



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TEMA:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS EMPLEANDO EL
PROTOCOLO MPLS ENFOCADO AL FUNCIONAMIENTO DE LA INTERCONEXIÓN DE
REDES HETEROGÉNEAS, USANDO EL EMULADOR GNS3**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de: Ingeniero Electrónico**

AUTORES:

**ERNESTO XAVIER CHONLONG GARCÍA
RONNY LEONARDO TIGRERO ABARCA**

TUTOR:

BREMEN MARINO VELIZ NOBOA.

Guayaquil - Ecuador

2021

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Ernesto Xavier Chonlong García con documento de identificación N° 1308209863 y Ronny Leonardo Tigrero Abarca con documento de identificación N° 0952811842; manifestamos que:

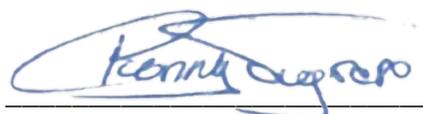
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 13 de septiembre del año 2021

Atentamente,



Ernesto Xavier Chonlong García
1308209863



Ronny Leonardo Tigrero Abarca
0952811842

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Ernesto Xavier Chonlong García con documento de identificación N° 1308209863 y Ronny Leonardo Tigero Abarca con documento de identificación N° 0952811842, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS EMPLEANDO EL PROTOCOLO MPLS ENFOCADO AL FUNCIONAMIENTO DE LA INTERCONEXIÓN DE REDES HETEROGÉNEAS, USANDO EL EMULADOR GNS3”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 13 de septiembre del año 2021

Atentamente,



Ernesto Xavier Chonlong García
1308209863



Ronny Leonardo Tigero Abarca
0952811842

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Bremnen Marino Veliz Noboa con documento de identificación N° 0703865139, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS EMPLEANDO EL PROTOCOLO MPLS ENFOCADO AL FUNCIONAMIENTO DE LA INTERCONEXIÓN DE REDES HETEROGÉNEAS, USANDO EL EMULADOR GNS3 , realizado por Ernesto Xavier Chonlong García con documento de identificación N° 1308209863 y por Ronny Leonardo Tigrero Abarca con documento de identificación N° 0952811842, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 13 de septiembre del año 2021

Atentamente,



Ing. Bremnen Marino Veliz Noboa, PhD
0703865139

Dedicatoria

Dedico este trabajo principalmente a Dios por haberme dado la vida y permitirme el haber finalizado mi formación profesional. A mi madre la Lcda. Maribel García y a mi padre el Dr. Ernesto Chonlong, por ser los pilares más importantes y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional. Quienes me enseñaron que el estudio de hoy es una inversión para el mañana. A mi hermana Natali Chonlong le dedico con todo mi corazón este trabajo, sin ella no lo había logrado, es la razón de superarme siempre, con su bendición a diario a lo largo de mi vida, me protege y me lleva por el camino del bien.

Ernesto Chonlong García.

Este trabajo de titulación va dedicado con todo mi corazón a mis padres porque gracias a su esfuerzo y sacrificio tuve la oportunidad de cumplir uno más de mis sueños, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, todos mis logros se los debo a ustedes, su apoyo ha sido indispensable para cumplir este logro y sin ustedes, sin su apoyo económico, moral y sentimental no podría haberlo logrado.

De igual manera le sé lo de dedico a mi familia en general porque siempre me brindaron su apoyo en buenos y malos momentos y a mis amigos de barrio, universidad, colegio quienes junto conmigo se propusieron llegar lejos y lo estamos consiguiendo.

Ronny Tigreiro Abarca.

Agradecimiento

El principal agradecimiento a Dios, mis padres, mi hermana quienes me ha guiado y me ha dado fortaleza siempre para seguir adelante.

Mi agradecimiento va dirigido todos los docentes y a todos los que forman parte de la familia de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil. En especial mis imperecederos agradecimientos para el Ing. David H. Cárdenas Villacrés, Ing. Carlos Bosquez y Ing. Diego Freire.

Ernesto Chonlong García.

Resumen

Año	Alumnos	Director de proyecto	Tema de proyecto de titulación
2021	Ernesto Xavier Chonlong García Ronny Leonardo Tigrero Abarca	Ing. Bremnen Marino Veliz Noboa, PhD	Diseño e implementación de un banco de pruebas empleando el protocolo MPLS enfocado al funcionamiento de la interconexión de redes heterogéneas, usando el emulador GNS3.

En la actualidad el uso de internet ha evolucionado gracias a las nuevas tecnologías desarrolladas que han aumentado tanto la velocidad de transmisión de datos como la calidad de estos para poder tener videoconferencias nítidas, llamadas IP, acceder a gran cantidad de información ilimitada y en tan poco tiempo.

MPLS reemplazo a Frame Relay y ATM ya que proporciona una mayor fiabilidad y un mejor rendimiento. Su capacidad para dar prioridades a los paquetes que transportan tráfico de voz hace que sea la solución perfecta para VoIP. También optimiza el establecimiento de túneles en las VPN.

En la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, campus Centenario los estudiantes de las Carrera de Ingeniería Electrónica realizan prácticas de manejo y configuración de protocolos para redes, como pueden ser, HDLC, Frame-Relay, PPP, etc. Cuentan con limitaciones en los equipos debido a que priva la capacidad para realizar este trabajo de la manera más eficiente en simulación o emulación de protocolos de nuevas tecnologías.

El emulador GNS3 posee una simulación más completa que brinda las herramientas adecuadas para las nuevas tecnologías, esto beneficia la práctica de posibles fallos o errores

de configuración, los estudiantes obtienen experiencia y esto genera un beneficio en su desenvolvimiento en el campo laboral al ser protocolos que normalmente empresas grandes ya están usando y favorecerá el poder realizar prácticas con emuladores mucho más completos.

Se diseña un banco de pruebas en el cual se realizará varias prácticas con los equipos necesarios para soportar diferentes tipos de protocolos desde un enrutamiento MPLS, para este se tomará en cuenta los antecedentes de experiencia obtenida en los emuladores de Cisco Packet Tracer.

Este proyecto tiene como objetivos optimizar el desempeño del protocolo MPLS para que los alumnos puedan usar y obtener resultados más reales que permita mejorar su desempeño durante el trascurso de la carrera de Ingeniería Electrónica y la Carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones.

Abstract

Year	Student	Technical Project Manager	Item of Project of Titulation
2021	Ernesto Xavier Chonlong García Ronny Leonardo Tigrero Abarca	Ing. Bremnen Marino Veliz Noboa, PhD	Design and implementation of a test bench using the MPLS protocol focused on the interconnection of heterogeneous networks, using the GNS3 emulator.

Currently, the use of the internet has evolved thanks to the new technologies developed that have increased both the speed of data transmission and the quality of these to be able to have clear videoconferences, IP calls, access a large amount of unlimited information and in so little weather.

MPLS replaced Frame Relay and ATM as it provides greater reliability and better performance. Its ability to prioritize packets carrying voice traffic makes it the perfect solution for VoIP. It also optimizes the establishment of tunnels in VPNs.

At the Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Centenario campus, students of the Electronic Engineering Careers carry out practices of management and configuration of protocols for networks, such as HDLC, Frame-Relay, PPP, etc. They have limitations in the equipment due to the fact that since lack the ability to perform this work in the most efficient way in simulation or emulation of new technology protocols.

The GNS3 emulator has a more complete simulation that provides the appropriate tools for new technologies, this benefits the practice of possible failures or configuration errors, the students obtain experience, this generates a benefit in their development in the labor field as

they are protocols that Normally large companies are already using it and it will favor being able to carry out practices with much more complete emulators.

A test bench is designed in which several practices will be carried out with the necessary equipment to support different types of protocols from an MPLS routing, for this the background of experience obtained in the Cisco Packet Tracer emulators will be considered.

This project aims to optimize the performance of the MPLS protocol so that students can use and obtain more real results that allow them to improve their performance during Electronic Engineering career and the Telecommunications Engineering career.

Índice general

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUDITORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN... I	I
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA..... II	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN III	III
DEDICATORIA.....IV	IV
AGRADECIMIENTO..... V	V
RESUMEN.....VI	VI
ABSTRACTVIII	VIII
ÍNDICE GENERAL..... 1	1
ÍNDICE DE FIGURAS..... 5	5
INTRODUCCIÓN 7	7
EL PROBLEMA 9	9
1.1 Descripción del problema 9	9
1.2 Antecedentes 9	9
1.3 Alcance..... 10	10
1.4 Delimitación..... 11	11
1.4.1 Espacial 11	11
1.4.2 Temporal..... 11	11
1.4.3 Sectorial e institucionalmente el trabajo 11	11
1.5 Objetivos..... 12	12

1.5.1	Objetivos general.....	12
1.5.2	Objetivos específicos.....	12
MARCO TEÓRICO.....		13
2.1	MPLS.....	13
2.2	Elementos de una Red MPLS.....	14
2.2.1	FEC (Clase de equivalencia de reenvío)	14
2.2.2	LSP (Etiqueta de ruta conmutada).....	14
2.2.3	LDP (Protocolo de distribución de etiquetas).....	15
2.2.4	LER (Enrutador de borde de etiquetas)	15
2.2.5	LSR (Enrutador de conmutación de etiquetas).....	15
2.2.6	LIB (Base de información de etiquetas).....	15
2.2.7	FIB (Base de información de reenvío)	15
2.2.8	LFIB (Base de información de reenvío de etiquetas)	16
2.2.9	PHP (Penúltimo salto de salto)	16
2.3	Función de los routers en una red MPLS	16
2.3.1	Customer Edge (CE) Routers	16
2.3.2	Provider Edge (PE) Routers.....	16
2.3.3	Provider (P) Routers.....	16
2.3.4	Virtual Routing and Forwarding (VRF)	17
2.4	Arquitectura de una red MPLS	18
2.4.1	BACKBONE IP/MPLS	18
2.4.2	MPLS-VPN.....	18
2.4.3	MPLS LDP	19
2.5	Funcionamiento de una red MPLS	20
2.6	Etiquetamiento de una red MPLS.....	21
2.7	Enrutamiento Convencional.....	22
2.8	Border Gateway Protocol (BGP).....	23
2.9	Open Shortest Path First (OSPF)	24

2.10 Ingeniería de Tráfico	25
MARCO METODOLÓGICO	28
3.1 Metodología explicativa	28
3.2 Investigación tecnológica	28
3.3 Primera etapa: Escenario para prácticas	28
3.4 Segunda etapa: Instalación de software y sistema operativos	29
3.5 Tercera etapa: Instalación de componentes de GNS3	35
3.6 Cuarta etapa: Creación de prácticas	40
RESULTADOS	41
4.1 Práctica 1.....	41
4.1.1 Configuración de MPLS en enrutamiento OSPF aplicando VRF	41
4.2 Práctica 2.....	41
4.2.1 Configuración de MPLS para adaptar el tamaño de una unidad de transmisión máxima	41
4.3 Práctica 3 y Práctica 4	42
4.3.1 Servicio de LAN privada virtual sobre una red MPLS con OSPF y EIGRP	42
4.4 Práctica 5 y Práctica 6	42
4.4.1 Configuración de subinterfaces con etiquetas 802.1q (VLAN) y conexión de interfaces habilitadas para mapeo de VLAN en una red MPLS	42
4.5 Práctica 7.....	43
4.5.1 Desarrollo de red MPLS con clientes.....	43
4.6 Práctica 8 y Práctica 9	43
4.6.1 Desarrollo de red MPLS aplicando ingeniería de tráfico sin protección de nodos y con protección de nodos	43
4.7 Práctica 10	44

4.7.1 Desarrollo de red MPLS L3VPN.....	44
ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
5.1 Práctica 1.....	45
5.1.1 Configuración de MPLS en enrutamiento OSPF aplicando VRF	45
5.2 Práctica 2.....	45
5.2.1 Configuración de MPLS para adaptar el tamaño de una unidad de transmisión máxima	45
5.3 Práctica 3 y Práctica 4	46
5.3.1 Servicio de LAN privada virtual sobre una red MPLS con OSPF y EIGRP	46
5.4 Práctica 5 y Práctica 6	46
5.4.1 Configuración de subinterfaces con etiquetas 802.1q (VLAN) y conexión de interfaces habilitadas para mapeo de VLAN en una red MPLS	46
5.5 Práctica 7.....	46
5.5.1 Desarrollo de red MPLS con clientes.....	46
5.6 Práctica 8 y Práctica 9	47
5.6.1 Desarrollo de red MPLS aplicando ingeniería de tráfico sin protección de nodos y con protección de nodos.	47
5.7 Práctica 10	47
5.7.1 Desarrollo de red MPLS L3VPN.....	47
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFÍA	50
ANEXOS.....	53

Índice de figuras

Figura 2.1. Modelo OSI con MPLS.	13
Figura 2.2. Topología de una red MPLS VPN.	17
Figura 2.3. MPLS BACKBONE.	18
Figura 2.4. MPLS VPN.	19
Figura 2.5. MPLS LDP.	19
Figura 2.6. Arquitectura de una red MPLS.	21
Figura 2.7. Etiquetamiento y rutas del router B, hacia sus adyacentes.	21
Figura 2.8. Etiquetamiento y rutas del router C, hacia sus adyacentes.	22
Figura 2.9. Topología de una red MPLS BGP.	24
Figura 2.10. Topología de una Red MPLS OSPF.	24
Figura 2.11. Comparación entre IGP y MPLS.	25
Figura 2.12. Caso de posible falla en un enlace y solución.	26
Figura 2.13 Cambio de los pesos de los caminos para el routing.	26
Figura 2.14. Seleccionar LSP por eficiencia de ruta.	27
Figura 3.1. Escenario para prácticas.	29
Figura 3.2. Diagrama de bloques.	29
Figura 3.3. Instalación de Windows Server 2012R2.	30
Figura 3.4. Credenciales de administrador.	30
Figura 3.5. Actualizar el windows update.	31
Figura 3.6. Panel de administrador.	31
Figura 3.7. Instalación de Hyper-V.	32
Figura 3.8. Grupos de Servidores y Roles.	32
Figura 3.9. Asistente del Hyper-V.	33
Figura 3.10. Máquina virtual.	33
Figura 3.11. Iniciar con AnyDesk.	34
Figura 3.12. Conexión punto a punto.	34
Figura 3.13. Instalación de GNS3 y Wireshark.	35
Figura 3.14. Configuración de alojamiento de equipos virtualizado.	36
Figura 3.15. Puerto de Comunicación.	36
Figura 3.16. Finalización de instalación de servidor local de GNS3.	37
Figura 3.17. edit/preferences/IOS routers/ new.	37
Figura 3.18. Optimización del Router.	38
Figura 3.19. Instalación de EtherSwitch router.	38

Figura 3.20. Administrador de IOS router..... 39
Figura 3.21. Workspace de dispositivos..... 39

Introducción

Actualmente, las redes de datos en general están sufriendo una transformación muy grande y están apareciendo servicios de todo tipo respaldados en MPLS y en BGP principalmente, sin embargo, se puede clasificar los servicios básicos de MPLS en I2vpn, I3vpn y pseudowire (Cabrera, 2019).

Estos fueron los servicios que hicieron predominante a MPLS, pero siguen estando presentes en todas partes que se use el protocolo, de hecho, siguen siendo un importante objeto de la operación de una red carrier (Cabrera, 2019).

MPLS rápidamente se volvió necesario y su adopción fue incrementándose con el tiempo, hasta el día de hoy, cuando es el estándar de facto para los proveedores de servicios (P, 2018).

Hoy en día, gracias a los avances en ingeniería de hardware, no hay diferencia en el desempeño entre reenvío basado en IP o en Labels, ya que todo se hace en hardware, el valor tangible real yace en lo que se puede construir usando MPLS y lo que puede soportar. Su escalabilidad e interoperabilidad, junto con los servicios e infraestructura que se puede ejecutar encima, como I3vpn, lo hicieron una herramienta clave para conducir negocios y redes hacia un nuevo horizonte (P, 2018).

Se implementa un WorkStation con un sistema operativo Windows Server 2012 R2 para administrar las máquinas virtuales que gestionara el profesor mediante el Hyper-V, estableciendo una conexión punto a punto con los ordenadores de los estudiantes mediante el software AnyDesk.

Las máquinas virtuales manejan un sistema operativo Windows 8 que tendrá instalado, configurado el emulador GNS3 y los dispositivos a utilizar en las 10 guías de prácticas propuestas en este proyecto.

El problema

1.1 Descripción del problema

En la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, campus Centenario los estudiantes de las Carrera de Ingeniería Electrónica realizan prácticas de manejo y configuración de protocolos para redes, tales como, HDLC, Frame-Relay, PPP, etc. Cuentan con limitaciones en los equipos debido a que carecen de rendimiento para realizar este trabajo de la manera más eficiente en simulación o emulación de protocolos de nuevas tecnologías.

Los estudiantes al carecer de la práctica de simulación hacia nuevas tecnologías de transmisión de datos y a la falta de experiencia en fallas o errores de configuración, el estudiante no cuenta con la experiencia satisfactoria generando problemas en su desenvolvimiento en el campo laboral al ser protocolos que normalmente empresas grandes ya están usando, ya que las máquinas que se encuentran en el laboratorio están limitado en cuantos a los recursos necesarios y dificultan el poder realizar prácticas mucho más complejas con emuladores más completos.

1.2 Antecedentes

En la actualidad el uso de internet ha evolucionado gracias a las nuevas tecnologías desarrolladas que han aumentado tanto la velocidad de transmisión de datos como la calidad de estos para poder tener videoconferencias nítidas, llamadas IP, acceder a gran cantidad de información ilimitada y en tan poco tiempo.

Se realizó la visita al laboratorio de telecomunicaciones UPS sede Guayaquil, donde se obtuvo información de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica, llegando a comprender que la tecnología de comunicación de MPLS es uno de los más utilizados actualmente por grandes empresas para así mantener su comunicación entre sus sucursales nacional e internacional, por el motivo que se pretende que los estudiantes comprendan mejor el uso del protocolo MPLS por esta razón se determinó en diseñar un banco de pruebas de enrutamiento de MPLS que mediante interconexiones heterogéneas, se podrá comprender mejor casos

reales y en que capa funciona en el Modelo OSI, no solo en emuladores o simuladores de redes, a su vez la mejora de los ordenadores para la ejecución óptima del emulador GNS3 y sus herramientas.

1.3 Alcance

El emulador GNS3 permite probar, configurar, visualizar y solucionar problemas del entorno de una red. Brinda las herramientas adecuadas para emular enrutamiento y conmutación con Cisco IOS y otros proveedores, así como también incorporar tanto máquinas virtuales como reales y conectarlas.

Los estudiantes a obtener experiencia generaran un beneficio en su desenvolvimiento en el campo laboral al ser protocolos que normalmente empresas grandes ya están usando y favorecerá el poder realizar prácticas con emuladores mucho más completos.

Siendo MPLS uno de los grandes avances en telecomunicaciones, por motivo es la más utilizada por los distribuidores de internet, es la perfecta solución a las necesidades de conectividad y seguridad de una empresa, este tipo de redes están cada vez más extendidas ya que son clave en la seguridad en telecomunicaciones a la hora de conectar varias sedes de una empresa de forma eficaz y segura.

El equipo implementado tiene varias máquinas virtuales para que los estudiantes puedan utilizar individual o grupal de forma remota utilizando los recursos del Workstation, evitando problemas con la instalación en los ordenadores de los estudiantes, todo esto lo brindara las máquinas virtuales dado como opción incluso poder realizar las prácticas desde una Tablet. El docente se ahorra 1 día en caso de guiar a los estudiantes en la instalación, en tal virtud el alumno va a realizar las guías de prácticas sin inconvenientes.

1.4 Delimitación

1.4.1 Espacial

Laboratorio de telecomunicaciones con la modalidad de conexión remota, permite que el estudiante pueda establecer una conexión punto a puntos con las máquinas virtuales que administrara del Hyper-V desde el Windows Server 2012R2 para la realización de las prácticas propuestas en el emulador GNS3.

1.4.2 Temporal

El Periodo de realización del proyecto fue de 6 meses, se consideró las especificaciones técnicas, compatibilidad del hardware y sistema operativo necesarios para el funcionamiento óptimo durante la realización de las prácticas propuestas.

1.4.3 Sectorial e institucionalmente el trabajo

El Workstation estar ubicado en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil así el docente accede a la cuenta de administrador del Workstation y a su vez facilita el monitoreo de las actividades del estudiante en las máquinas virtuales proporcionándole un mejor soporte en el desarrollo del aprendizaje.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivos general

Diseñar e implementar un banco de pruebas empleando el protocolo MPLS enfocado al funcionamiento de la interconexión de redes heterogéneas, usando emulador GNS3.

