006).** *IPV6 ASSESSMENT AND MIGRATION SERVICES*.
- CISCO. (2010).** *ECОВI.UAGRO*. Recuperado de: <http://ecovi.uagro.mx/ccna2/course/module11/11.1.3.2/11.1.3.2.html>
- Cisco-Systems. (2014).** Virtual Routing and Forwarding. *Cisco Active Network Abstraction 3.7 Reference Guide*, 1.
- COLOMBIA. MINISTERIO DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES DE COLOMBIA - MINTIC. (2016).** Transición de IPv4 a IPv6 para Colombia. En MINTIC, *Transición de IPv4 a IPv6 para Colombia* (págs. 13-21).
- ECUADOR. INSTITUTO ECUATORIANO DE ESTADÍSTICA Y CENSO - INEC. (2010).** *INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICAS Y CENSOS*. Recuperado de: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- ECUADOR. SECRETARIA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES - SENATEL. (2017).** *ARCOTEL*. Recuperado de: [http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2016/02/7\\_otros\\_sva.pdf](http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2016/02/7_otros_sva.pdf)
- Gelvez, N., López, D., & Rivas, E. (2013).** *UDISTRITAL*. Recuperado de: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/REDES/article/view/6366/9466>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010).** *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Huawei. (2015).** *SUPPORT HUAWEI*. Recuperado de: <http://support.huawei.com/enterprise/documentOnline?contentId=DOC1000009611&sendFrom=mobile&currentPartNo=10022&togo=content>
- Huidobro, J., & Millán, R. (2002).** *MPLS(MultiProtocol Label Switching)*.
- Landy, D. (2013).** Propuesta de un Plan de Implementación para la migración a IPv6 en la UPS Sede-Cuenca. En D. Landy, *Propuesta de un Plan de Implementación para la migración a IPv6 en la UPS Sede-Cuenca* (págs. 37-42). Cuenca.
- Lavado, G. (2015).** *Internet Protocol version 6 v2*. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/GianpietroLavado/i-pv6-internet-protocol-version-6-v2>
- Martínez, C., Cicileo, G., & Kaplan, L. (2015).** Despliegue de IPv6 para el desarrollo socio económico. En C. Martínez, G. Cicileo, & L. Kaplan, *Despliegue de IPv6 para el desarrollo socio económico* (pág. 69). Montevideo.

- Morán, A. (2011).** *EROSKI CONSUMER*. Recuperado de:  
<http://www.consumer.es/web/es/tecnologia/internet/2006/07/26/153823.php>
- Rosen, E., Cisco Systems, I., & Force10 Networks, I. (2001).** *Multiprotocol Label Switching Architecture - RFC 3031*. Recuperado de: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt>
- SUPPORT, C. (2016).** *CISCO*. Recuperado de:  
[http://www.cisco.com/c/es\\_mx/support/docs/multiprotocol-label-switching-mpls/mpls/4649-mpls-faq-4649.html#anc1](http://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/multiprotocol-label-switching-mpls/mpls/4649-mpls-faq-4649.html#anc1)
- SUPPORT-CISCO. (2013).** *CISCO*. Recuperado de:  
[http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/asr\\_901s/scg/b\\_scg\\_for\\_asr901s/b\\_scg\\_for\\_asr901s\\_chapter\\_0100001.pdf](http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/asr_901s/scg/b_scg_for_asr901s/b_scg_for_asr901s_chapter_0100001.pdf)
- Tapasco García, M. O. (2008).** *MPLS, EL PRESENTE DE LAS REDES IP*. PEREIRA.
- URUGUAY. REGISTRO DE DIRECCIONES DE INTERNET DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE - LACNIC. (2012).** Recuperado de: <http://portalipv6.lacnic.net/lacnic-se-reunio-con-autoridades-y-operadores-de-latinoamerica-por-cambio-de-protocolo-de-internet/>
- URUGUAY. REGISTRO DE DIRECCIONES DE INTERNET DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE - LACNIC. (2017).** . Recuperado de: <http://www.lacnic.net/web/anuncios/2017-fase-final-de-agotamiento-de-ipv4;jsessionid=WbrFgQ2GCpz3l39sGmtN5pnH.undefined>