1.5.2 Objetivos específicos

- Analizar la capacidad del servidor con respecto a la capacidad de los equipos del laboratorio de telecomunicaciones para elaborar el diseño del banco de pruebas.
- Analizar las tecnologías de virtualización para una comparación con respecto al desempeño en el proceso de simulación.
- Configurar la comunicación del servidor a los equipos del laboratorio de telecomunicaciones.
- Implementar el protocolo MPLS con el emulador GNS3 en el servidor virtualizado.
- Diseñar e implementar un banco de pruebas empleando el protocolo MPLS con 10 prácticas.

Marco teórico

2.1 MPLS

MPLS (Multiprotocol Label Switching), o Conmutación de Etiqueta Multiprotocolo, es una tecnología de tráfico de datos relativamente nueva, desarrollada para solucionar un gran porcentaje de los problemas que existen en el reenvío de paquetes de datos para la comunicación entre dispositivos sobre infraestructuras de transmisión heterogéneas (Tapasco, 2008).

MPLS opera entre las capas 2 y 3 del modelo OSI, fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para función de las redes basadas en circuitos y las basadas en paquetes. Puede transportar tanto tráfico de voz como de datos (Tapasco, 2008).

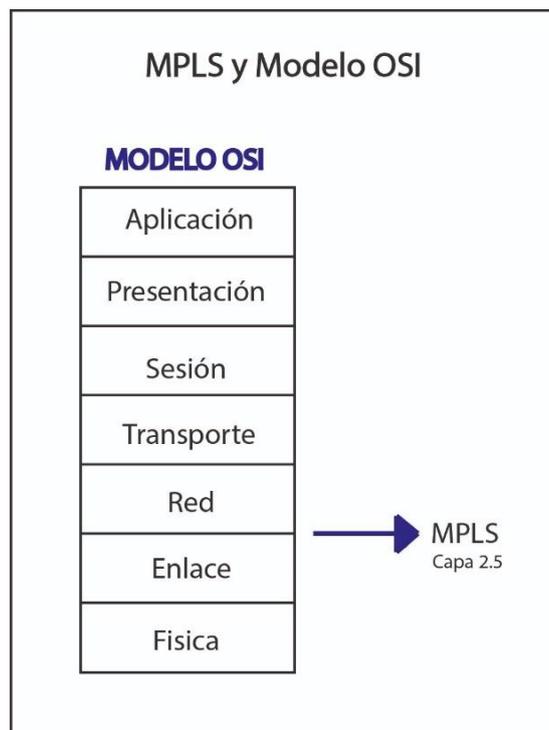


Figura 2.1. Modelo OSI con MPLS.

La principal función es estandarizar una tecnología base que integre el intercambio de etiquetas durante el reenvío de paquetes con el método de enrutamiento actual de redes (Tapasco, 2008).

Entre las características principales se encuentran las siguientes (Barberá, 2000):

- Funciona sobre redes heterogéneas.
- Soporta el envío de paquetes como Unicast y Multicast.
- Permite el crecimiento de una organización.
- Compatibilidad con los procedimientos de operación, administración y mantenimiento de las redes IP actuales.

2.2 Elementos de una Red MPLS

2.2.1 FEC (Clase de equivalencia de reenvío)

Tráfico que se encamina bajo una etiqueta. Conjunto de paquetes tratados del mismo modo por el conmutador (MPLS, 2020).

2.2.2 LSP (Etiqueta de ruta conmutada)

Ruta MPLS establecida entre los extremos, de forma unidireccional (MPLS, 2020).

2.2.3 LDP (Protocolo de distribución de etiquetas)

Protocolo que permite a los nodos MPLS descubrirse y establecer comunicación entre sí, para informarse del valor y significado de las etiquetas que serán utilizadas en sus enlaces contiguos (MPLS, 2020).

2.2.4 LER (Enrutador de borde de etiquetas)

Elemento que inicia o termina un camino MPLS (MPLS, 2020).

2.2.5 LSR (Enrutador de conmutación de etiquetas)

Elemento que se ubica al interior de la red MPLS, y que efectúa el encaminamiento de alto rendimiento del paquete, es decir, lee la etiqueta, la busca en su tabla de encaminamiento, y lo envía por el camino predefinido (MPLS, 2020).

2.2.6 LIB (Base de información de etiquetas)

Donde se guardan todas las etiquetas asignadas por este LSR y las correspondencias de esas etiquetas a otras recibidas desde algún LSR vecino, relaciona la “interfaz de entrada – etiqueta de entrada” con “interfaz de salida – etiqueta de salida” (Tapasco, 2008).

2.2.7 FIB (Base de información de reenvío)

Es la tabla de rutas del router, se actualiza automáticamente a petición de los protocolos de routing (Felici, 2009).

2.2.8 LFIB (Base de información de reenvío de etiquetas)

Es la tabla que asocia las etiquetas con los destinos y la interfaz de salida en el router, indicándole al router lo que tiene que hacer tanto como poner o quitar etiqueta (Felici, 2009).

2.2.9 PHP (Penúltimo salto de salto)

Radica en quitar la etiqueta MPLS cuando se conoce que el siguiente router no demanda una etiqueta por estar la red directamente conectada a él o ser el final del circuito virtual (Felici, 2009).

2.3 Función de los routers en una red MPLS

2.3.1 Customer Edge (CE) Routers

Se encuentran afuera de los límites de la red MPLS y se conectan a la red del cliente a través del dispositivo PE. Los routers CE pertenecen a un VRF (López , 2015).

2.3.2 Provider Edge (PE) Routers

Son dispositivos que se encuentran en dentro de borde de la red MPLS y se conectan a los enrutadores de borde del cliente representado como CE (López , 2015).

2.3.3 Provider (P) Routers

Pertenecen a los enrutadores en la parte central también conocida como MPLS CORE y se crean una ruta conmutada de etiquetas.

Cada VPN está relacionada con una o más instancias de ruteo/reenvío virtual conocida como VRF.

2.3.4 Virtual Routing and Forwarding (VRF)

El VRF o Enrutamiento Virtual Y Reenvío es una tecnología que permite que un enrutador ejecute más de una tabla de enrutamiento simultáneamente. Además, dichas tablas son completamente independientes (Carisio, 2018).

Se puede visualizar un servicio de datos para la “Empresa A” y telefónica para la “Empresa B” mediante una comunicación VRF para interconectar en la red MPLS (Inaquiza Orozco, 2019).

Lo que permite reutilizar el espacio de direcciones IP entre múltiples dominios o clientes, ya que el enrutador PE mantiene una tabla de enrutamiento distinta para cada VRF que es distribuido a cada CE (Inaquiza Orozco, 2019).

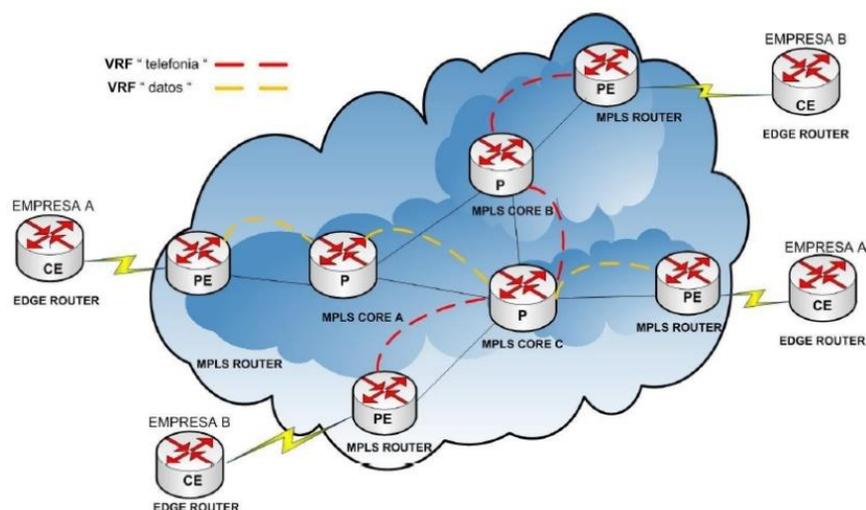


Figura 2.2. Topología de una red MPLS VPN.

Fuente: (Inaquiza Orozco, 2019).

2.4 Arquitectura de una red MPLS

2.4.1 BACKBONE IP/MPLS

Red principal que se refiere a las redes de transporte de tráfico dedicado a implementar un escenario en el que se interconectan las distintas sedes de un mismo cliente (Tapasco, 2008) (Uceda, s.f.).

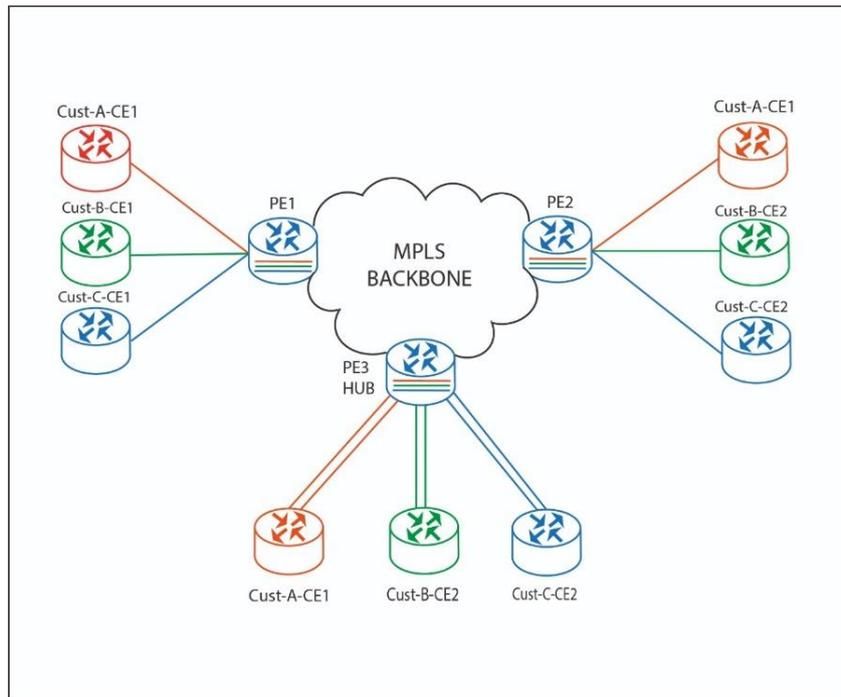


Figura 2.3. MPLS BACKBONE.

2.4.2 MPLS-VPN

Se implementa un escenario de BACKBONE MPLS compartido por múltiples clientes, cada uno de ellos considerando la infraestructura del operador como una red WAN de interconexión entre sus sedes sin visibilidad de las sedes que otro cliente pueda tener en dicha Infraestructura, funcionalidad VRF (Virtual Routing Forwarding) (Uceda, s.f.).

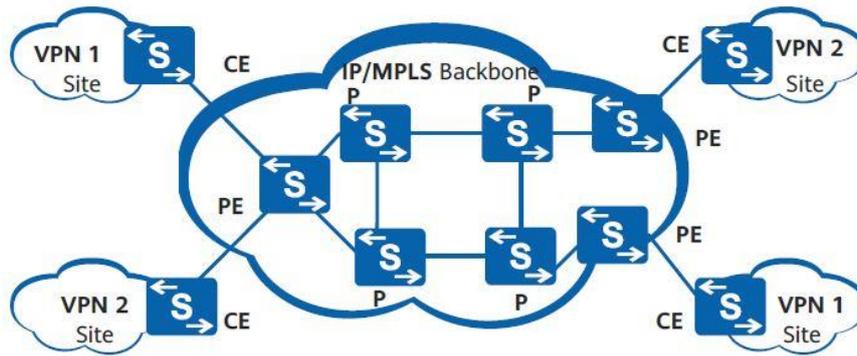


Figura 2.4. MPLS VPN.

Fuente: (Huawei Enterprise, 2020).

2.4.3 MPLS LDP

Intercambio de las etiquetas MPLS entre routers con el protocolo de distribución de etiquetas o LDP (Label Distribution Protocol) (Uceda, s.f.).

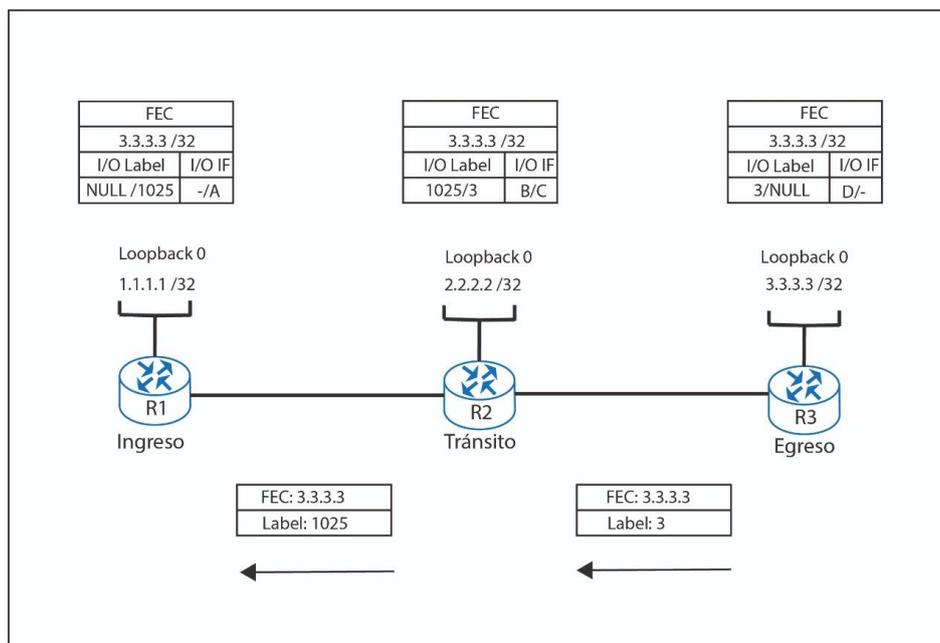


Figura 2.5. MPLS LDP.

2.5 Funcionamiento de una red MPLS

En MPLS una parte muy importante es el de LSP (Label Switched Path) o Camino de Rutas por Etiqueta, radica en la elaboración de rutas de tráfico a través de la red, basadas en los criterios FEC (Forward Error Correction) o Clases de Equivalencia de Reenvíos, y utilizando, primordialmente, LDP (Label Distribution Protocols) o Protocolos de Distribución de Etiquetas (MPLS, 2020).

El LDP, posibilita a los nodos descubrirse y establecer un camino a través de la red MPLS, con el propósito de informarse del valor y significado de las etiquetas que serán utilizadas en sus enlaces adyacentes (MPLS, 2020).

Los nodos MPLS, intercambian información sobre la topología de la red mediante los protocolos de encaminamiento estándar, tales como OSPF (Open Shortest Path First), RIP (Routing Information Protocol) y BGP (Border Gateway Protocol), a partir de los cuales construyen tablas de encaminamiento (MPLS, 2020).

Una vez construidas las tablas donde indican la dirección IP del siguiente salto al nodo que al será enviado el paquete para que pueda alcanzar su meta a llegar, se crearan las etiquetas MPLS, como resultado los LSP o Caminos de Rutas por Etiquetas perseguirán los paquetes (MPLS, 2020).

El LER enviará el paquete a un LSR (Label Switching Routers) o Router de Conmutación de Etiquetas, que se encuentran en el núcleo de la red MPLS para efectuar encaminamiento de alto rendimiento basado en la conmutación por etiqueta (MPLS, 2020).

Cuando le llega un paquete a una interfaz del LSR, éste lee el valor de la etiqueta de entrada de la cabecera MPLS, busca en la tabla de conmutación la etiqueta e interfaz de salida, y reenvía el paquete por el camino predefinido escribiendo la nueva cabecera MPLS. Si un LSR

detecta que debe enviar un paquete a un LER, extrae la cabecera MPLS, pues como el último LER no conmuta el paquete, se reducen así cabeceras innecesarias (MPLS, 2020).

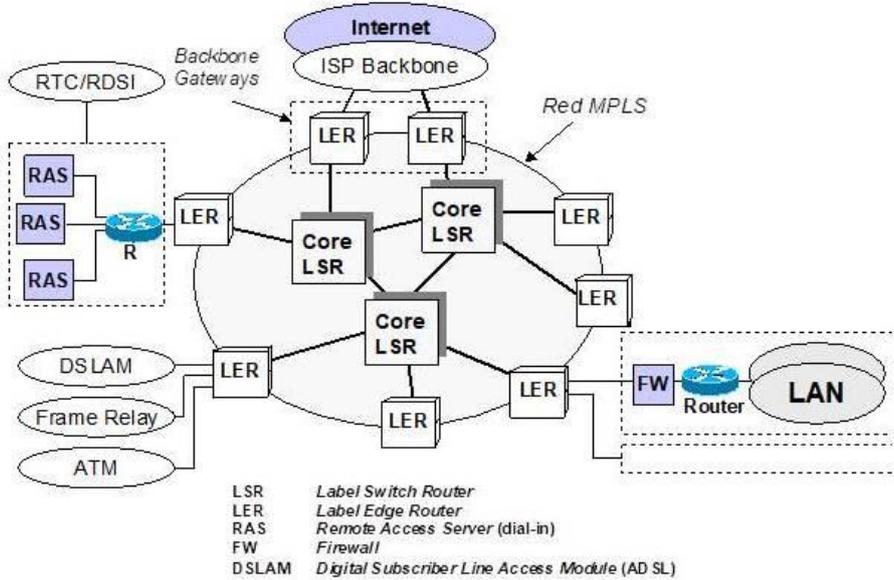


Figura 2.6. Arquitectura de una red MPLS.

Fuente: (Tapasco, 2008).

2.6 Etiquetamiento de una red MPLS

De forma simplificada en la router A y B se explica el funcionamiento del MPLS utilizando tablas LIB, LIFIB, y FIB (Felici, 2009).

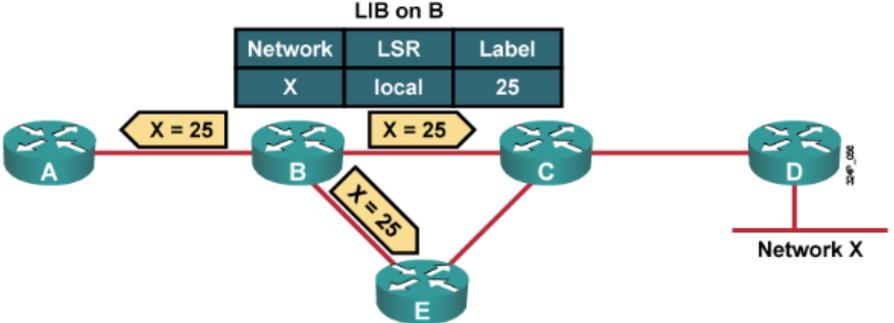


Figura 2.7. Etiquetamiento y rutas del router B, hacia sus adyacentes.

Fuente: (Felici, 2009).

Se observa que la red x es notificada por el router D y el router B la tiene en su tabla de rutas. Para ese destino, el router B elige una etiqueta, en concreto la 25 y envía su decisión a los routers vecinos A, E, y C respectivamente por LDP. La asociación realizada queda registrada en la tabla LIB del router B. Ahora, cuando el router A tenga que enviar a la red X, el router A encapsulara el paquete dirigido a X en una trama MPLS con etiqueta 25, dado que B sabe qué hacer con dicha etiqueta (Felici, 2009).

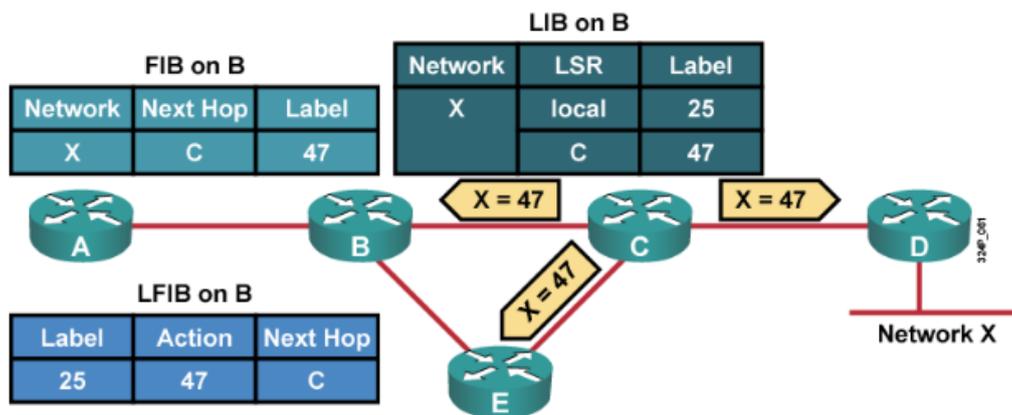


Figura 2.8. Etiquetamiento y rutas del router C, hacia sus adyacentes.

Fuente: (Felici, 2009).

Una vez que se tiene las tablas inicializadas, FIB, LIB y LFIB en el router B, cuando llegue un paquete del router A con etiqueta 25, el router B sabe que tiene que cambiar la etiqueta a 47 consultando la tabla LFIB y conmutar, es decir sacarla por la interfaz que conecta con el router C (Felici, 2009).

2.7 Enrutamiento Convencional

El reenvío tradicional de paquetes que realiza la Capa de Red, confía en la información que le proveen los protocolos de enrutamientos tales como OSPF o BGP o a las rutas estáticas configuradas en cada router, para tomar la decisión de reenvío entre los mismo, es decir, que la decisión de reenvío está basada única y exclusivamente en la dirección IP de destino. Todos los paquetes para el mismo destino siguen el mismo camino a través de la red si no existen otros caminos de igual costo hacia un mismo destino, los paquetes podrían tomar uno solo o

ambos, pero este último traerá como consecuencia la degradación en la velocidad debido al proceso de balanceo de cargas entre caminos (Tapasco, 2008).

2.8 Border Gateway Protocol (BGP)

Unas de las características de BGP son los atributos de PATH que están asociados con cada red para el control de las políticas de enrutamientos, las políticas se aplican modificando la selección de la mejor trayectoria para cada prefijo de red anunciada, se envía a los routers BGP vecinos y la instala en la tabla de reenvío. Mediante algoritmos que determinan el mejor prefijo como camino de entrada o salida. (Introduccion a BGP).

PATH de “entrada” de BGP (Introduccion a BGP):

- Recibe información de trayectoria de sus enrutadores pares.
- El resultado de la selección de trayectoria de BGP se coloca en la tabla de rutas de BGP.
- Se marca la “mejor trayectoria”.

PATH de “salida” de BGP (Introduccion a BGP):

- Anuncia “mejor trayectoria” a sus pares.
- Las mejores trayectorias se instalan en la tabla de reenvío si: el prefijo y su longitud son únicos.
- Tienen la menor “distancia al destino” desde el punto de vista del protocolo.

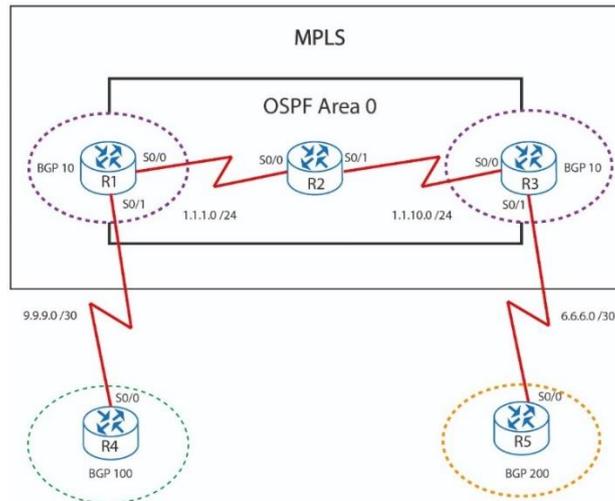


Figura 2.9. Topología de una red MPLS BGP.

2.9 Open Shortest Path First (OSPF)

Responde rápidamente a los cambios de red, enviar actualizaciones activadas cuando se produce un cambio de red. Está diseñado para aceptar crecimientos en la red y poder difundir la información de encaminamiento de manera rápida, seleccionando siempre el camino o ruta más corta para envío de paquetes de datos. Distribuyendo información entre routers que pertenecen al mismo sistema autónomo o área (Mier Ruiz & Mier Ruiz, 2008).

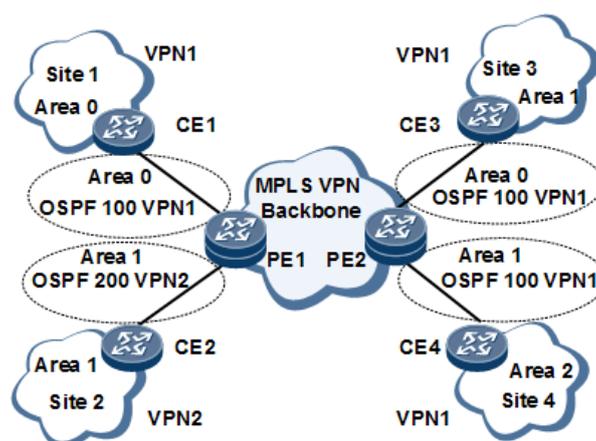


Figura 2.10. Topología de una Red MPLS OSPF.

Fuente: (Huawei Enterprise, 2020).

2.10 Ingeniería de Tráfico

La finalidad de la ingeniería de tráfico es adaptar los flujos de tráfico a los recursos físicos de la red, es decir optimizando la utilización de los recursos disponibles de manera que no haya unos sobre utilizados con posibles puntos calientes y cuellos de botellas, mientras otros estén subutilizados. Se pretende prever calidad de servicio garantizada, buen uso de los recursos de la red distribuyendo el tráfico de forma equitativa entre los enlaces y facilidad de recuperación dinámica antes fallas en enlaces o nodos (Tapasco, 2008).

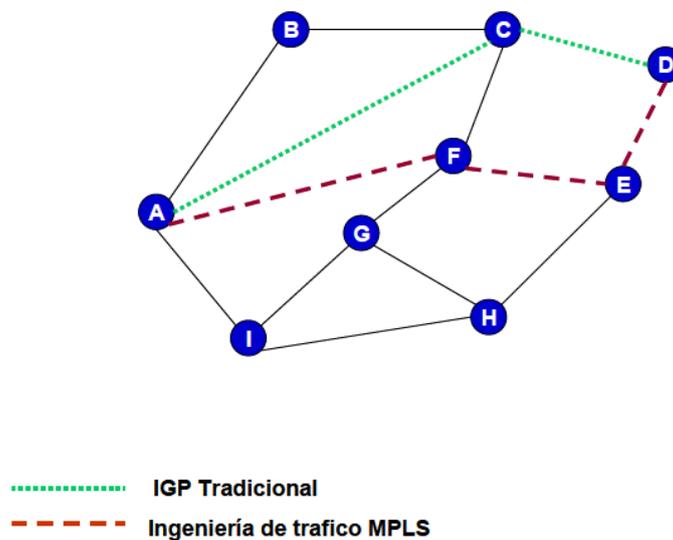


Figura 2.11. Comparación entre IGP y MPLS.

Fuente: (Tapasco, 2008).

La ruta más corta es entre el nodo A y el nodo D según el algoritmo de IGP tradicional, debido a que solo realiza dos saltos, a consecuencia puede haber un exceso de tráfico sobre este enlace, presentando posibles problemas de enlace ya que esto hace que un LSP deje de funcionar, dado ello la ingeniería de tráfico MPLS hace aconsejable la utilización de un camino alternativo indicando con un salto más, así como resultado evitando que la comunicación se interrumpa (Tapasco, 2008).

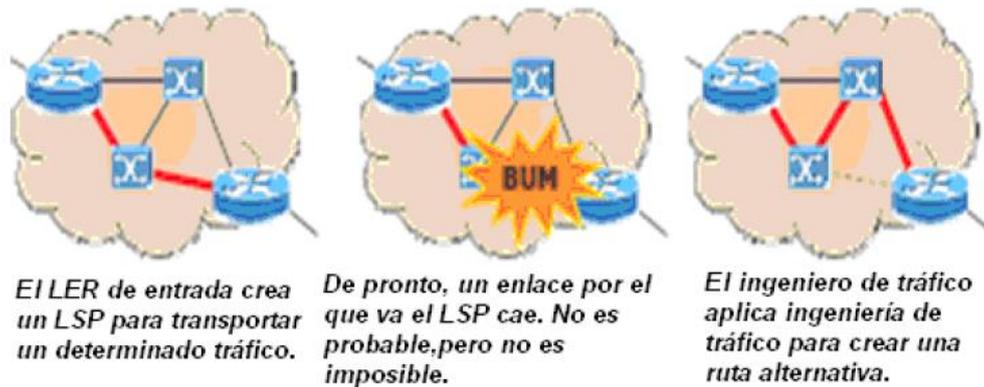


Figura 2.12. Caso de posible falla en un enlace y solución.

Fuente: (Tapasco, 2008).

Siempre es una buena opción cambiar los pesos de los caminos, teniendo en cuenta las entradas y salidas del router para evitar una saturación lo más recomendado es que solo tenga una entrada y una salida, es decir solo dos interfaces (Tapasco, 2008).

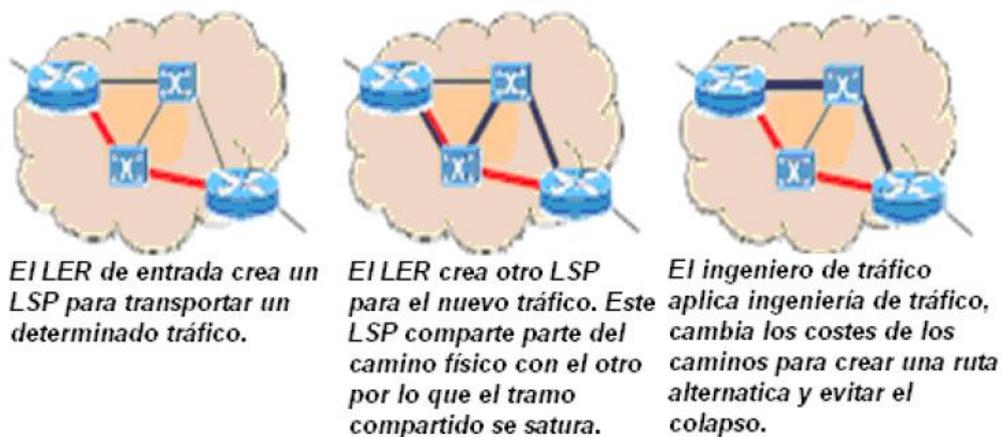
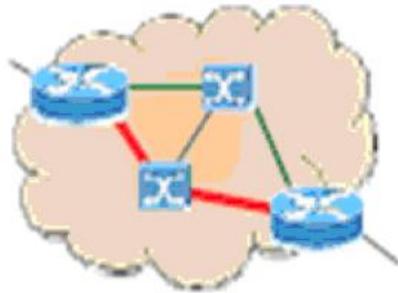


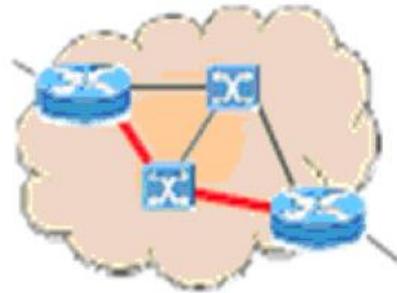
Figura 2.13 Cambio de los pesos de los caminos para el routing.

Fuente: (Tapasco, 2008).

Cuando se es requerido que cierto tráfico fluya por un LSP definido, siempre dado prioridad a una conexión por fibra óptica (Tapasco, 2008).



El LER de entrada puede crear dos LSP, el verde (cobre) y el rojo (fibra óptica).



El ingeniero de tráfico elige el rojo (fibra óptica) porque el tráfico es muy importante.

Figura 2.14. Seleccionar LSP por eficiencia de ruta.

Fuente: (Tapasco, 2008).

Marco metodológico

3.1 Metodología explicativa

Se empleó el método estudio explicativo debido a que implica capacidad de análisis, síntesis y la interpretación de comando de los protocolos, contribuyendo al desarrollo del conocimiento.

3.2 Investigación tecnológica

Para la adquisición del Workstation se analizó cada uno de los recursos requeridos para el funcionamiento del proyecto, por ello se estableció un mínimo de 96 Gb de RAM y para optimizar el funcionamiento del sistema operativo se agregó un disco de estado sólido de 1 Tera, donde este recurso será distribuido para el funcionamiento óptimo cada una de las máquinas virtuales.

También se analizó que la placa del Workstation disponga de la característica de virtualización de hardware, generalmente se llama VMX, VT o Tecnología de virtualización Intel, que cuenta con funciones que permite abstraer de forma total las características técnicas de los procesadores Intel para las máquinas virtuales administradas por el Hyper-V.

3.3 Primera etapa: Escenario para prácticas

Se diseñó un escenario para las prácticas de forma que el alumno pueda conectarse remotamente vía Internet utilizando los recursos del Workstation para poder realizar las 10 prácticas propuestas en el emulador GNS3. El docente administrara las máquinas virtuales a utilizar por los alumnos desde el Hyper-V.

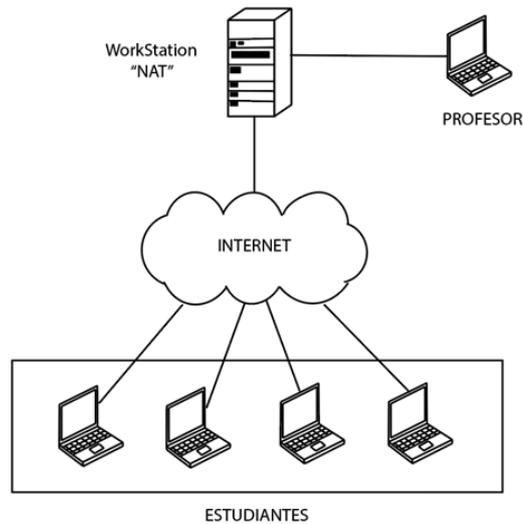


Figura 3.1. Escenario para prácticas.

3.4 Segunda etapa: Instalación de software y sistema operativos

Se instaló el sistema operativo Windows Server 2012R2 datacenter, añadiendo así los roles y características del servidor, para que el Hyper-V administre las máquinas virtuales con sistema operativo de Windows 8 y el emulador GNS3 con sus imágenes de Cisco IOS, para el acceso se implementó AnyDesk como método remoto para que cualquier estudiante pueda establecer una conexión punto a punto con las máquinas virtuales.

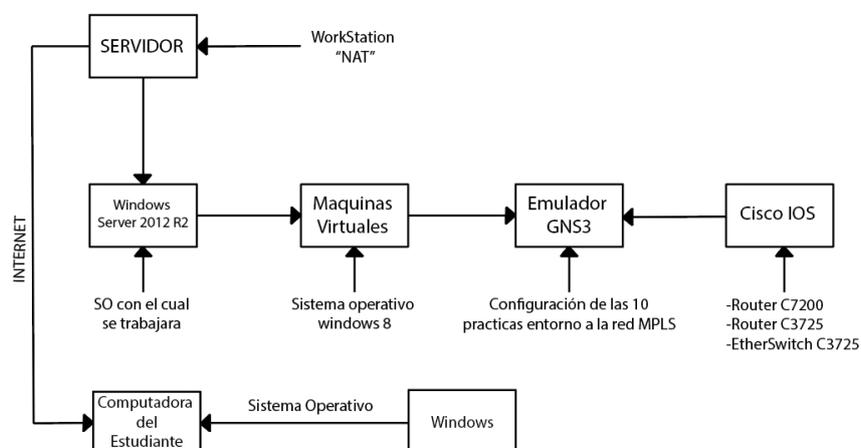


Figura 3.2. Diagrama de bloques.

En la figura 3.3 se muestra la ventana de la instalación del sistema operativo Windows Server 2012R2 en el Workstation.

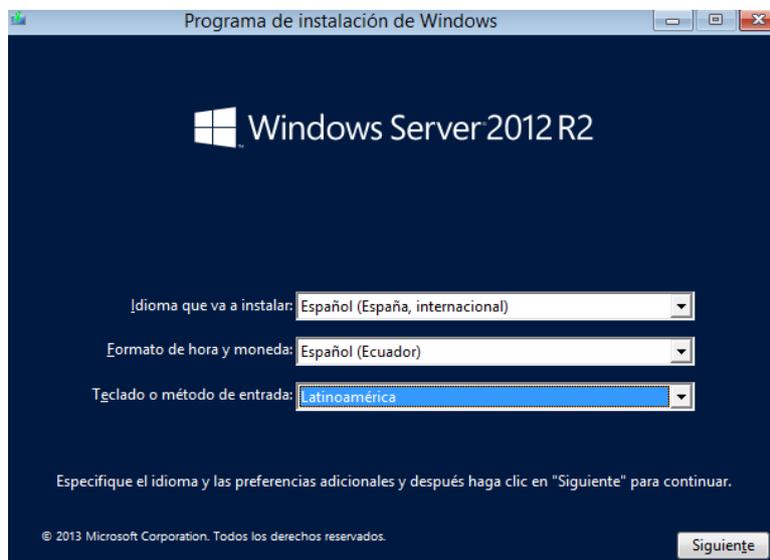


Figura 3.3. Instalación de Windows Server 2012R2.

En la figura 3.4 se muestra la ventana de configuración, creación de las credenciales del administrador para el uso del docente.

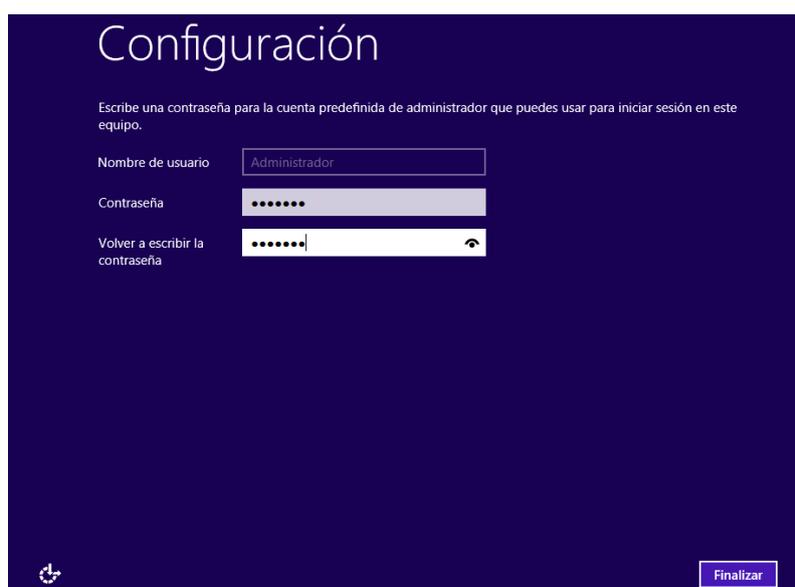


Figura 3.4. Credenciales de administrador.

En la figura 3.5 se muestra la actualización recomendada en el sistema operativo para evitar tener ningún tipo de problemas de compatibilidad con los programas a utilizar.

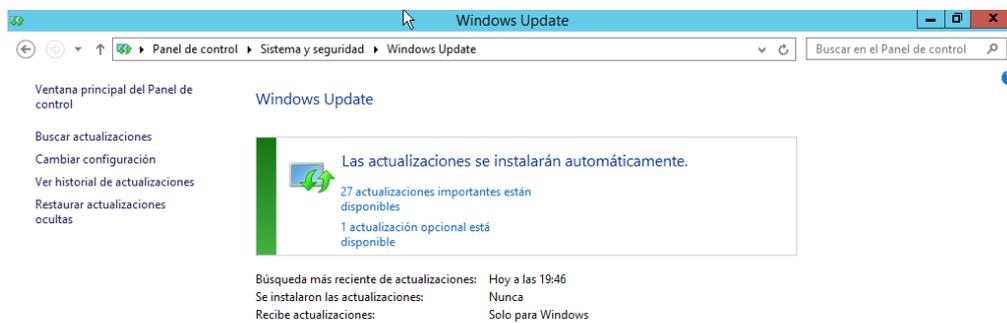


Figura 3.5. Actualizar el windows update.

En la figura 3.6 se muestra el panel de administrador del servidor nos suministra de una manera general información del estado del servidor.

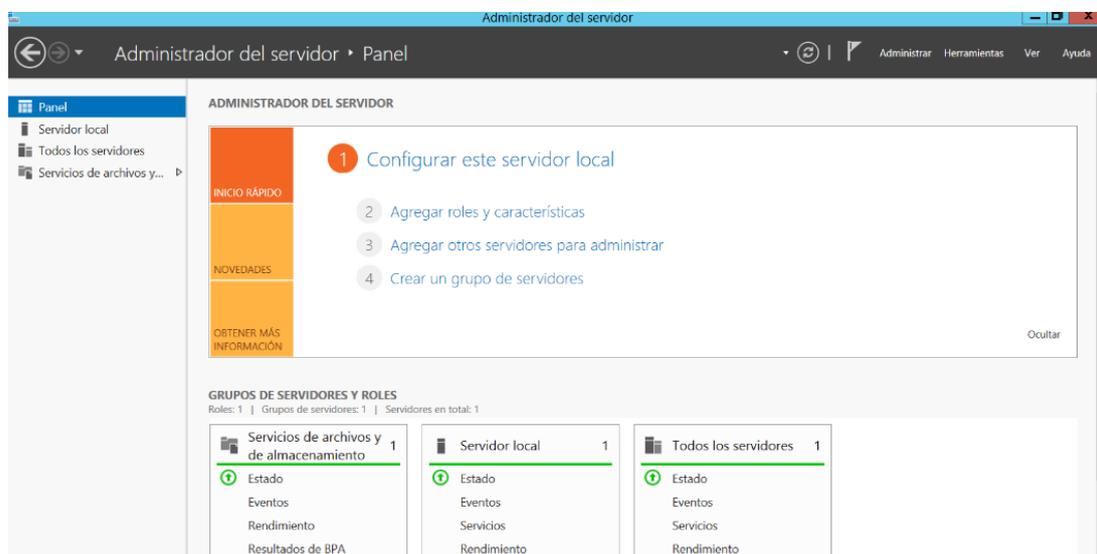


Figura 3.6. Panel de administrador.