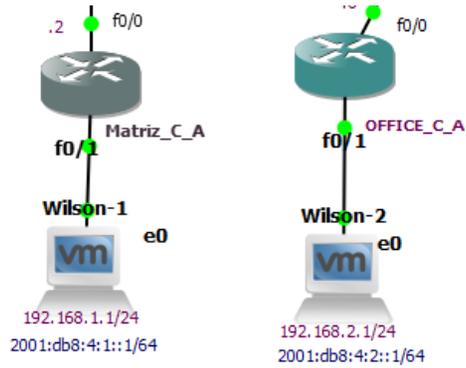




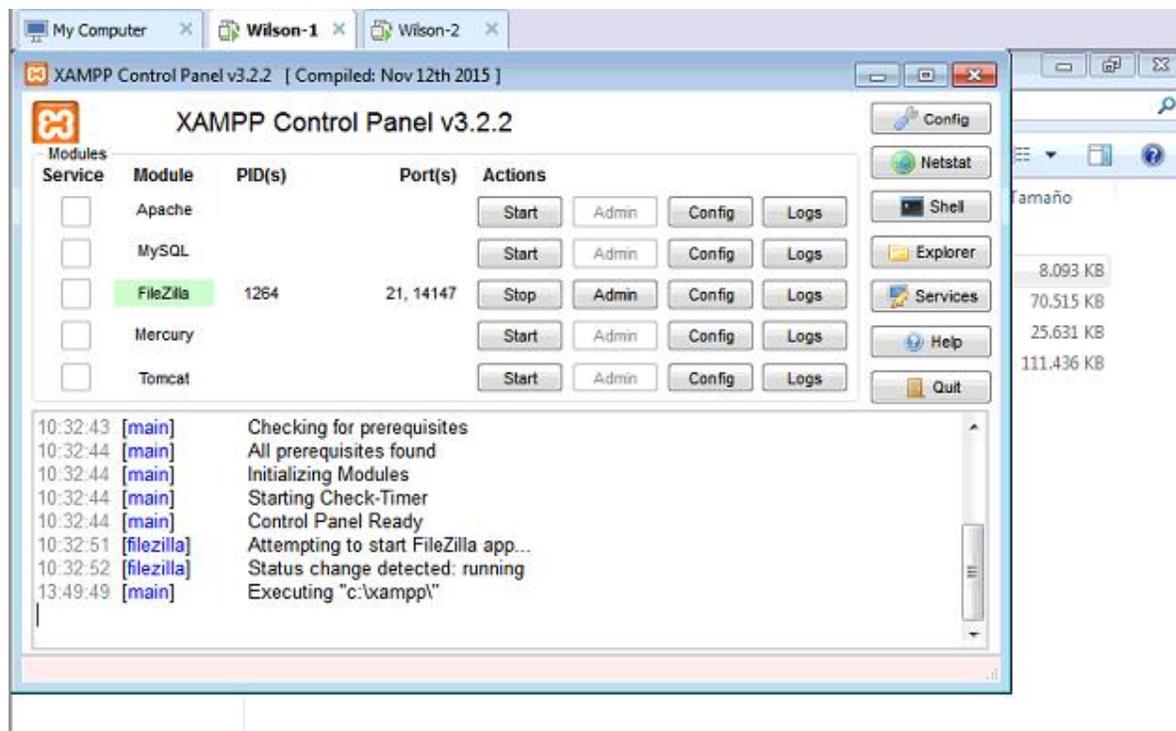


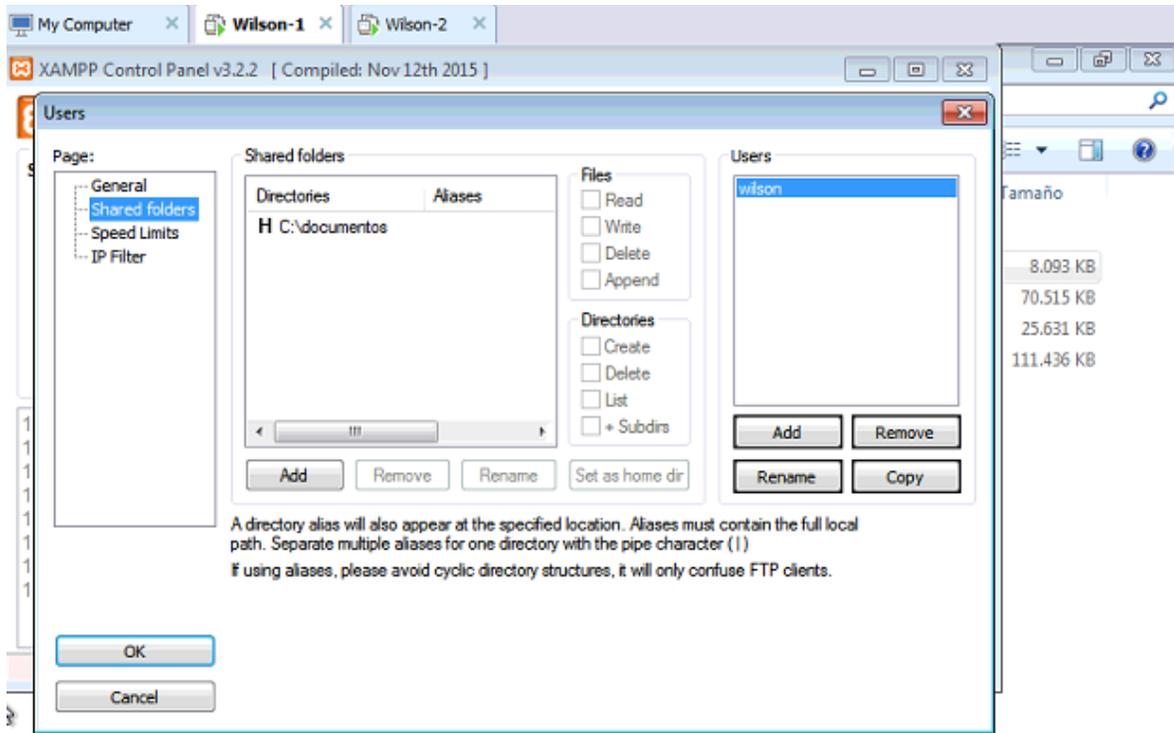
## Anexo "B" Pruebas de transferencia de archivos