En la figura 3.7 se muestra la activación de las características de virtualización de Hyper-V, función en la cual será la administración las máquinas virtuales.

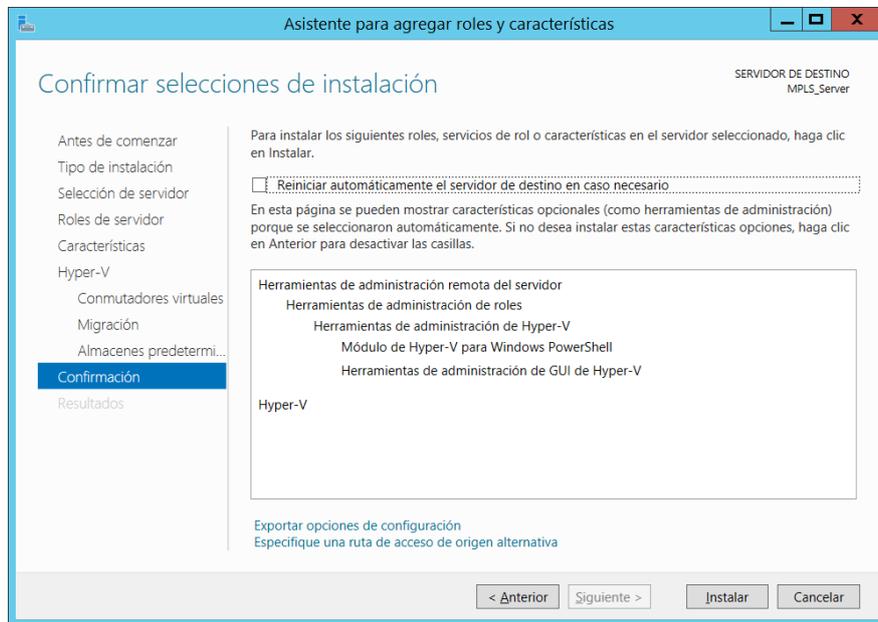


Figura 3.7. Instalación de Hyper-V.

En la figura 3.8 se muestra los grupos de servidores y roles representados como tarjetas donde podemos ver el estado de los roles y características instalados en el Workstation incluyendo Hyper-V que ya se muestra habilitado en el panel del administrador del servidor.

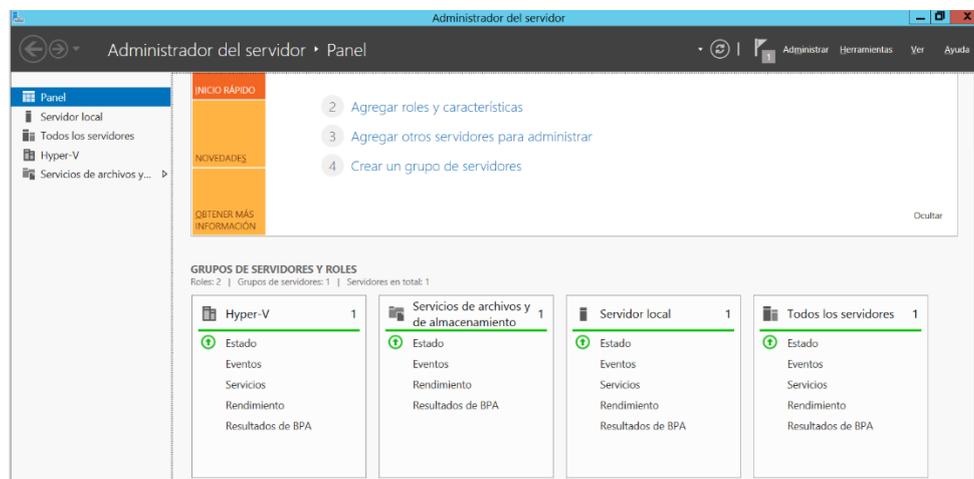


Figura 3.8. Grupos de Servidores y Roles.

En la figura 3.9 se muestra el administrador de Hyper-V que maneja la creación de máquinas virtuales para el uso de los alumnos.

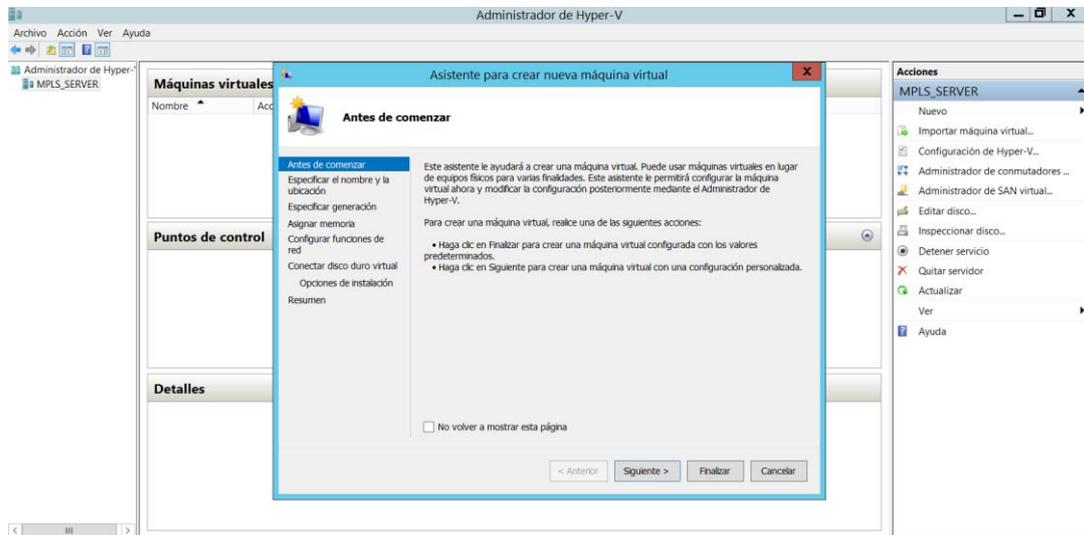


Figura 3.9. Asistente del Hyper-V.

En la figura 3.10 se muestra la instalación de sistema operativo Windows 8 Pro en la máquina virtual.

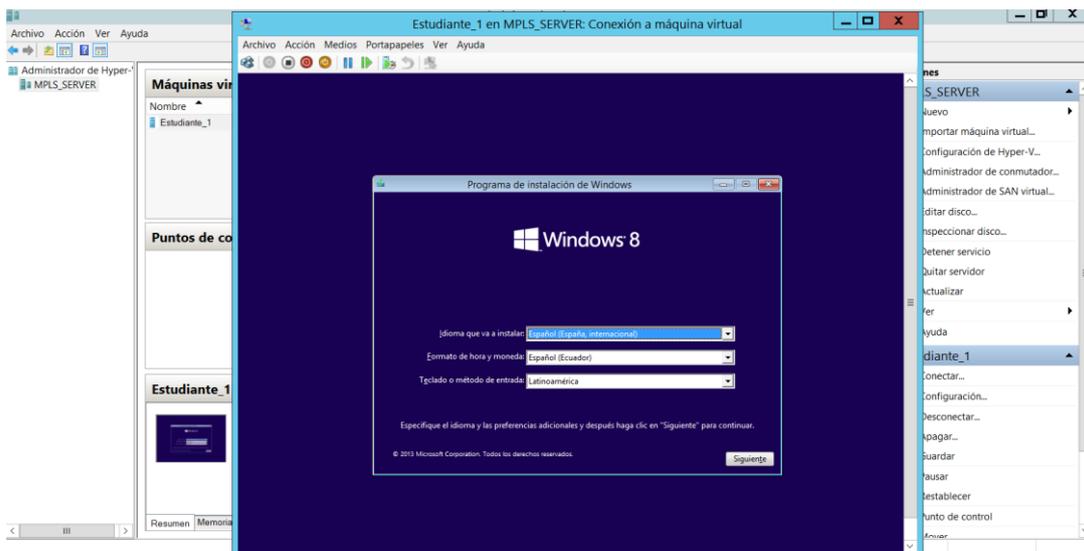


Figura 3.10. Máquina virtual.

En la figura 3.11 se muestra los pasos de instalación y uso del software AnyDesk para emplear una conexión remota a las máquinas virtuales.

Inicia con AnyDesk en 3 pasos:



Da doble click en el archivo descargado de AnyDesk y AnyDesk iniciará de inmediato.



Ingresa el ID o el Alias del dispositivo remoto en el campo "Otro puesto de trabajo".



Da click en el botón verde "Conectar" y disfruta de nuestra rápida y simple solución de software remoto.

Figura 3.11. Iniciar con AnyDesk.

Fuente: (AnyDesk, 2021).

En la figura 3.12 se muestra el establecimiento de una conexión punto a punto desde la máquina virtual administrada por el Hyper-V al computador del alumno.

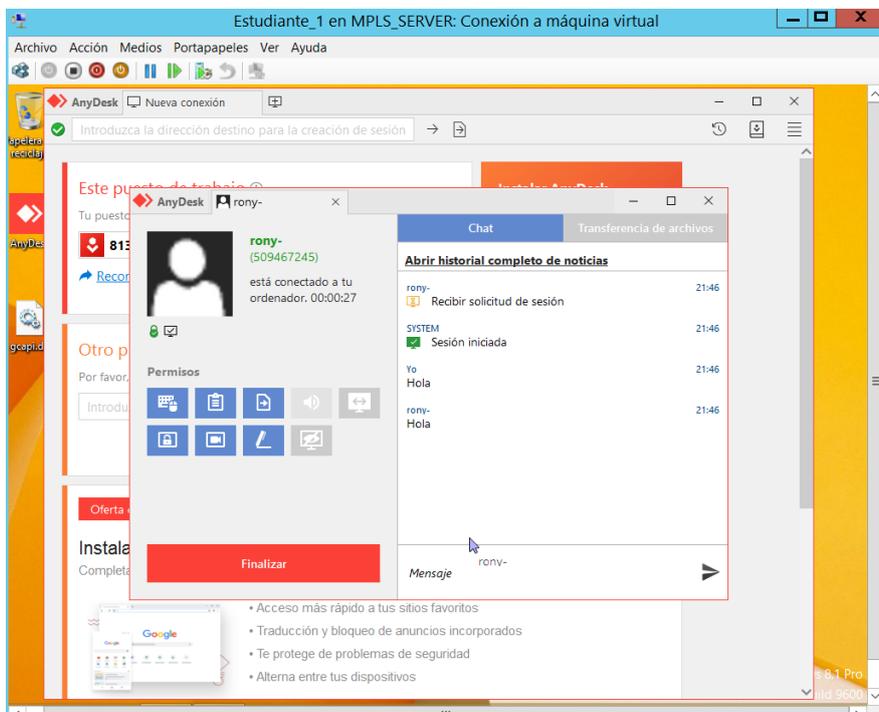


Figura 3.12. Conexión punto a punto.

3.5 Tercera etapa: Instalación de componentes de GNS3

Después se procede a instalar las imágenes cisco IOS al GNS3 y configurar EtherSwitch y routers para utilizar en las 10 prácticas propuestas en base a un entorno MPLS para el funcionamiento de la interconexión de redes heterogéneas, usando el emulador GNS3.

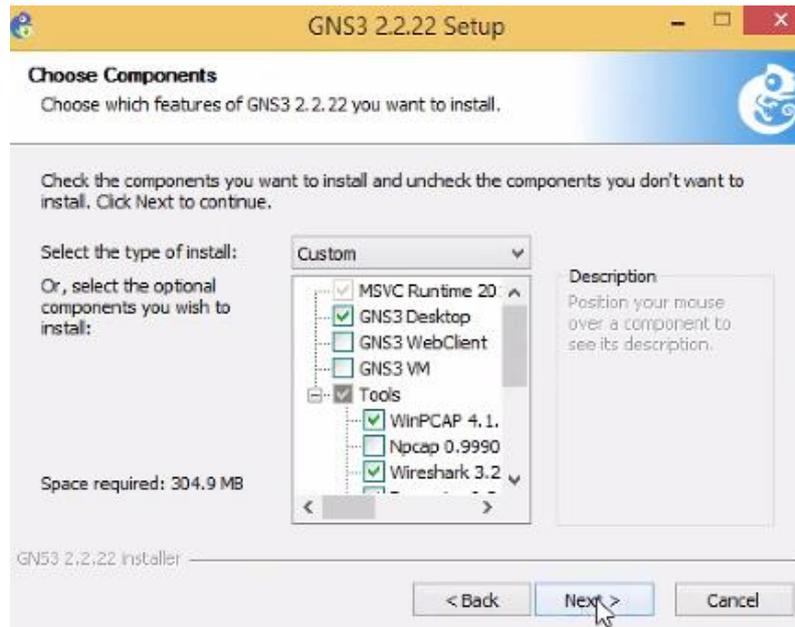


Figura 3.13. Instalación de GNS3 y Wireshark.

En la figura 3.14 se muestra el alojamiento del servidor GNS3 en la máquina virtual instalada por Hyper-V.

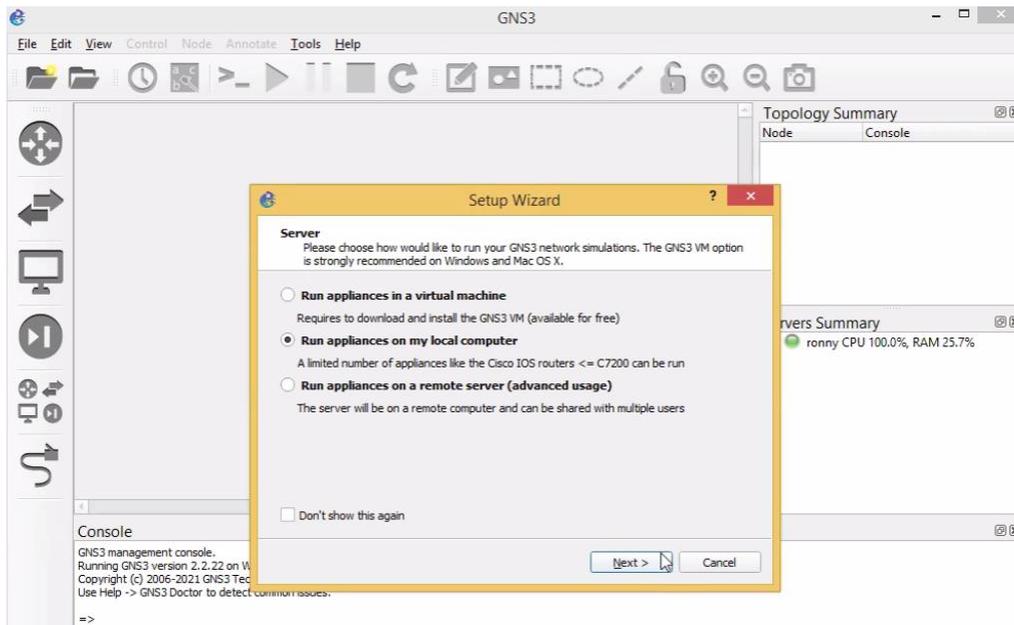


Figura 3.14. Configuración de alojamiento de equipos virtualizado.

En la figura 3.15 se muestra la configuración del servidor local con su puerto de comunicación TCP.

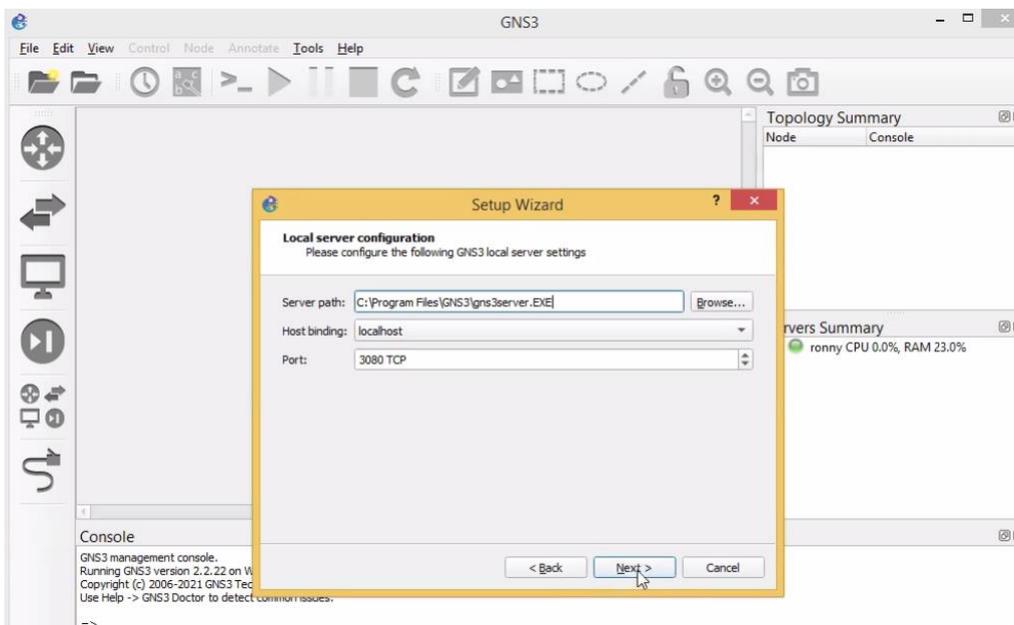


Figura 3.15. Puerto de Comunicación.

En la figura 3.16 se muestra el servidor local GNS3 ha sido instalado con éxito que nos permite utilizar los dispositivos como router, switch, VPC etc.

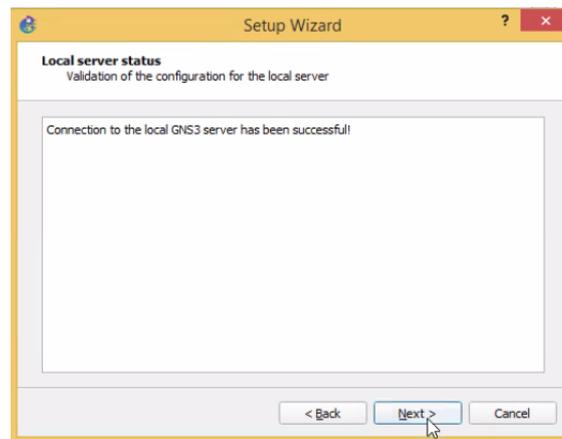


Figura 3.16. Finalización de instalación de servidor local de GNS3.

En la figura 3.17 se muestra la instalación de las imágenes CISCO IOS: Router c3725 y C7200.

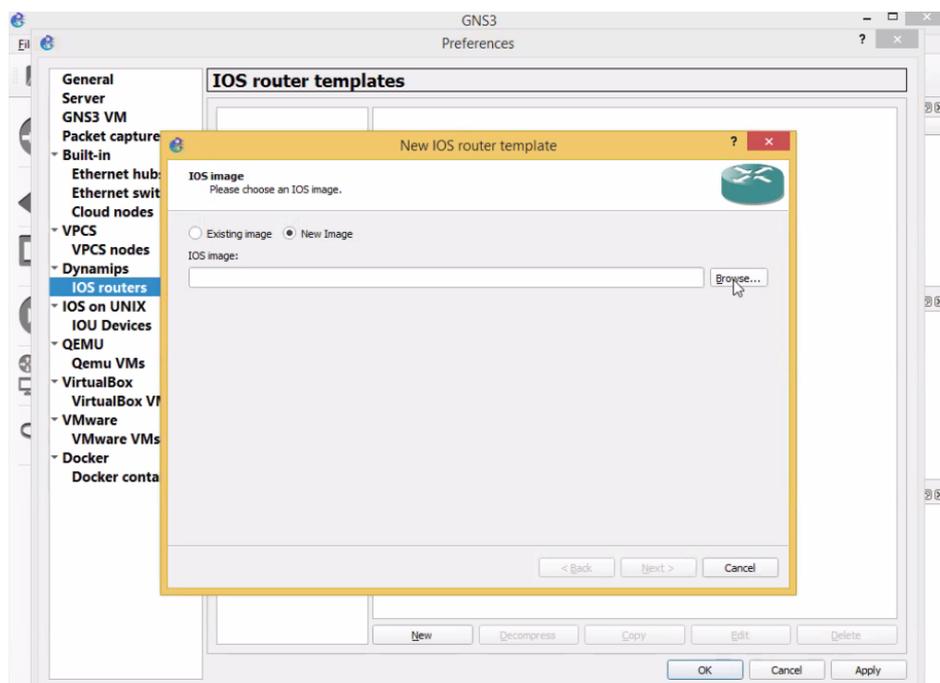


Figura 3.17. edit/preferences/IOS routers/ new.

En la figura 3.18 se muestra la compatibilidad de la imagen CISCO IOS con el emulador GNS3.

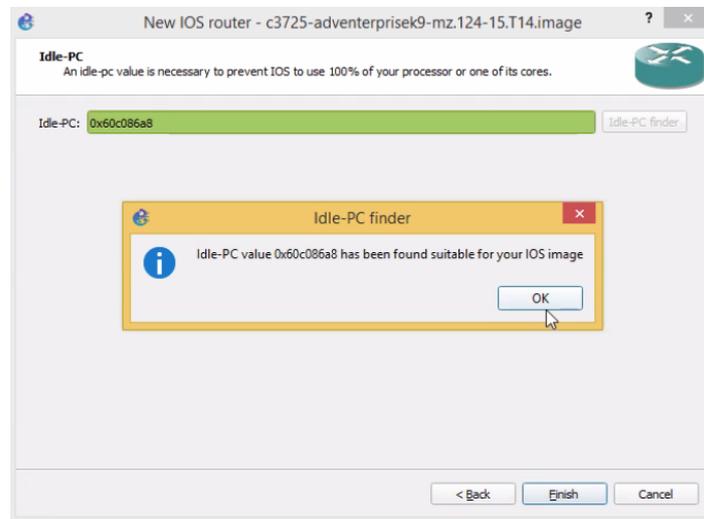


Figura 3.18. Optimización del Router.

En la figura 3.19 se muestra la configuración de imagen CISCO IOS del router c3725 como EtherSwitch.

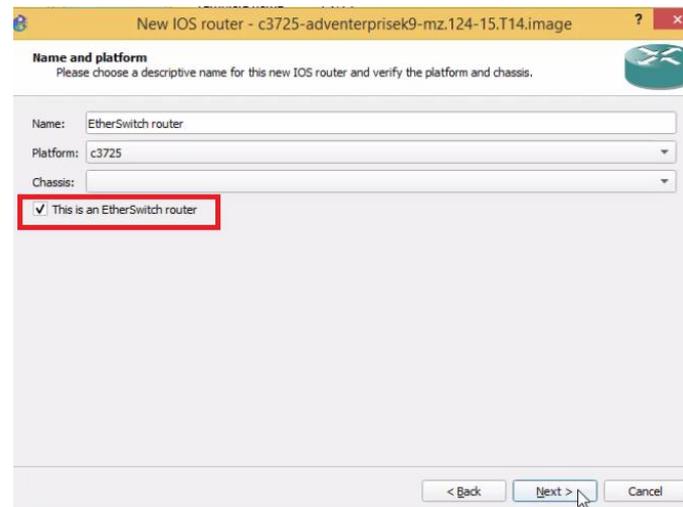


Figura 3.19. Instalación de EtherSwitch router.

En la figura 3.20 se muestra el administrador de imágenes instaladas con especificaciones a detalle de cada dispositivo instalado.

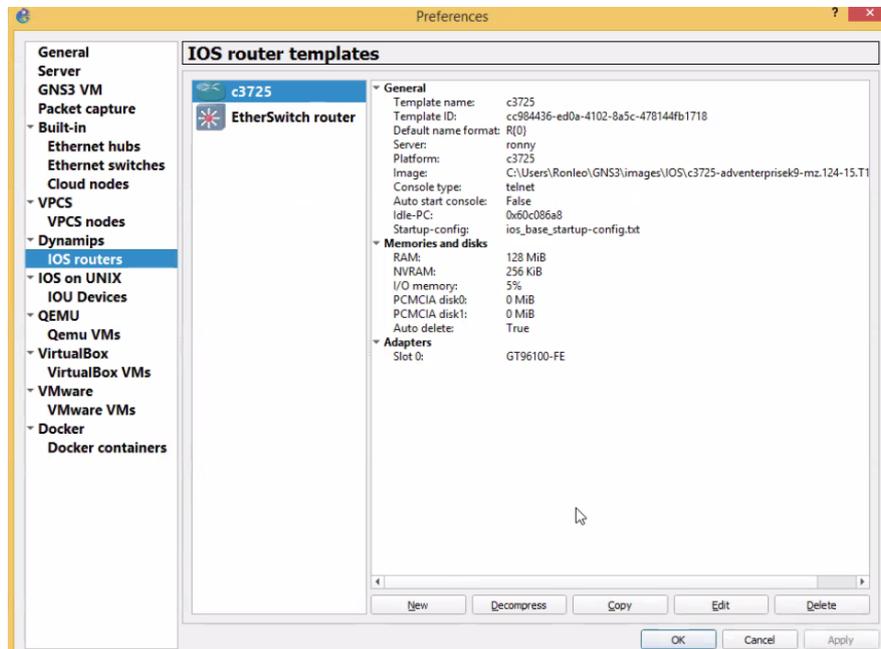


Figura 3.20. Administrador de IOS router.

En la figura 3.21 se muestra los equipos virtualizado listo para ser implementados en las prácticas propuestas a realizar.

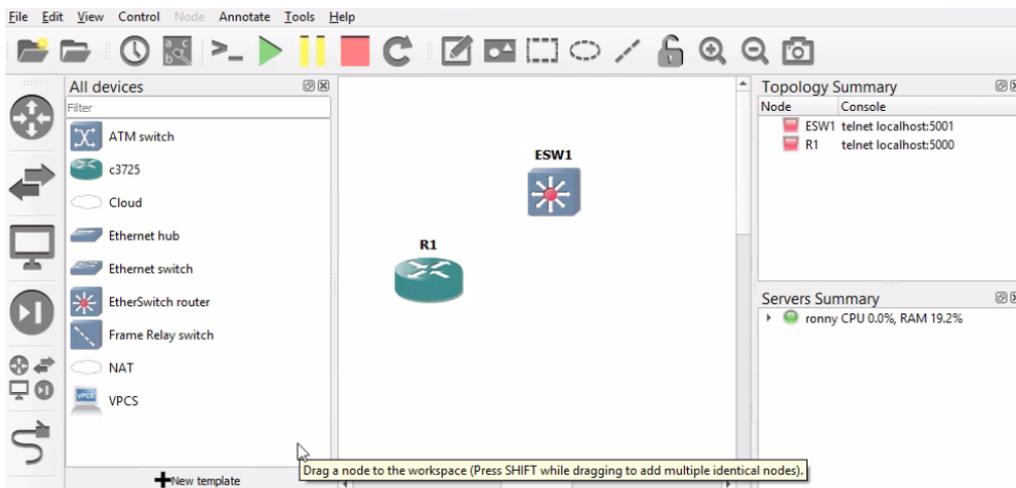


Figura 3.21. Workspace de dispositivos.

3.6 Cuarta etapa: Creación de prácticas

Se realizará la implementación de las 10 guías de prácticas basadas en el protocolo MPLS enfocado al funcionamiento de la interconexión de redes heterogéneas, para los análisis basados en la ingeniería, tomando los tipos de protocolos y decisiones exactas que puedan contribuir a un mejor desempeño de la comunicación de entrega y envío de paquete para mejorar el rendimiento de una red, así cumpliendo con el objetivo general planteado en el proyecto.

Resultados

4.1 Práctica 1

4.1.1 Configuración de MPLS en enrutamiento OSPF aplicando VRF

En la práctica 1 se estableció la tabla de enrutamiento en los routers de la topología propuesta, se habilita MPLS en el núcleo de la topología para intercambiar información con el protocolo de encaminamiento BGP mediante el protocolo OSPF, a partir de los cuales construyen tablas de encaminamiento.

Se creó el VRF para establecer una tabla de enrutamiento tanto pública como privada en el mismo router.

Se realizaron comprobaciones mediante el comando **“ping”** se obtuvieron resultados de una conectividad exitosa entre los clientes finales.

4.2 Práctica 2

4.2.1 Configuración de MPLS para adaptar el tamaño de una unidad de transmisión máxima

En la práctica 2 se asigna las direcciones desde la tabla de enrutamiento en los router de la red. El núcleo de la red está habilitado el MPLS que intercambiara información con el protocolo OSPF para detectar la ruta rápida.

Se adaptó el tamaño de una unidad de transmisión para obtener un cambio de ruta en el protocolo OSPF como resultado toma la ruta que tenga una mayor velocidad y menos saturación de tráfico aun así si esta representa la ruta más larga.

Se realizó una comprobación obteniendo los siguientes resultados: la primera realiza 4 saltos para llevar al otro cliente final, la segunda se aplicó el cambio de transmisión máxima en los router así logrando cambiar la ruta tomando ahora 5 saltos para llevar a su destino.

4.3 Práctica 3 y Práctica 4

4.3.1 Servicio de LAN privada virtual sobre una red MPLS con OSPF y EIGRP

En la práctica 3 y 4, se implementó VRF a los router PE para que obtener un servicio LAN privado, para ello se toma la tabla de enrutamiento para el levantamiento de las interfaces de los routers en la red propuesta, se procese a habilitar el multiprotocolo MPLS en el núcleo de la topología, para la red interna se asigna el protocolo OSPF y para la externa EIGRP. La comunicación entre la red externa e interna es mediante el protocolo BGP.

Se obtuvo el resultado que cada cliente final posea una tabla de enrutamiento pública y privada.

4.4 Práctica 5 y Práctica 6

4.4.1 Configuración de subinterfaces con etiquetas 802.1q (VLAN) y conexión de interfaces habilitadas para mapeo de VLAN en una red MPLS

En la práctica 5 y 6, se coloca las direcciones IP en cada router para levantamiento de las interfaces del mismo. Se habilita el protocolo OSPF para establecer la ruta más corta en la red MPLS de la topología propuesta.

Los EtherSwitch permite la creación de grupos de interfaces tales como la VLAN 10 y 20, así se puede determinar de qué grupo de trabajo pertenece cada VPC. Como resultado de la práctica se obtuvo una conexión total entre las VLANs.

4.5 Práctica 7

4.5.1 Desarrollo de red MPLS con clientes.

Se configura una red MPLS, para esto se asigna cada una de las direcciones IP a las interfaces correspondientes de cada router y a los clientes finales representados como PC1 y PC2, se activa el protocolo OSPF y LDP. El protocolo OSPF permite elegir la ruta más corta entre un router a otro y LDP asigna las etiquetas.

En el resultado de esta práctica se observa el funcionamiento adecuado de la asignación de etiquetas, la conexión entre los clientes finales en una red MPLS mediante el protocolo OSPF de la red.

4.6 Práctica 8 y Práctica 9

4.6.1 Desarrollo de red MPLS aplicando ingeniería de tráfico sin protección de nodos y con protección de nodos

Para estas prácticas 8 y 9, se configura una red MPLS, para después activar el servicio de ingeniería de tráfico, enfocándose en la optimización de tráfico de datos de la topología planteada, de que una posible ruta este obstruida buscará una nueva.

Se activa el protocolo OSPF y LDP ya que sin estos nuestra red no funcionaría de manera correcta. El protocolo OSPF permitirá elegir la ruta más corta entre un router a otro y LDP asigna las etiquetas.

Se crean los túneles para establecer las rutas entre los routers que también contarán con protección para restaurar caminos y minimizar pérdidas. Como resultado de esta práctica se observa los recursos reservados para cada túnel por el protocolo RSVP y el levantamiento de estos, así como la asignación de prioridades.

4.7 Práctica 10

4.7.1 Desarrollo de red MPLS L3VPN

Para estas prácticas 8 y 9, se configura una red MPLS y se crean los VRFs en cada uno de los nodos frontera, se configura el proceso de redistribución para que las redes de MPLS y BGP de la red central puedan establecer una comunicación con el servicio VPN de l3.

Se verifica la configuración y funcionamiento de la red MPLS utilizando los diferentes comandos y herramientas.

Análisis de resultados

5.1 Práctica 1

5.1.1 Configuración de MPLS en enrutamiento OSPF aplicando VRF

En la práctica 1 proporciona los beneficios de la ingeniería de tráfico tales como el protocolo OSPF implementado en la red MPLS otorgando un mejor rendimiento en la red y así menos números de saltos entre routers ya que toma la ruta con menos tráfico, buscando la mejor opción en cuanto rapidez para que la información llegue al destino.

La creación de VRF, permite que dos tablas de enrutamiento coexistan dentro del mismo router R1 y R3, otorgando redes privadas para R4 y R5.

5.2 Práctica 2

5.2.1 Configuración de MPLS para adaptar el tamaño de una unidad de transmisión máxima

En la práctica 2, la red MPLS posee como enrutamiento convencional el protocolo OSPF que nos ayuda a ver la mejor ruta del envío de un paquete.

Aumentando el tamaño de una unidad de transmisión máxima de las interfaces del router, el protocolo OSPF cambiara la ruta del envío de la información aun si esta representa más saltos entre router.

5.3 Práctica 3 y Práctica 4

5.3.1 Servicio de LAN privada virtual sobre una red MPLS con OSPF y EIGRP

En la práctica 3 y 4, cada PE tendrá una VPN para sus respectivos CE donde se encontrarán la LAN en cada uno de ellos a su vez ejecuta EIGRP como el protocolo de enrutamiento PE-CE y en el núcleo ejecutara MPLS-LDP con OSPF, ambos se comunicarán a través del protocolo BGP para intercambiar información de encaminamientos entre enrutadores de diferentes sistemas autónomos.

5.4 Práctica 5 y Práctica 6

5.4.1 Configuración de subinterfaces con etiquetas 802.1q (VLAN) y conexión de interfaces habilitadas para mapeo de VLAN en una red MPLS

En la práctica 5 y 6, tiene como núcleo al multiprotocolo MPLS con su enrutamiento convencional el protocolo OSPF.

Los EtherSwitch, permiten el acceso hacia las VLANs creadas, así formando grupos de interfaces, cuando están conectados entre sí, están comunicados por troncales que permite el paso del tráfico de las VLAN 10 y 20 con la encapsulación de cada una de ellas en la interfaz éntrate del router para una conectividad total.

5.5 Práctica 7

5.5.1 Desarrollo de red MPLS con clientes

En esta práctica se realizó la configuración del protocolo MPLS, añadiendo dos clientes que tendrá comunicación a través del protocolo mencionado, utilizando el protocolo OSPF para elegir las rutas de comunicación y LDP para el etiquetamiento de los datos, esto permite establecer la comunicación entre VPCs como clientes finales.

5.6 Práctica 8 y Práctica 9

5.6.1 Desarrollo de red MPLS aplicando ingeniería de tráfico sin protección de nodos y con protección de nodos.

En esta práctica 8 y 9, se desarrolla una configuración de una red MPLS que intercambiará información con el protocolo OSPF, se añade dos hosts de clientes para realizar una comunicación entre ellos, con la opción de agregar máquinas virtuales para cada uno, con las propiedades de la ingeniería de tráfico en el entorno MPLS que se enfoca en la optimización de tráfico de datos de la topología planteada, de que una posible ruta este obstruida esta buscará una nueva.

5.7 Práctica 10

5.7.1 Desarrollo de red MPLS L3VPN

En esta práctica con un esquema L3VPN se cuenta con los routers PE y CE. Se habilita el enrutamiento OSPF, la conexión en el PE se asocia a una VPN única que identificara al cliente de forma única dentro del entorno de la red MPLS.

El PE crea una tabla de enrutamiento única por cada VPN para brindar conectividad entre cada uno de los CE.

Conclusiones

Se cumplió el diseño e implementación de un banco de pruebas empleando el protocolo MPLS, enfocado al funcionamiento de la interconexión de redes heterogéneas, usando emulador GNS3.

Se ejecutó el análisis de la capacidad de implementación del servidor y sus posibles tecnologías tales como software de redes, para la realización de las prácticas en máquinas virtuales del servidor.

La configuración del servidor quedó implementado para brindarle mayor facilidad a los estudiantes al evitar tareas como las instalaciones de imágenes de routers o incluso el mismo emulador GNS3.

El servidor quedó con capacidad de soportar varias máquinas virtuales, permitiendo a los estudiantes usar los recursos del servidor.

Se optó por el acceso remoto a través del internet hacia las máquinas virtuales debido a la emergencia sanitaria.

Se diseñaron las 10 guías de prácticas del protocolo MPLS como base, usando el emulador GNS3 para que sean utilizadas por los estudiantes en las máquinas virtuales del servidor.

La tecnología MPLS se reducen los costos con menos gasto en la infraestructura, más flexibilidad, mayor rendimiento y ancho de banda.

Recomendaciones

En base a los resultados se recomienda que:

- Las 10 guías de prácticas sean implementadas en el software GNS3 con el protocolo MPLS enfocado al funcionamiento de la interconexión de redes heterogéneas, del plan de estudios de la asignatura redes de telecomunicaciones.
- El servidor sea del tipo Workstation con las especificaciones necesarias tanto hardware como software, para soportar la virtualización de varias máquinas virtuales. El hardware del Workstation puede ser expandible en caso de ser necesario.
- Se maneje un mínimo de 96GB de memoria RAM en el servidor debido a las máquinas virtuales que administra Hyper-V consumen al menos 8GB de RAM individualmente para un óptimo funcionamiento.
- Los estudiantes obtén de un buen servicio de ancho de banda para el acceso a las máquinas virtuales.
- Para maximizar el uso de los recursos del Workstation por las máquinas virtuales, las prácticas se pueden realizar de forma grupal debido a que permite que más de 1 estudiante pueda conectarse de forma remota.

Bibliografía

- Alarcón Aquino, V., & Martínez Suarez, J. (2008). *Introducción a redes MPLS*. El Cid Editor.
- Andrades, A. (2004). Impacto de la tecnología MPLS sobre infraestructuras de redes basadas en FRAME RELAY. *Télématique*, 12. Obtenido de <http://ojs.urbe.edu/index.php/telematique/article/view/1479>
- AnyDesk. (2021). *AnyDesk*. Obtenido de <https://anydesk.com/es>
- Barberá, J. (2-5 de Febrero de 2000). *Red Iris*. Obtenido de <https://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/53/enfoque1.html>
- Bonnet, N. (2014). *Windows Server 2012 R2*. Recursos Informaticos .
- Cabrera, C. (2 de Noviembre de 2019). *Info++ Inpressive*. Obtenido de <https://cesarcabrera.info/mpls-basico-introduccion/>
- Carisio, E. (2018). *Mediacloud*. Obtenido de <https://blog.mdcloud.es/vrf-que-es-y-las-ventajas-de-un-enrutamiento-virtual/>
- Castillo, J. A. (20 de Noviembre de 2018). *Profesionalreview*. Obtenido de <https://www.profesionalreview.com/2018/11/20/que-es-hyper-v-windows-10/>
- Cisco. (2 de Mayo de 2016). *CISCO*. Obtenido de <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/multiprotocol-label-switching-mpls/mpls/4649-mpls-faq-4649.html>
- De Luz, S. (16 de Marzo de 2021). *redeszone*. Obtenido de <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/wireshark-capturar-analizar-traffic-red/>
- Felici, S. (15 de Julio de 2009). *informatica*. Obtenido de <http://informatica.uv.es/guia/asignatu/AR/Practica4-MPLS.pdf>
- Gerometta, O. (20 de Agosto de 2017). *Blogger.com*. Obtenido de <http://librosnetworking.blogspot.com/2017/08/mpls-multiprotocol-label-switching.html>
- Guerra, M. (23 de Enero de 2020). *Sarenet*. Obtenido de <https://blog.sarenet.es/vpn-mpls-empresas/>
- Hassan, A., & Altmann, J. (2013). Business impact analysis of a mediator between the network management systems of the IP/MPLS network and the transport network. *Asia-Pacific*

- Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*. Hiroshima, Japan: IEEE.
- Huawei Enterprise. (3 de Marzo de 2020). *Huawei Enterprise: Leading New ICT, The Road to Digital Transformation*. Obtenido de <https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100116731/69c0729f/overview-of-bgp-mpls-ip-vpn>
- Huidobro Moya, J., & Millán Tejedor, R. (2002). ¿Que es?...MPLS . *BIT* (pág. 4). COIT & AEIT.
- Inaquza Orozco, E. F. (Febrero de 2019). *dspace* . Obtenido de Universidad Politecnica Salesiana Sede Quito: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16898/1/UPS-ST003908.pdf>
- infotecs*. (7 de Abril de 2020). Obtenido de <https://infotecs.mx/blog/mpls.html>
- Kumar Porwal, M., Lata Yadav, A., & Charhate, S. (2008). Análisis de tráfico de redes MPLS y no MPLS, incluidos protocolos de señalización MPLS y distribución de tráfico en OSPF y MPLS. *Conferencia internacional sobre tendencias emergentes en ingeniería y tecnología, ICETET*. Nagpur, India: IEEE.
- López , G. (2015). *fing*. Obtenido de Universidad de la República de Uruguay: <https://www.fing.edu.uy/~grampin/ScalabilityLegacyVPNs.pdf>
- Mayr, C., Risso, C., & Grampín, E. (2021). Crafting optimal and resilient iBGP-IP/MPLS overlays for transit backbone networks. *ELSEVIER*, 11.
- Mier Ruiz, E., & Mier Ruiz, G. D. (2008). *Biblioteca.utb.edu.co*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Bolívar : <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0045016.pdf>
- nrcg*. (s.f.). Obtenido de https://nsrc.org/workshops/2011/walc/routing/raw-attachment/wiki/Agenda/Intro_BGP.pdf
- P, D. (2018). *Cisco*. Obtenido de <https://learningnetwork.cisco.com/s/blogs/a0D3i000002SKCQEA4/introducci%C3%B3n-a-mpls>
- Samiullah, M., Darshan , U., & Komil , V. (2018). Implementar conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS) mediante enrutamiento y reenvío virtual (VRF). *Congreso Internacional de Tendencias en Electrónica e Informática (ICEI)*. Tirunelveli, India: IEEE.