### Configuración de un servidor FTP

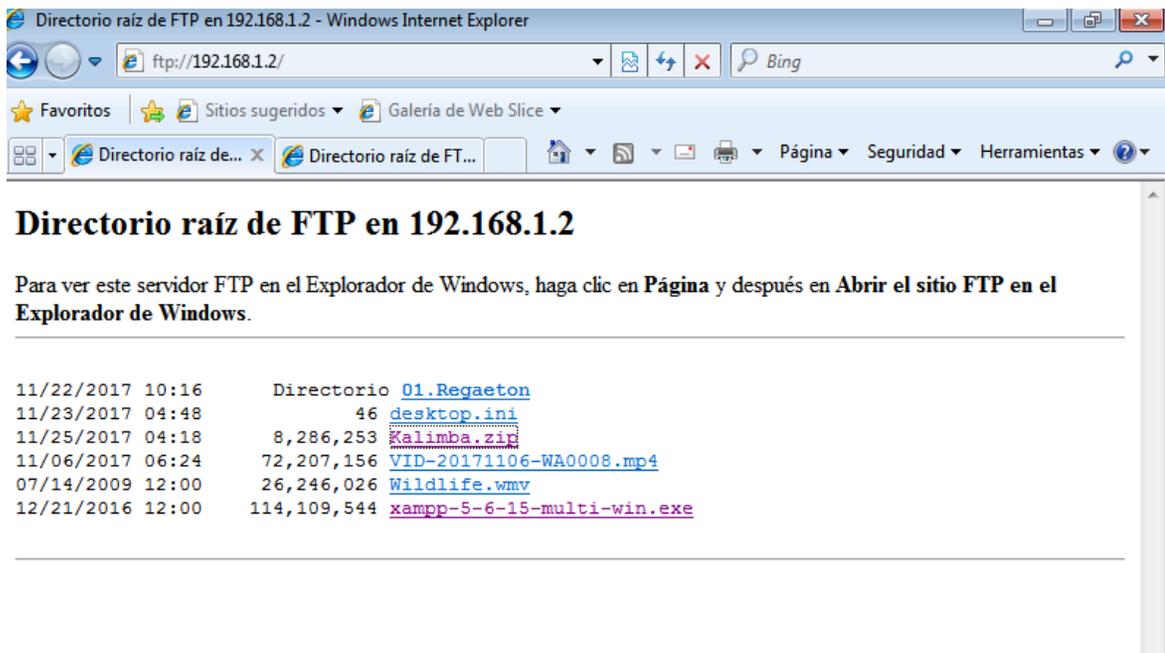


### Configuración de un servidor FTP mediante FileZilla de Xampp server





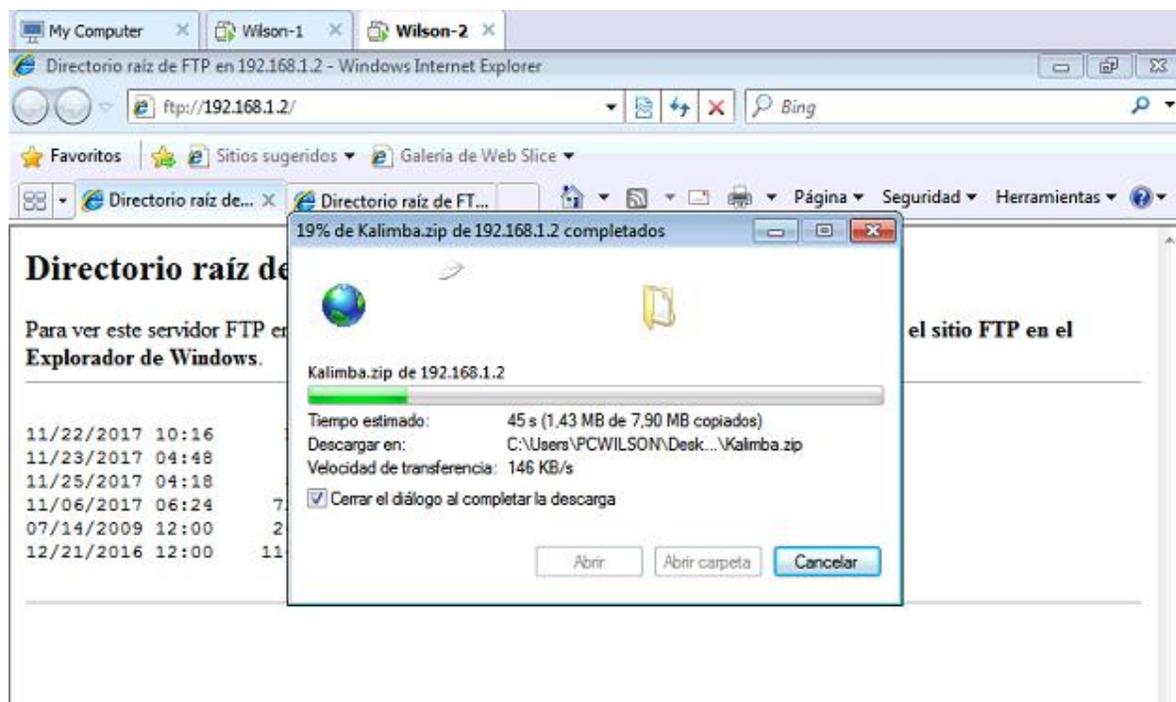