Suárez Gutiérrez, M. (s.f.). *MPLS COMO TECNOLOGÍA PARA OPTIMIZAR EL ANCHO DE BANDA DE*.

Sudeb, D. (26 de Agosto de 2015). *gns3.com*. Obtenido de <https://gns3.com/community/blog/mpls-2>

Tapasco, M. (2008). *core.ac.uk*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/71395663.pdf>

Telectrónica. (19 de Abril de 2018). *Telectrónica*. Obtenido de <https://www.telectronika.com/articulos/ti/que-es-gns3/>

Uceda, L. (s.f.). *wordpress*. Obtenido de <https://luisuceda.wordpress.com/arquitectura-mpls/>

Yadav, S., & Jeyakumar, A. (2016). Design of traffic engineered MPLS VPN for protected traffic using GNS simulator. *International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*. Chennai, India: IEEE.

Yadav, S., & Jeyakumar, A. (2016). MPLS multi-VRF design and implementation using GNS simulator. *IEEE International Conference on Engineering and Technology (ICETECH)*. Coimbatore, India: IEEE.

Anexos

		GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO	
CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA		ASIGNATURA:	
NRO. PRÁCTICA	1	TÍTULO DE PRÁCTICA: CONFIGURACIÓN DE MPLS EN ENRUTAMIENTO OSPF APLICANDO VRF	
OBJETIVO GENERAL: Configurar un núcleo MPLS de 3 enrutadores y dos sitios remotos en el mismo VRF que ejecuta OSPF como el protocolo de enrutamiento PE-CE.			
OBJETIVOS ESPECÍFICOS: <ul style="list-style-type: none">• Asignar del direccionamiento de la loopback y del protocolo OSPF.• Configurar la LDP en todas las interfaces del MPLS Core y el multiprotocolo BGP entre R1 y R3.• Crear VRF en cada PE.• Verificación de conexión con los clientes finales R4 a R5.			

INSTRUCCIONES	1. Cableado e inicialización de los routers.
	2. Asignar el direccionamiento de la loopback y del protocolo OSPF.
	3. Configurar del servicio LDP en todas las interfaces.
	4. Configurar MPLS junto con BGP entre los routers R1 Y R3.
	5. Añadir dos routers como clientes finales creando VRF en sus respectivos routers PE.
	6. Redistribución OSPF dentro de MP-BGP en los routers R1 y R3.
	7. Verificación de conexión con los clientes finales, routers R4 y R5.

Topología:

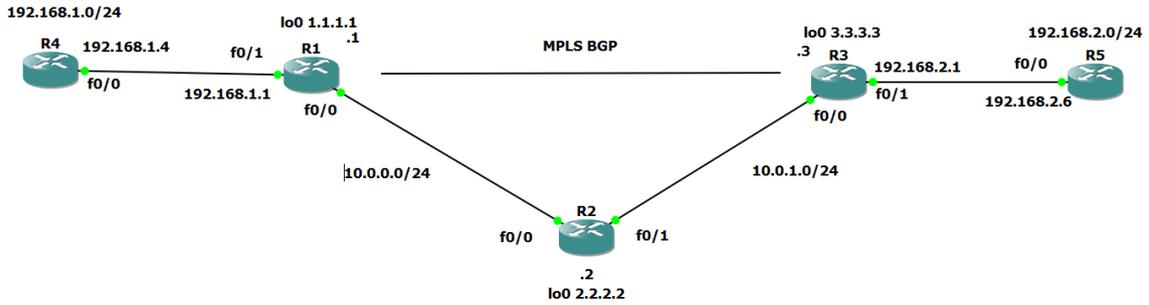


Figura 1. Topología de conexión.

Tabla de enrutamiento:

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Mascara de Subred	Gateway Predeterminado
R1	lo0	1.1.1.1	255.255.255.255	N/A
	f0/0	10.0.0.1	255.255.255.0	N/A
	f0/1	192.168.1.1	255.255.255.0	N/A
R2	lo0	2.2.2.2	255.255.255.255	N/A
	f0/0	10.0.0.2	255.255.255.0	N/A
	f0/1	10.0.1.2	255.255.255.0	N/A
R3	lo0	3.3.3.3	255.255.255.255	N/A
	f0/0	10.0.1.3	255.255.255.0	N/A
	f0/1	192.168.2.1	255.255.255.0	N/A
R4	lo0	4.4.4.4	255.255.255.255	N/A
	f0/0	192.168.1.4	255.255.255.0	N/A
R5	lo0	6.6.6.6	255.255.255.255	N/A
	f0/0	192.168.2.6	255.255.255.0	N/A

Cableado e inicialización de los routers

Se conectará por consola a los diferentes equipos, borrar su configuración si es necesario y establecer el nombre asignado en la topología a cada router utilizando los siguientes comandos.

Router R1.

```
R1#en
R1#enable
R1#er
R1#erase st
R1#erase startup-config
Erasing the nvram filesystem will remove all configuration files! Continue? [confirm]
[OK]
Erase of nvram: complete
R1#
*Mar  1 00:01:08.859: %SYS-7-NV_BLOCK_INIT: Initialized the geometry of nvram
R1#relo
R1#reload
Proceed with reload? [confirm]
```

Figura 2. Wipe out del router

Asignación del direccionamiento de la loopback y del protocolo OSPF

Se va a centrar primeramente en los routers R1, R2 y R3. Ahora se le otorga un nombre a los routers para que así se puedan reconocer con mayor facilidad después colocar las direcciones IP en las interfaces correspondientes de cada router y a su vez su respectiva loopback lo0 para así poder asegurar la conexión entre el router R1 y el router R3.

Router R1

```
R1#en
R1#enable
R1#conf
R1#configure t
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#host
R1(config)#hostname R1
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 0/0
R1(config-if)#ip add
R1(config-if)#ip address 10.0.0.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shu
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#ip
*Mar  1 00:01:14.879: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar  1 00:01:15.879: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R1(config-if)#ip ospf
R1(config-if)#ip ospf 1 are
R1(config-if)#ip ospf 1 area 0
R1(config-if)#inter
R1(config-if)#int lo0
R1(config-if)#ip add
R1(config-if)#ip address
*Mar  1 00:01:45.595: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R1(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.255
R1(config-if)#ip op
R1(config-if)#ip osp
R1(config-if)#ip ospf 1
R1(config-if)#ip ospf 1 ar
R1(config-if)#ip ospf 1 area 0
R1(config-if)#
```

Figura 3. Asignación de enrutamiento del router R1.

Se asigna el protocolo OSPF con la misma área en todos los routers para establecer una comunicación entre ellos.

Router R2

```
R2#en
R2#enable
R2#conf
R2#configure t
R2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R2(config)#host
R2(config)#hostname R2
R2(config)#inter
R2(config)#interface fast
R2(config)#interface fastEthernet 0/0
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 10.0.0.2 255.255.255.0
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#ip osp
R2(config-if)#ip ospf
*Mar 1 00:00:56.027: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:00:57.027: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R2(config-if)#ip ospf 1 are
R2(config-if)#ip ospf 1 area 0
R2(config-if)#int
R2(config-if)#int lo0
R2(config-if)#ip add
*Mar 1 00:01:08.975: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 10.0.0.1 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
*Mar 1 00:01:09.911: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.255
R2(config-if)#ip osp
R2(config-if)#ip ospf 1 are
R2(config-if)#ip ospf 1 area 0
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#exit
R2(config)#inter
R2(config)#interface fast
R2(config)#interface fastEthernet 0/1
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 10.0.1.2 255.255.255.0
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#ip os
*Mar 1 00:02:03.031: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar 1 00:02:04.031: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
R2(config-if)#ip ospf 1 ar
R2(config-if)#ip ospf 1 area 0
R2(config-if)#int lo0
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.255
R2(config-if)#ip os
R2(config-if)#ip ospf 1 ar
R2(config-if)#ip ospf 1 area 0
R2(config-if)#
```

Figura 4. Asignación de enrutamiento del router R2.

Una vez configurado los router R1, R2 y R3 se observará un mensaje que se indicará que hay una conexión adyacente con el protocolo OSPF.

Router R3

```
R3#en
R3#enable
R3#conf
R3#configure t
R3#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R3(config)#host
R3(config)#hostname R3
R3(config)#inter
R3(config)#interface fast
R3(config)#interface fastEthernet 0/0
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address 10.0.1.3 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#ip osp
*Mar 1 00:09:27.919: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:09:28.919: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R3(config-if)#ip ospf
R3(config-if)#ip ospf 1 are
R3(config-if)#ip ospf 1 area 0
R3(config-if)#int lo
*Mar 1 00:09:47.011: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 10.0.0.2 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R3(config-if)#int lo0
R3(config-if)#int lo0
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address
*Mar 1 00:09:52.179: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R3(config-if)#ip address 3.3.3.3 255.255.255.255
R3(config-if)#ip osp
R3(config-if)#ip ospf 1 are
R3(config-if)#ip ospf 1 area 0
R3(config-if)#
```

Figura 5. Asignación de enrutamiento del router R3.

Ahora se hace ping al loopback 2.2.2.2 que pertenece al router R2 y al loopback 3.3.3.3 a su vez es del router R3, desde el router R1 y se debe tener una conexión exitosa en ambas.

Router R1

```
R1#ping 2.2.2.2 source
R1#ping 2.2.2.2 source lo0

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2.2.2.2, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 1.1.1.1
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 8/16/24 ms
R1#ping 3.3.3.3 source
R1#ping 3.3.3.3 source lo
R1#ping 3.3.3.3 source loopback 0

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 3.3.3.3, timeout is 2 seconds:
Packet sent with a source address of 1.1.1.1
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 20/21/24 ms
R1#
```

Figura 6. Conectividad vía loopback del router R1.

Configuración de la LDP en todas las interfaces del MPLS Core

A continuación, se va adentro de la configuración del protocolo OSPF para configurar el LDP esto habilitará la distribución del MPLS Label en cada interfaz que tenga el protocolo OSPF.

Router R1

```
R1(config)#router
R1(config)#router osp
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#mpls ldp auto
R1(config-router)#mpls ldp autoconfig
R1(config-router)#
*Mar 1 00:31:16.199: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 2.2.2.2:0 (1) is UP
R1(config-router)#
```

Figura 7. LDP en el router R1.

Router R2

```
R2(config)#router
R2(config)#router osp
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#mpls ldp auto
R2(config-router)#mpls ldp autoconfig
R2(config-router)#
*Mar 1 00:23:05.591: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 1.1.1.1:0 (1) is UP
R2(config-router)#
*Mar 1 00:23:24.831: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 3.3.3.3:0 (2) is UP
R2(config-router)#
```

Figura 8. LDP en el router R2.

Una vez configurado los LDP de los router R1, R2 y R3 se observará un mensaje que se indicará que hay una conexión adyacente LDP.

Router R3

```
R3(config)#router
R3(config)#router ospf
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#mpls ldp
R3(config-router)#mpls ldp auto
R3(config-router)#mpls ldp autoconfig
R3(config-router)#
*Mar  1 00:27:30.639: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 2.2.2.2:0 (1) is UP
R3(config-router)#
```

Figura 9. LDP en el router R3.

Se puede ver un mensaje importante que saldrá una vez que se configure los routers adyacentes “LDP-5-NBRCHG” están ya conectadas.

Las interfaces están siendo ejecutadas como MPLS usando LDP.

```
R1#show mpls interfaces
Interface          IP          Tunnel  Operational
FastEthernet0/0    Yes (ldp)   No      Yes
R1#
```

```
R2#show mpls interfaces
Interface          IP          Tunnel  Operational
FastEthernet0/0    Yes (ldp)   No      Yes
FastEthernet0/1    Yes (ldp)   No      Yes
R2#
```

```
R3#show mpls interfaces
Interface          IP          Tunnel  Operational
FastEthernet0/0    Yes (ldp)   No      Yes
R3#
```

Figura 10. MPLS LDP.

También se puede ver que las conexiones adyacentes del router R2, debido que dispone de más conexiones LDP que el R1 y R2.

Router R2

```
R2#show mpls ldp
R2#show mpls ldp nei
R2#show mpls ldp neighbor
  Peer LDP Ident: 1.1.1.1:0; Local LDP Ident 2.2.2.2:0
  TCP connection: 1.1.1.1.646 - 2.2.2.2.51584
  State: Oper; Msgs sent/rcvd: 25/24; Downstream
  Up time: 00:15:30
  LDP discovery sources:
    FastEthernet0/0, Src IP addr: 10.0.0.1
  Addresses bound to peer LDP Ident:
    10.0.0.1      1.1.1.1
  Peer LDP Ident: 3.3.3.3:0; Local LDP Ident 2.2.2.2:0
  TCP connection: 3.3.3.3.63401 - 2.2.2.2.646
  State: Oper; Msgs sent/rcvd: 25/25; Downstream
  Up time: 00:15:10
  LDP discovery sources:
    FastEthernet0/1, Src IP addr: 10.0.1.3
  Addresses bound to peer LDP Ident:
    10.0.1.3      3.3.3.3
R2#
```

Figura 11. MPLS conectado a sus adyacentes por LDP del router R2.

Adicional también se verifica si todo marcha bien, viendo los saltos que hace hasta llegar a su destino, se usará como ejemplo la ruta de saltos desde el router R1 al router R3, debido que está más lejos y se comprueba si se obtiene el MPLS Label en la ruta del R1 al R3.

Router R1

```
R1#tracer 3.3.3.3
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 3.3.3.3

 0 10.0.0.2 [MPLS: Label 17 Exp 0] 36 msec 16 msec 20 msec
 1 10.0.1.3 36 msec 16 msec 24 msec
R1#
```

Figura 12. Tracer desde el router R1 al router R3.

Configuración MPLS con el multiprotocolo BGP entre R1 y R3

Se establece BGP entre R1 y R3 configurando la dirección vpnv4.

Router R1

```
R1(config)#router
R1(config)#router bgp
R1(config)#router bgp 1
R1(config-router)#nei
R1(config-router)#neighbor 3.3.3.3 remote
R1(config-router)#neighbor 3.3.3.3 remote-as 1
R1(config-router)#nei
R1(config-router)#neighbor 3.3.3.3 up
R1(config-router)#neighbor 3.3.3.3 update-source lo
R1(config-router)#neighbor 3.3.3.3 update-source loopback 0
R1(config-router)#no au
R1(config-router)#no auto-summary
R1(config-router)#add
R1(config-router)#address-family vpn
R1(config-router)#address-family vpnv4
R1(config-router-af)#neig
R1(config-router-af)#neighbor 3.3.3.3
R1(config-router-af)#neighbor 3.3.3.3ac
R1(config-router-af)#neighbor 3.3.3.3 ac
R1(config-router-af)#neighbor 3.3.3.3 activate
R1(config-router-af)#
```

Figura 13. Asignación del protocolo BGP en el router R1.

Una vez configurado los router R1 y R3 saldrá un mensaje de registro que muestra las conexiones próximas "BGP Neighbor", están ya conectadas.

Router R3

```
R3(config)#router
R3(config)#router bgp
R3(config)#router bgp 1
R3(config-router)#nei
R3(config-router)#neighbor 1.1.1.1 remote
R3(config-router)#neighbor 1.1.1.1 remote-as 1
R3(config-router)#nei
R3(config-router)#neighbor 1.1.1.1
*Mar  1 00:05:58.239: %BGP-5-ADJCHANGE: neighbor 1.1.1.1 Up
R3(config-router)#neighbor 1.1.1.1 updat
R3(config-router)#neighbor 1.1.1.1 update-source loo
R3(config-router)#neighbor 1.1.1.1 update-source loopback 0
R3(config-router)#no auto
R3(config-router)#no auto-summary
R3(config-router)#add
R3(config-router)#address-family vpn
R3(config-router)#address-family vpv4
R3(config-router-af)#neig
R3(config-router-af)#neighbor 1.1.1.1 ac
R3(config-router-af)#neighbor 1.1.1.1 activate
R3(config-router-af)#
*Mar  1 00:06:32.615: %BGP-5-ADJCHANGE: neighbor 1.1.1.1 Down Address family activated
R3(config-router-af)#
*Mar  1 00:06:34.703: %BGP-5-ADJCHANGE: neighbor 1.1.1.1 Up
R3(config-router-af)#
```

Figura 14. Asignación del protocolo BGP en el router R3.

Para verificar la relación entre el R1 y R3 se usará el comando “**show BGP vpv4 unicast all summary**”.

Router R1

```
R1#show bgp
R1#show bgp vpn
R1#show bgp vpv4 unicas
R1#show bgp vpv4 unicast all
R1#show bgp vpv4 unicast all sum
R1#show bgp vpv4 unicast all summary
BGP router identifier 1.1.1.1, local AS number 1
BGP table version is 1, main routing table version 1

Neighbor      V    AS MsgRcvd MsgSent  TblVer  InQ  OutQ  Up/Down  State/PfxRcd
3.3.3.3       4     1     14     14       1     0     0 00:07:12      0
R1#
```

Figura 15. Conexiones BGP Neighbor en el router R1.

Router R3

```
R3#show bgp
R3#show bgp vpn
R3#show bgp vpnv4 unicas
R3#show bgp vpnv4 unicast all sum
R3#show bgp vpnv4 unicast all summary
BGP router identifier 3.3.3.3, local AS number 1
BGP table version is 1, main routing table version 1

Neighbor      V    AS MsgRcvd MsgSent  TblVer  InQ  OutQ Up/Down  State/PfxRcd
1.1.1.1       4    1     14     14      1     0    0 00:07:32    0
R3#
```

Figura 16. Conexiones BGP Neighbor en el router R3.

Se observa que el “State/PfxRcd” es de valor 0, esto se debe a que aún no se ha agregado ninguna ruta BGP.

Añadir dos routers como clientes finales creando VRF en su respectivo PE

Ahora se configura los clientes finales de la red, luego se crea un VRF en cada router y se coloca las interfaces conectadas a cada router de sitio en ese VRF. El router R4 hará conexión, con el protocolo OSPF usando la etiqueta que se asignó al área.

Router R4

```
R4(config)#inter
R4(config)#interface fast
R4(config)#interface fastEthernet 0/0
R4(config-if)#ip add
R4(config-if)#ip address 192.168.1.4 255.255.255.0
R4(config-if)#ip os
R4(config-if)#ip ospf 2 are
R4(config-if)#ip ospf 2 area 2
R4(config-if)#no shu
R4(config-if)#no shutdown
*Mar 1 00:01:01.959: %OSPF-4-NORTRID: OSPF process 2 cannot pick a router-id.
  Please configure manually or bring up an interface with an ip address.
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#inter
R4(config-if)#inte
*Mar 1 00:01:19.571: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:01:20.571: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R4(config-if)#int lo0
R4(config-if)#ip add
R4(config-if)#ip address
*Mar 1 00:01:30.435: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R4(config-if)#ip address 4.4.4.4 255.255.255.255
R4(config-if)#ip osp
R4(config-if)#ip ospf 2 are
R4(config-if)#ip ospf 2 area 2
R4(config-if)#
```

Figura 17. Asignación de enrutamiento del router R4.

Router R1

```
R1#conf
R1#configure t
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 0/1
R1(config-if)#ip add
R1(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shu
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
*Mar  1 00:47:28.511: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar  1 00:47:29.511: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
R1(config-if)#
```

Figura 18. Levantamiento de la interfaz FastEthernet 0/1 en el router R1.

Se procede a crear VRF en el router R1, se usará VRF con la etiqueta "RED".

Router R1

```
R1(config)#ip vrf
R1(config)#ip vrf RED
R1(config-vrf)#rd 4:4
R1(config-vrf)#route
R1(config-vrf)#route-target both
R1(config-vrf)#route-target both 4:4
R1(config-vrf)#
```

Figura 19. Creación de VRF en el router R1.

Una vez configurado VRF en R1 se debe mover la interfaz FastEthernet 0/1 a el VRF, se observa que interfaz FastEthernet 0/1 ha sido movida, entonces se coloca su respectiva dirección nuevamente en su interfaz.

Router R1

```
R1(config)#interface fastEthernet 0/1
R1(config-if)#ip vrf
R1(config-if)#ip vrf for
R1(config-if)#ip vrf forwarding RED
% Interface FastEthernet0/1 IP address 192.168.1.1 removed due to enabling VRF RED
R1(config-if)#ip vrf for
R1(config-if)#exit
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 0/1
R1(config-if)#ip add
R1(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shu
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
```

Figura 20. Mover la interfaz FastEthernet al VRF del router R1.

Se verifica haciendo ping hacia la tabla global, no hay conexión, esto representa que la interfaz ha sido movida con éxito.

Router R1

```
R1#pin
*Mar 1 01:11:20.743: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
R1#ping 192.168.1.4

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.1.4, timeout is 2 seconds:
.....
Success rate is 0 percent (0/5)
R1#
```

Figura 21. Ping hacia la tabla de enrutamiento global.

Ahora se realiza un ping hacia la tabla de enrutamiento de VRF "RED" y se debe tener una conexión exitosa.

Router R1

```
R1#ping vrf RED 192.168.1.4
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.1.4, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 8/20/32 ms
R1#
```

Figura 22. Ping a la tabla de enrutamiento VRF “RED” del router R1.

Se visualiza todo lo que contiene la tabla de enrutamiento global del router, y en él se ve la tabla de enrutamiento VRF “RED”.

Router R1

```
R1#show ip route
R1#show ip route
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 not set

 1.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C    1.1.1.1 is directly connected, Loopback0
 2.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    2.2.2.2 [110/11] via 10.0.0.2, 01:18:55, FastEthernet0/0
 3.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    3.3.3.3 [110/21] via 10.0.0.2, 01:18:55, FastEthernet0/0
10.0.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
C    10.0.0.0 is directly connected, FastEthernet0/0
O    10.0.1.0 [110/20] via 10.0.0.2, 01:18:55, FastEthernet0/0
R1#
```

Figura 23. Tabla de enrutamiento global.

Se debe tener en cuenta que los nombres deben de colocarse igual en toda la configuración respetando las mayúsculas, ya que esto tendrá un impacto muy grande en las configuraciones, se solicita al router ver su tabla VRF “red” esta tabla no existe ya que se creó como “RED”.

Router R1

```
R1#show ip route vrf red
% IP routing table red does not exist
R1#show ip route vrf RED

Routing Table: RED
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 not set

C     192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
R1#
```

Figura 24. Tabla de enrutamiento VRF "RED" del router R1.

Se habilita el protocolo OSPF en la interfaz que da con el router del cliente final, se verá después un mensaje de registro que muestra "OSPF ADJCHG" como resultado apareciendo el "Nbr".

Router R1

```
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 0/1
R1(config-if)#ip osp
R1(config-if)#ip ospf 2 are
R1(config-if)#ip ospf 2 area 2
R1(config-if)#
*Mar 1 01:27:59.171: %OSPF-5-ADJCHG: Process 2, Nbr 192.168.1.4 on FastEthernet0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R1(config-if)#
```

```
R1#show ip route vrf RED

Routing Table: RED
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 not set

      4.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O       4.4.4.4 [110/11] via 192.168.1.4, 00:08:14, FastEthernet0/1
C     192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
```

Figura 25. Tabla de enrutamiento VRF "RED" actualizada en el router R1.

Se repite el proceso ahora para R3 y R5.

Router R5

```
R5(config)#inter
R5(config)#interface fast
R5(config)#interface fastEthernet 0/0
R5(config-if)#ip add
R5(config-if)#ip address 192.168.2.6 255.255.255.0
R5(config-if)#ip os
R5(config-if)#ip ospf 2 area
R5(config-if)#ip ospf 2 area 2
R5(config-if)#no shu
R5(config-if)#no shutdown
*Mar 1 00:35:26.447: %OSPF-4-NORTRID: OSPF process 2 cannot pick a router-id.
Please configure manually or bring up an interface with an ip address.
R5(config-if)#no shutdown
R5(config-if)#
*Mar 1 00:35:32.003: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:35:33.003: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R5(config-if)#int lo0
R5(config-if)#ip add
R5(config-if)#ip address
*Mar 1 00:35:41.463: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R5(config-if)#ip address 6.6.6.6 255.255.255.255
R5(config-if)#ip osp
R5(config-if)#ip ospf 2 are
R5(config-if)#ip ospf 2 area 2
R5(config-if)#
```

Figura 26. Asignación de enrutamiento en el router R5.

Se asigna la dirección IP correspondiente y se habilita la interfaz del router R3.

Router R3

```
R3(config)#inter
R3(config)#interface fast
R3(config)#interface fastEthernet 0/1
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address 192.168.2.3 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
*Mar 1 01:44:16.779: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar 1 01:44:17.779: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
R3(config-if)#
```

Figura 27. Levantamiento de la interfaz FastEthernet 0/1 del router R3.

Se crea VRF en el router R3 para que pueda coexistir dos tablas de enrutamientos en el mismo router.

Router R3

```
R3(config)#ip vrf
R3(config)#ip vrf RED
R3(config-vrf)#rd 4:4
R3(config-vrf)#route
R3(config-vrf)#route-target both 4:4
R3(config-vrf)#
```

Figura 28. Configuración VRF en el router R3.

En la interfaz FastEthernet 0/1 se remueve la dirección IP para habilitar el VRF “RED creado”.

Router R3

```
R3(config)#inter
R3(config)#interface fast
R3(config)#interface fastEthernet 0/1
R3(config-if)#ip vrf for
R3(config-if)#ip vrf forwarding RED
% Interface FastEthernet0/1 IP address 192.168.2.3 removed due to enabling VRF RED
R3(config-if)#
```

Figura 29. Se mueve la interfaz al VRF “RED” del router R3.

Se reasigna nuevamente la dirección IP que fue removida anteriormente, por la IP 192.168.2.1 correspondiente a la interfaz.

Router R3

```
R3(config)#inter
R3(config)#interface fast
R3(config)#interface fastEthernet 0/1
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
```

Figura 30. Asignación de la dirección IP en la interfaz FastEthernet 0/1 del router R3.

Se verifica la tabla VRF del router R3 tenga la IP correspondiente a la interfaz y que este pertenezca a "RED".

Router R3

```
R3#show run
R3#show running-config int f
R3#show running-config int fastEthernet 0/1
Building configuration...

Current configuration : 119 bytes
!
interface FastEthernet0/1
 ip vrf forwarding RED
 ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
 duplex auto
 speed auto
end
R3#
```

Figura 31. Tabla VRF "RED" del router R3.

La conexión adyacente se dará configurando el enrutamiento OSPF a la interfaz saliente del router R3 hacia el router R5.

Router R3

```
R3(config)#inter
R3(config)#interface fast
R3(config)#interface fastEthernet 0/1
R3(config-if)#ip osp
R3(config-if)#ip ospf 2 are
R3(config-if)#ip ospf 2 area 2
R3(config-if)#
*Mar 1 01:49:22.299: %OSPF-5-ADJCHG: Process 2, Nbr 192.168.2.6 on FastEthernet0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R3(config-if)#
```

Figura 32. Conexión adyacente del router R3.

Se observa que dos tablas de enrutamiento tanto global como VRF "RED" coexisten en el mismo router R3 con sus correspondientes direcciones IP.

Router R3

```
R3#show ip route
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 not set

 1.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    1.1.1.1 [110/21] via 10.0.1.2, 01:51:41, FastEthernet0/0
 2.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    2.2.2.2 [110/11] via 10.0.1.2, 01:51:51, FastEthernet0/0
 3.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C    3.3.3.3 is directly connected, Loopback0
10.0.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
O    10.0.0.0 [110/20] via 10.0.1.2, 01:51:51, FastEthernet0/0
C    10.0.1.0 is directly connected, FastEthernet0/0
R3#show ip route vrf RED

Routing Table: RED
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 not set

 6.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    6.6.6.6 [110/11] via 192.168.2.6, 00:03:22, FastEthernet0/1
C    192.168.2.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
R3#
```

Figura 33. Tabla de enrutamiento global y VRF "RED" del router R3.

Redistribución OSPF dentro MP-BGP en R1 y R3

Se debe realizar una redistribución OSPF dentro MP-BGP, y viceversa, debido a que VRF "RED" y las rutas R1 ahora son visibles con 6.6.6.6 en OSPF.

Router R1

```
R1(config)#router
R1(config)#router bgp
R1(config)#router bgp 1
R1(config-router)#add
R1(config-router)#address-family ipv
R1(config-router)#address-family ipv4
R1(config-router)#address-family ipv4 vrf
R1(config-router)#address-family ipv4 vrf RED
R1(config-router-af)#redi
R1(config-router-af)#redistribute ospf
R1(config-router-af)#redistribute osp
R1(config-router-af)#redistribute ospf 2
R1(config-router-af)#
```

Figura 34. Redistribución OSPF dentro MP-BGP del router R1.

Router R3

```
R3(config)#router
R3(config)#router bgp
R3(config)#router bgp 1
R3(config-router)#add
R3(config-router)#address-family ipv4
R3(config-router)#address-family ipv4 vrf
R3(config-router)#address-family ipv4 vrf RED
R3(config-router-af)#redi
R3(config-router-af)#redistribute osp
R3(config-router-af)#redistribute ospf 2
R3(config-router-af)#
```

Figura 35. Redistribución OSPF dentro MP-BGP del router R3.

Se puede ver que la dirección lo0 4.4.4.4 perteneciente al R4 pertenece ahora a la tabla BGP en VRF "RED" de R1 con el salto a 192.168.1.4.

Router R1

```
R1#show
R1#show ip
R1#show ip bgp
R1#show ip bgp vpnv4 vrf RED
R1#show ip bgp vpnv4 vrf RED
BGP table version is 9, local router ID is 1.1.1.1
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network          Next Hop          Metric LocPrf Weight Path
Route Distinguisher: 4:4 (default for vrf RED)
*> 4.4.4.4/32       192.168.1.4        11         32768 ?
*>i6.6.6.6/32       3.3.3.3            11        100      0 ?
*> 192.168.1.0      0.0.0.0            0          32768 ?
*>i192.168.2.0     3.3.3.3            0         100      0 ?
R1#
```

Figura 36. Tabla BGP VRF RED del router R1.

Así mismo la dirección lo0 6.6.6.6 perteneciente al R5 pertenece ahora a la tabla BGP en VRF "RED" de R3 con el salto a 192.168.2.6.

Router R3

```
R3#show ip bgp vpnv4 vrf RED
BGP table version is 9, local router ID is 3.3.3.3
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete

   Network          Next Hop          Metric LocPrf Weight Path
Route Distinguisher: 4:4 (default for vrf RED)
*>i4.4.4.4/32       1.1.1.1            11        100      0 ?
*> 6.6.6.6/32       192.168.2.6        11         32768 ?
*>i192.168.1.0      1.1.1.1            0         100      0 ?
*> 192.168.2.0     0.0.0.0            0         32768 ?
R3#
```

Figura 37. Tabla BGP VRF "RED" del router R3.

Para finalizar se debe recuperar las rutas que ha hecho el MPLS en OSPF, se obtendrá conectividad extrema a extremo.

Router R1

```
R1#conf
R1#configure t
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#router ospf 2
R1(config-router)#redis
R1(config-router)#redistribute bgp 1 subne
R1(config-router)#redistribute bgp 1 subnets
R1(config-router)#
```

Figura 38. Redistribución BGP del router R1.

Router R3

```
R3(config)#router
R3(config)#router osp
R3(config)#router ospf 2
R3(config-router)#redi
R3(config-router)#redistribute bgp 1
R3(config-router)#redistribute bgp 1 sub
R3(config-router)#redistribute bgp 1 subnets
R3(config-router)#
```

Figura 39. Redistribución BGP del router R3.

Se verá que tiene registrado en la tabla de enrutamiento R4 el lo0 y la red del router del cliente final R5, como resultado se obtiene una conexión entre clientes finales.

Router R4

```
R4#show ip route
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 not set

  4.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C       4.4.4.4 is directly connected, Loopback0
  6.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O IA   6.6.6.6 [110/21] via 192.168.1.1, 00:05:08, FastEthernet0/0
C     192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
O IA  192.168.2.0/24 [110/11] via 192.168.1.1, 00:05:08, FastEthernet0/0
R4#
```

Figura 40. Tabla de enrutamiento del router R4.

Verificación de Conexión con los Clientes Finales R4 a R5

Se realiza un ping 6.6.6.6 para ver la calidad de conexión que tiene y un trace 6.6.6.6 para poder observar los saltos que debe realizar para llegar su destino.

Router R4

```
R4#ping 6.6.6.6
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 6.6.6.6, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 16/44/64 ms
R4#trace 6.6.6.6

Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 6.6.6.6

 0 192.168.1.1 12 msec 12 msec 8 msec
 1 10.0.0.2 [MPLS: Labels 16/19 Exp 0] 48 msec 40 msec 44 msec
 2 192.168.2.1 [MPLS: Label 19 Exp 0] 20 msec 44 msec 24 msec
 3 192.168.2.6 40 msec 40 msec 60 msec
R4#
```

Figura 41. Conexión entre clientes finales desde el router R4 al router R5.

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ASIGNATURA:

**NRO.
PRÁCTICA**

2

TÍTULO DE PRÁCTICA: CONFIGURACIÓN DE MPLS PARA ADAPTAR EL TAMAÑO DE UNA UNIDAD DE TRANSMISIÓN MÁXIMA.

OBJETIVO GENERAL:

Configurar MPLS para adaptar el tamaño de una unidad de transmisión máxima.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Asignar de Interfaces y Enrutamiento con OSPF.
- Habilitar MPLS.
- Adaptar el tamaño de transmisión máxima los routers R6 y R7.
- Comprobación del cambio de ruta del enrutamiento OSPF en una red MPLS.

INSTRUCCIONES	1. Cableado e inicialización de los routers.
	2. Asignación de interfaces y enrutamiento.
	3. Enrutamiento con OSPF.
	4. Aplicar troubleshooting para el router R2.
	5. Habilitar MPLS en cada Interfaz de los routers de la red.
	6. Agregar dos CE en cada extremo.
	7. Adaptar el tamaño de transmisión máxima a los routers R6 y R7.

Topología

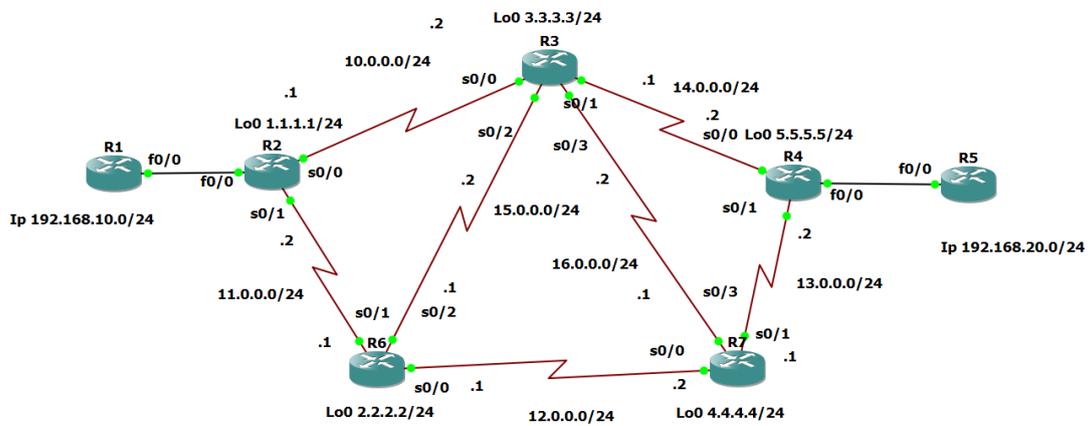


Figura 1. Topología de conexión.

Tabla de enrutamiento

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Máscara de Subred	Gateway Predeterminado
R2	lo0	1.1.1.1	255.255.255.0	N/A
	f0/0	192.168.10.2	255.255.255.0	N/A
	s0/0	10.0.0.1	255.255.255.0	N/A
	s0/1	11.0.0.2	255.255.255.0	N/A
R3	lo0	3.3.3.3	255.255.255.0	N/A
	s0/0	10.0.0.2	255.255.255.0	N/A
	s0/1	14.0.0.1	255.255.255.0	N/A
	s0/2	15.0.0.2	255.255.255.0	N/A
	s0/3	16.0.0.2	255.255.255.0	N/A
R4	lo0	5.5.5.5	255.255.255.0	N/A
	f0/0	192.168.20.2	255.255.255.0	N/A
	s0/0	14.0.0.2	255.255.255.0	N/A
	s0/1	13.0.0.2	255.255.255.0	N/A
R6	lo0	2.2.2.2	255.255.255.0	N/A
	s0/0	12.0.0.1	255.255.255.0	N/A

	s0/1	11.0.0.1	255.255.255.0	N/A
	s0/2	15.0.0.1	255.255.255.0	N/A
R7	lo0	4.4.4.4	255.255.255.0	N/A
	s0/0	12.0.0.2	255.255.255.0	N/A
	s0/1	13.0.0.1	255.255.255.0	N/A
	s0/3	16.0.0.1	255.255.255.0	N/A
R1	f0/0	192.168.10.1	255.255.255.0	N/A
R5	f0/0	192.168.20.1	255.255.255.0	N/A

Cableado e inicialización de los routers

Se conectar por consola a los diferentes equipos, borrar su configuración si es necesario y establecer el nombre asignado en la topología a cada router utilizando los siguientes comandos, por ejemplo, en el caso del router.

```
R1#en
R1#enable
R1#er
R1#erase st
R1#erase startup-config
Erasing the nvram filesystem will remove all configuration files! Continue? [confirm]
[OK]
Erase of nvram: complete
R1#
*Mar  1 00:01:08.859: %SYS-7-NV_BLOCK_INIT: Initialized the geometry of nvram
R1#relo
R1#reload
Proceed with reload? [confirm]
```

Figura 2. Wipe out del router.

Asignación de Interfaces y Enrutamiento.

Se comienza conectando las interfaces FastEthernet hacia los PE, para su núcleo las interfaces seriales asignación de sus respectivas direcciones como está planteado en la tabla de enrutamiento, Siempre es recomendable asignarle un nombre a los router para así de esta manera evitar confusiones en las configuraciones. Cada router poseerá una interfaz y una loopback.

Router R2

```
R2#en
R2#enable
R2#conf
R2#configure t
R2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R2(config)#inter
R2(config)#interface seri
R2(config)#interface serial 0/0
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 10.0.0.1 255.255.255.0
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#
*Mar 1 00:08:41.715: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/0, changed state to up
R2(config-if)#
*Mar 1 00:08:42.719: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to up
R2(config-if)#int lo0
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address
*Mar 1 00:09:00.499: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R2(config-if)#ip address
*Mar 1 00:09:07.255: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to down
R2(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
R2(config-if)#exit
R2(config)#host
R2(config)#hostname R2
R2(config)#inter
R2(config)#interface fast
R2(config)#interface serial
R2(config)#interface serial 0/1
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 10.0.0.2 255.255.255.0
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#
*Mar 1 00:15:37.359: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/1, changed state to up
R2(config-if)#
*Mar 1 00:15:38.363: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to up
R2(config-if)#int lo0
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
R2(config-if)#
*Mar 1 00:16:07.267: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to down
R2(config-if)#
```

Figura 3. Levantamiento de interfaces del router R2.

De la misma forma repetir para todas las interfaces la configuración de todos routers en la red.

Router R6

```
R6#en
R6#enable
R6#conf
R6#configure t
R6#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R6(config)#inter
R6(config)#interface seri
R6(config)#interface serial 0/0
R6(config-if)#ip add
R6(config-if)#ip address 12.0.0.1 255.255.255.0
R6(config-if)#no shu
R6(config-if)#no shutdown
R6(config-if)#int l
*Mar 1 00:14:18.527: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/0, changed state to up
R6(config-if)#int lo
*Mar 1 00:14:19.531: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to up
R6(config-if)#int lo0
R6(config-if)#ip a
*Mar 1 00:14:24.143: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R6(config-if)#ip add
R6(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.0
R6(config-if)#
*Mar 1 00:14:46.611: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to down
R6(config-if)#exit
R6(config)#inter
R6(config)#interface ser
R6(config)#interface serial 0/1
R6(config-if)#ip add
R6(config-if)#ip address 11.0.0.1 255.255.255.0
R6(config-if)#no su
R6(config-if)#no sh
R6(config-if)#no shutdown
R6(config-if)#int lo
*Mar 1 00:15:35.011: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/1, changed state to up
R6(config-if)#int lo0
*Mar 1 00:15:36.015: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to up
R6(config-if)#int lo0
R6(config-if)#ip add
R6(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.0
R6(config-if)#exit
R6(config)#inter
R6(config)#interface serial
R6(config)#interface serial 0/2
R6(config-if)#ip add
R6(config-if)#ip address 15.0.0.1 255.255.255.0
R6(config-if)#no shu
R6(config-if)#no shutdown
R6(config-if)#int lo0
R6(config-if)#
*Mar 1 00:16:27.919: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/2, changed state to up
R6(config-if)#ip ad
*Mar 1 00:16:28.923: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/2, changed state to up
R6(config-if)#ip add
R6(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.0
R6(config-if)#no shu
R6(config-if)#no shutdown
R6(config-if)#
*Mar 1 00:16:56.623: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/2, changed state to down
R6(config-if)#
```

Figura 4. Levantamiento de interfaces del router R6.