Acceso a FTP mediante protocolo IPv4 desde el cliente



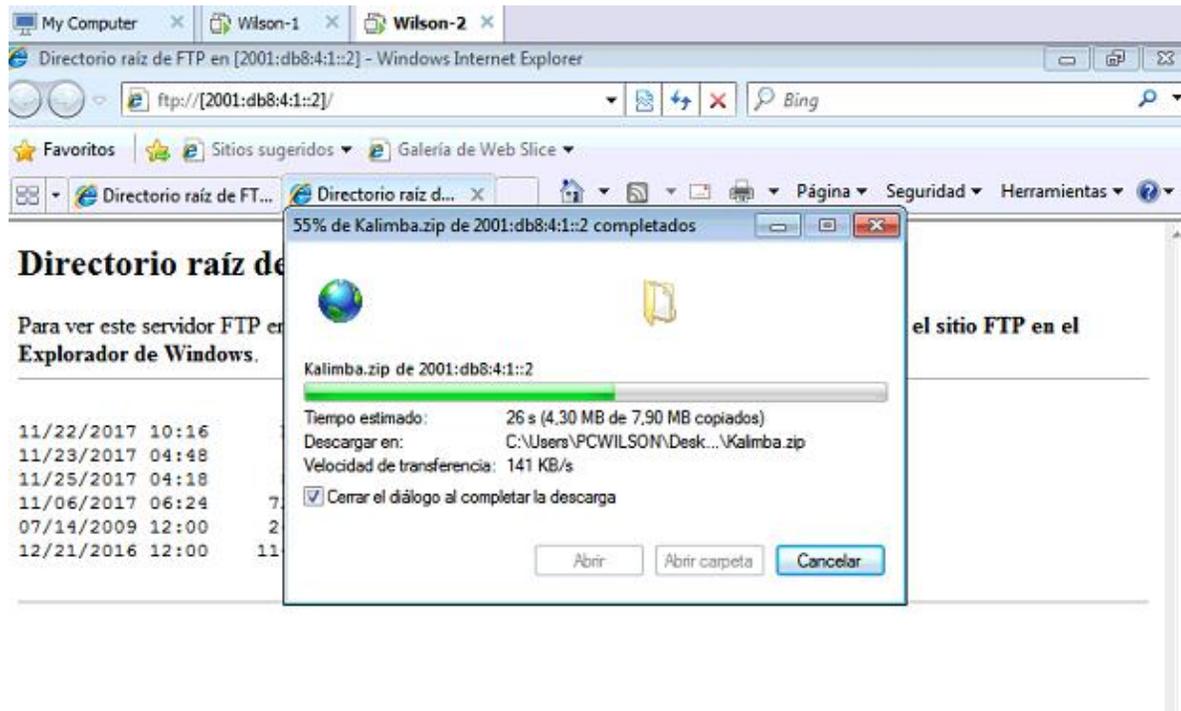
## Acceso a FTP mediante protocolo IPv6 desde el cliente



## Transferencia de archivos mediante IPv4



## Transferencia de archivos mediante IPv6



## Anexo “C” Especificaciones de los equipos Cisco

<b>Modelo CRS-4/S</b>	
	
Feature	Description
Software compatibility	Cisco IOS XR Software Release 4.0.0 or later
Protocols	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cisco Discovery Protocol</li> <li>● IPv4 and IPv6 addressing</li> <li>● Internet Control Message Protocol (ICMP)</li> <li>● Layer 3 routing protocols, including:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>BGPv4</li> <li>OSPFv2 / OSPFv3</li> <li>IS-IS</li> <li>IGMP Versions 1, 2, and 3</li> <li>Multiprotocol BGP (MBGP)</li> <li>Multiprotocol Label Switching (MPLS)                                     <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ MPLS Label Distribution Protocol (LDP)</li> <li>◦ Resource Reservation Protocol (RSVP)</li> <li>◦ Differentiated Services (DiffServ)-aware traffic engineering</li> </ul> </li> </ul> </li> <li>● Security:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Message Digest Algorithm 5 (MD5)</li> <li>IP Security (IPsec) Protocol</li> <li>Secure Shell (SSHv2) Protocol</li> <li>Secure FTP (SFTP)</li> <li>Secure Sockets Layer (SSL)</li> </ul> </li> </ul>
Connectivity	POS, WDM, DPT, T3/E3, 100 GE, 10 GE, 1 GE
Features and functions	IP features <ul style="list-style-type: none"> <li>● IPv4 host services / IPv4 unicast forwarding</li> <li>● IPv6 host services / IPv6 forwarding services</li> </ul> Forwarding features <ul style="list-style-type: none"> <li>● ACLs / QoS / Policing (both ingress and egress)</li> <li>● Diagnostic and network-management support</li> </ul>

### Modelo CRS-8/S



Feature	Description
Software compatibility	Cisco IOS XR Software Release 4.1.2 or later
Protocols	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Cisco Discovery Protocol</li> <li>● IPv4 and IPv6 addressing</li> <li>● Internet Control Message Protocol (ICMP)</li> <li>● Layer 3 routing protocols, including: <ul style="list-style-type: none"> <li>BGPv4</li> <li>MP-BGP v4</li> <li>OSPFv2 / OSPFv3</li> <li>IS-IS</li> <li>IGMP Versions 1, 2, and 3</li> </ul> </li> <li>Multiprotocol Label Switching (MPLS) <ul style="list-style-type: none"> <li>◦ MPLS Label Distribution Protocol (LDP)</li> <li>◦ Resource Reservation Protocol (RSVP)</li> </ul> </li> <li>● Security: <ul style="list-style-type: none"> <li>Message Digest Algorithm 5 (MD5)</li> <li>IP Security (IPsec) Protocol</li> <li>Secure Shell (SSHv2) Protocol</li> <li>Secure FTP (SFTP)</li> <li>Secure Sockets Layer (SSL)</li> </ul> </li> </ul>
Connectivity	POS, WDM, DPT, T3/E3, 100 GE, 10 GE, 1 GE
Features and functions	<p>IP features</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● IPv4 host services / IPv4 unicast forwarding</li> <li>● IPv6 host services / IPv6 forwarding services</li> </ul> <p>Forwarding features</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● ACLs / QoS / Policing (both ingress and egress)</li> <li>● Diagnostic and network-management support</li> </ul> <p>MPLS features:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● MPLS forwarding and load balancing</li> <li>● LDP / RSVP / MPLS traffic-engineering features</li> </ul>