Los routers que optan por una configuración más extensa es debido a las cantidades de interfaces que maneja.

Router R3

```
R3#en
R3#enable
R3#conf
R3#configure t
R3#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R3(config)#inter
R3(config)#interface serial
R3(config)#interface serial 0/0
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address 10.0.0.2 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
*Mar 1 00:18:40.871: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/0, changed state to up
R3(config-if)#
*Mar 1 00:18:41.875: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to up
R3(config-if)#int lo0
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address
*Mar 1 00:18:47.439: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R3(config-if)#ip address 3.3.3.3 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#exit
R3(config)#inter
R3(config)#interface seri
R3(config)#interface serial 0/1
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address 14.0.0.1 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#int lo0
*Mar 1 00:19:38.039: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/1, changed state to up
R3(config-if)#int lo0
R3(config-if)#int lo0
*Mar 1 00:19:39.043: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to up
R3(config-if)#int lo0
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address 3.3.3.3 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
*Mar 1 00:20:06.783: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to down
R3(config-if)#ip address 15.0.0.2 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
*Mar 1 00:20:23.967: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/2, changed state to up
R3(config-if)#
*Mar 1 00:20:24.971: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/2, changed state to up
R3(config-if)#int lo0
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address 3.3.3.3 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#exit
R3(config)#inter
R3(config)#interface seri
R3(config)#interface serial 0/3
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address 16.0.0.2 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#int lo0
*Mar 1 00:21:27.383: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/3, changed state to up
R3(config-if)#int lo0
*Mar 1 00:21:28.387: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/3, changed state to up
R3(config-if)#int lo0
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address 3.3.3.3 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
*Mar 1 00:21:56.787: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/3, changed state to down
R3(config-if)#
```

Figura 5. Levantamiento de las interfaces del router R3.

El levantamiento de interfaces en los router es importante, debido que la información que intercambian para la creación de rutas en la red MPLS son a través de ellas.

Router R7

```
R7#configure t
R7#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R7(config)#inter
R7(config)#interface serial
R7(config)#interface serial 0/0
R7(config-if)#ip ad
R7(config-if)#ip add
R7(config-if)#ip address 12.0.0.2 255.255.255.0
R7(config-if)#no shu
R7(config-if)#no shutdown
R7(config-if)#
*Mar 1 00:21:48.699: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/0, changed state to up
R7(config-if)#in
*Mar 1 00:21:49.703: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to up
*Mar 1 00:22:01.195: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R7(config)#int lo0
R7(config-if)#ip add
R7(config-if)#ip address 4.4.4.4 255.255.255.0
R7(config-if)#no shu
R7(config-if)#no shutdown
R7(config-if)#exit
R7(config)#inter
R7(config)#interface serial 0/1
R7(config-if)#ip add
R7(config-if)#ip address 13.0.0.1 255.255.255.0
R7(config-if)#no shu
R7(config-if)#no shutdown
R7(config-if)#int lo0
*Mar 1 00:22:53.147: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/1, changed state to up
R7(config-if)#int lo0
*Mar 1 00:22:54.151: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to up
R7(config-if)#int lo0
R7(config-if)#ip add
R7(config-if)#ip address 4.4.4.4 255.255.255.0
R7(config-if)#no shu
R7(config-if)#no shutdown
R7(config-if)#exit
R7(config)#inter
R7(config)#interface serial
R7(config)#interface serial 0/3
R7(config-if)#ip
*Mar 1 00:23:17.075: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to down
R7(config-if)#ip add
R7(config-if)#ip address 16.0.0.1 255.255.255.0
R7(config-if)#no shu
R7(config-if)#no shutdown
R7(config-if)#int
*Mar 1 00:23:36.871: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/3, changed state to up
*Mar 1 00:23:37.871: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/3, changed state to up
R7(config-if)#int lo0
R7(config-if)#ip add
R7(config-if)#ip address 4.4.4.4 255.255.255.0
R7(config-if)#no shu
R7(config-if)#no shutdown
R7(config-if)#
```

Figura 6. Levantamiento de las interfaces del router R7.

Los mensajes de registro en la consola cada router indicara cuando la interfaz está habilitada. Para el levantamiento de una interfaz se usa el comando **“no shutdown”**.

Router R4

```
R4#en
R4#enable
R4#conf
R4#configure t
R4#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R4(config)#inter
R4(config)#interface serial
R4(config)#interface serial 0/0
R4(config-if)#ip add
R4(config-if)#ip address 14.0.0.2 255.255.255.0
R4(config-if)#no shu
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#
*Mar 1 00:25:43.047: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/0, changed state to up
R4(config-if)#
*Mar 1 00:25:44.051: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to up
R4(config-if)#int lo0
R4(config-if)#ip add
R4(config-if)#ip address
*Mar 1 00:25:51.203: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R4(config-if)#ip address 5.5.5.5 255.255.255.0
R4(config-if)#no shu
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#exit
R4(config)#inter
R4(config)#interface serial
R4(config)#interface serial 0/1
R4(config-if)#ip ad
R4(config-if)#ip ad
R4(config-if)#ip add
R4(config-if)#ip address 13.0.0.2 255.255.255.0
R4(config-if)#no shu
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#
*Mar 1 00:26:45.507: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/1, changed state to up
R4(config-if)#
*Mar 1 00:26:46.511: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to up
R4(config-if)#int lo0
R4(config-if)#ip add
R4(config-if)#ip address 5.5.5.5 255.255.255.0
R4(config-if)#no shu
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#
```

Figura 7. Levantamiento de las interfaces del router R4.

A continuación, se verifica el router que tiene más interfaces y se observa un resumen de la información clave para todas las interfaces de red de un router.

Router R3

```
R3#show
R3#show ip
R3#show ip int
R3#show ip interface br
R3#show ip interface brief
Interface                IP-Address      OK? Method Status        Protocol
FastEthernet0/0         unassigned      YES unset  administratively down  down
Serial0/0               10.0.0.2        YES manual  up            up
FastEthernet0/1         unassigned      YES unset  administratively down  down
Serial0/1               14.0.0.1        YES manual  up            up
Serial0/2               15.0.0.2        YES manual  up            up
Serial0/3               16.0.0.2        YES manual  up            up
Serial0/4               unassigned      YES unset  administratively down  down
Serial0/5               unassigned      YES unset  administratively down  down
Loopback0               3.3.3.3         YES manual  up            up
R3#
```

Figura 8. Interfaces del router R3.

Enrutamiento con OSPF

Se utiliza el enrutamiento OSPF debido que traza un mapa completo de una red para luego toma el camino de menos coste basándose en la topología. Ahora se le otorga una dirección para cualquier red la cual sería la IP 0.0.0.0 con máscara 255.255.255.255.

Router R2

```
R2(config)#router
R2(config)#router os
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#net
R2(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 are
R2(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R2(config-router)#
```

Figura 9. Protocolo OSPF en el router R2.

De la misma manera repetir para todos los routers de la red. Cuando ya se ha realizado el enrutamiento en los router adyacentes se observará un mensaje de registro donde menciona que hay un emparejamiento de conexión entre las interfaces seriales.

Router R6

```
R6(config)#router ospf
R6(config)#router ospf 1
R6(config-router)#net
R6(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 are
R6(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R6(config-router)#
*Mar 1 00:58:49.639: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 3.3.3.3 on Serial0/2 from LOADING to FULL, Loading Done
R6(config-router)#
*Mar 1 00:59:17.591: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 4.4.4.4 on Serial0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R6(config-router)#
```

Figura 10. Protocolo OSPF en el router R6.

Se utiliza la network 0.0.0.0 con mascara de subred 255.255.255.255 debido que es una dirección IP especial que permite el acceso a cualquier router conectado de forma adyacente que posea el mismo protocolo.

Router R3

```
R3(config)#router ospf
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#net
R3(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 are
R3(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R3(config-router)#
*Mar 1 00:54:09.823: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Serial0/2 from LOADING to FULL, Loading Done
R3(config-router)#
*Mar 1 00:54:37.775: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 4.4.4.4 on Serial0/3 from LOADING to FULL, Loading Done
R3(config-router)#
*Mar 1 00:55:02.139: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 5.5.5.5 on Serial0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R3(config-router)#
```

Figura 11. Protocolo OSPF en el router R3.

Cuando el protocolo ha sido configurado en los demás router podremos ver unos mensajes de registros que indica que el establecimiento de conexión adyacente.

Router R7

```
R7(config)#router
R7(config)#router ospf
R7(config)#router ospf 1
R7(config-router)#net
R7(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 are
R7(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R7(config-router)#
*Mar 1 00:49:37.187: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 3.3.3.3 on Serial0/3 from LOADING to FULL, Loading Done
*Mar 1 00:49:37.187: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Serial0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R7(config-router)#
*Mar 1 00:50:01.535: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 5.5.5.5 on Serial0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R7(config-router)#
```

Figura 12. Protocolo OSPF en el router R7.

Los router conectados por una interfaz deben de tener un mensaje de registro notificando que se estableció una conexión exitosa.

Router R4

```
R4(config)#router
R4(config)#router ofps
R4(config)#router ospf
R4(config)#router ospf 1
R4(config-router)#net
R4(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 are
R4(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R4(config-router)#
*Mar 1 00:46:21.739: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 4.4.4.4 on Serial0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
*Mar 1 00:46:21.739: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 3.3.3.3 on Serial0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R4(config-router)#
```

Figura 13. Protocolo OSPF en el router R4.

Se verifica el enrutamiento OSPF en el router que posee más cantidad de interfaces. Se observa que las rutas recibidas por los vecinos OSPF están instaladas en la tabla de routing.

Router R3

```
R3#show ip route
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 not set

 16.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
 C    16.0.0.0 is directly connected, Serial0/3
  2.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
 O    2.2.2.2 [110/65] via 15.0.0.1, 00:08:02, Serial0/2
  3.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
 C    3.3.3.0 is directly connected, Loopback0
  4.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
 O    4.4.4.4 [110/65] via 16.0.0.1, 00:07:33, Serial0/3
  5.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
 O    5.5.5.5 [110/65] via 14.0.0.2, 00:07:09, Serial0/1
 10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
 C    10.0.0.0 is directly connected, Serial0/0
 11.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
 O    11.0.0.0 [110/128] via 15.0.0.1, 00:08:26, Serial0/2
 12.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
 O    12.0.0.0 [110/128] via 16.0.0.1, 00:07:58, Serial0/3
       [110/128] via 15.0.0.1, 00:08:27, Serial0/2
 13.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
 O    13.0.0.0 [110/128] via 16.0.0.1, 00:07:59, Serial0/3
       [110/128] via 14.0.0.2, 00:07:35, Serial0/1
 14.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
 C    14.0.0.0 is directly connected, Serial0/1
 15.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
 C    15.0.0.0 is directly connected, Serial0/2
```

Figura 14. Tabla de enrutamiento del router R3.

Aplicar troubleshooting para el router R2

Se aplicará el troubleshooting debido que no hay una conexión correcta desde el R2. Primero se verá si hay conexión al ping.

Router R2

```
R2#ping 5.5.5.5
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 5.5.5.5, timeout is 2 seconds:
.....
Success rate is 0 percent (0/5)
```

Figura 15. Conexión del loopback desde el router R2 al router R4.

Como se puede observar que no hay conexión, el siguiente paso sería comprobar si las interfaces están habilitadas. Se obtiene que si están habilitadas porque no generó un mensaje de registro.

Router R2

```
R2#conf
R2#configure t
R2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R2(config)#inter
R2(config)#interface fast
R2(config)#interface serial 0/0
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#exit
R2(config)#interface serial 0/1
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#end
```

Figura 16. Comprobación de interfaces habilitadas en el router R2.

Ahora se procederá ingresar el comando **“show running-config”** que contiene todos los parámetros detallados de la interfaz del router para una vista más general del posible problema.

También ayuda a determinar el estado actual del router, ya que muestra el archivo configurado activo que se ejecuta en la RAM en el servidor de GNS3.

Router R2

```
interface Loopback0
 ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
!
interface FastEthernet0/0
 no ip address
 shutdown
 duplex auto
 speed auto
!
interface Serial0/0
 ip address 10.0.0.1 255.255.255.0
 clock rate 2000000
!
interface FastEthernet0/1
 no ip address
 shutdown
 duplex auto
 speed auto
!
interface Serial0/1
 ip address 10.0.0.2 255.255.255.0
 clock rate 2000000
!
interface Serial0/2
 no ip address
 shutdown
 clock rate 2000000
!
interface Serial0/3
 no ip address
 shutdown
 clock rate 2000000
!
interface Serial0/4
 no ip address
 shutdown
 clock rate 2000000
!
interface Serial0/5
 no ip address
 shutdown
 clock rate 2000000
!
router ospf 1
 log-adjacency-changes
 network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
!
ip forward-protocol nd
!
!
no ip http server
no ip http secure-server
!
no cdp log mismatch duplex
```

Figura 17. Configuración del router R2.

El problema estaba una dirección mal colocada ya que la interfaz serial 0/1 tiene la IP designada de 11.0.0.2. A continuación se aplicará la corrección.

Router R2

```
R2(config)#inter
R2(config)#interface serial
R2(config)#interface serial 0/1
R2(config-if)#no ip add
R2(config-if)#no ip address 10.0.0.2 255.255.255.0
R2(config-if)#ip
*Mar 1 01:19:40.051: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 3.3.3.3 on Serial0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 11.0.0.2 255.255.255.0
R2(config-if)#
*Mar 1 01:20:11.711: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Serial0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
```

Figura 18. Troubleshooting en el router R2.

La ausencia del mensaje de registro de la consola se debe que no tiene respuesta hacia la interfaz que desea comunicarse, una vez que responde la solicitud se habilita los mensajes de registro.

Router R3

```
R3#
*Mar 1 01:11:09.855: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 1.1.1.1 on Serial0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R3#
```

Figura 19. Conexión del router R3 con el router adyacente.

Se observa que se establece la conexión adyacente que faltaba en la red de forma automática en los router R3 y R6.

Router R6

```
R6(config-if)#
*Mar 1 01:16:21.303: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 1.1.1.1 on Serial0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R6(config-if)#
```

Figura 20. Conexión del router R6 con el router adyacente.

Se realizará un ping desde el router R2 al router R4, como resultado se tendrá una conexión exitosa.

Router R2

```
R2#p
*Mar 1 01:49:47.443: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
R2#ping 5.5.5.5

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 5.5.5.5, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/10/40 ms
R2#
```

Figura 21. Conexión exitosa del router R2.

Habilitar MPLS en cada Interfaz de los routers de la red.

Se habilitará MPLS con su comando más simplificado. Cuando todos los router de interfaz adyacentes estén habilitado el MPLS, se notará que a los segundos saldrá un mensaje de registro que ahora están por conexión LDP.

Router R2

```
R2(config)#inter
R2(config)#interface seri
R2(config)#interface serial 0/0
R2(config-if)#mpls ip
R2(config-if)#mpls ip
R2(config-if)#exit
R2(config)#inter
R2(config)#interface seri
R2(config)#interface serial 0/1
R2(config-if)#mpls
R2(config-if)#mpls ip
R2(config-if)#
*Mar 1 02:01:31.971: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 2.2.2.2:0 (1) is UP
R2(config-if)#
*Mar 1 02:02:13.147: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 3.3.3.3:0 (2) is UP
R2(config-if)#
```

Figura 22. Habilita MPLS en el router R2.

Router R6

```
R6(config)#inter
R6(config)#interface serial
R6(config)#interface serial 0/0
R6(config-if)#mpls
R6(config-if)#mpls ip
R6(config-if)#exit
R6(config)#inter
R6(config)#interface seri
R6(config)#interface serial 0/1
R6(config-if)#mpls
R6(config-if)#mpls ip
R6(config-if)#
*Mar 1 01:57:41.523: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 1.1.1.1:0 (1) is UP
R6(config-if)#exit
R6(config)#inter
R6(config)#interface serial
R6(config)#interface serial 0/2
R6(config-if)#mpls ip
R6(config-if)#
*Mar 1 01:58:55.603: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 3.3.3.3:0 (2) is UP
R6(config-if)#
*Mar 1 01:59:49.407: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 4.4.4.4:0 (3) is UP
R6(config-if)#
```

Figura 23. Habilita MPLS en el router R6.

La conexión LDP establece automáticamente a las adyacentes que han sido configuradas de la misma manera dentro de una red MPLS.

Router R3

```
R3(config)#inter
R3(config)#interface seri
R3(config)#interface serial 0/2
R3(config-if)#mp
R3(config-if)#mpl
R3(config-if)#mpls ip
R3(config-if)#
*Mar 1 01:54:15.751: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 2.2.2.2:0 (2) is UP
R3(config-if)#exit
R3(config)#inter
R3(config)#interface fast
R3(config)#interface seri
R3(config)#interface serial 0/3
R3(config-if)#mpls ip
R3(config-if)#
*Mar 1 01:55:52.423: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 4.4.4.4:0 (3) is UP
R3(config-if)#
*Mar 1 01:56:09.511: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 5.5.5.5:0 (4) is UP
R3(config-if)#
```

Figura 24. Habilita MPLS en el router R3.

Una vez realizada todas las configuraciones MPLS se obtendrá los mensajes de registro en todos los router notificando que la red está habilitada.

Router R7

```
R7(config)#inter
R7(config)#interface seri
R7(config)#interface serial 0/1
R7(config-if)#mpls ip
R7(config-if)#exit
R7(config)#inter
R7(config)#interface serial
R7(config)#interface serial 0/3
R7(config-if)#mpls ip
R7(config-if)#
*Mar 1 01:50:51.791: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 3.3.3.0 (2) is UP
R7(config-if)#
*Mar 1 01:51:20.907: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 5.5.5.0 (3) is UP
R7(config-if)#
```

Figura 25. Habilita MPLS en el router R7.

El método más sencillo para de habilitar el multiprotocolo MPLS es el comando **“MPLS IP”** en las interfaces del router.

Router R4

```
R4(config)#inter
R4(config)#interface seri
R4(config)#interface serial 0/0
R4(config-if)#mpls ip
R4(config-if)#
*Mar 1 01:47:29.079: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 3.3.3.0 (1) is UP
R4(config-if)#exit
R4(config)#inter
R4(config)#interface serial
R4(config)#interface serial 0/1
R4(config-if)#mpls ip
R4(config-if)#
*Mar 1 01:47:41.067: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 4.4.4.0 (2) is UP
R4(config-if)#
```

Figura 26. Habilita MPLS en el router R4.

Se procede a ingresar el comando **“show MPLS LDP neighbor”** que permita ver las adyacencias MPLS-LDP que se han formado en la red.

Router R3

```
R3#show mpls
R3#show mpls ldp
R3#show mpls ldp nei
R3#show mpls ldp neighbor
  Peer LDP Ident: 1.1.1.1:0; Local LDP Ident 3.3.3.3:0
  TCP connection: 1.1.1.1.646 - 3.3.3.3.46316
  State: Oper; Msgs sent/rcvd: 26/26; Downstream
  Up time: 00:09:48
  LDP discovery sources:
    Serial0/0, Src IP addr: 10.0.0.1
  Addresses bound to peer LDP Ident:
    10.0.0.1      11.0.0.2      1.1.1.1
  Peer LDP Ident: 2.2.2.2:0; Local LDP Ident 3.3.3.3:0
  TCP connection: 2.2.2.2.646 - 3.3.3.3.57410
  State: Oper; Msgs sent/rcvd: 26/25; Downstream
  Up time: 00:09:15
  LDP discovery sources:
    Serial0/2, Src IP addr: 15.0.0.1
  Addresses bound to peer LDP Ident:
    12.0.0.1      11.0.0.1      15.0.0.1      2.2.2.2
  Peer LDP Ident: 4.4.4.4:0; Local LDP Ident 3.3.3.3:0
  TCP connection: 4.4.4.4.53465 - 3.3.3.3.646
  State: Oper; Msgs sent/rcvd: 23/23; Downstream
  Up time: 00:07:38
  LDP discovery sources:
    Serial0/3, Src IP addr: 16.0.0.1
  Addresses bound to peer LDP Ident:
    12.0.0.2      13.0.0.1      16.0.0.1      4.4.4.4
  Peer LDP Ident: 5.5.5.5:0; Local LDP Ident 3.3.3.3:0
  TCP connection: 5.5.5.5.47616 - 3.3.3.3.646
  State: Oper; Msgs sent/rcvd: 24/23; Downstream
  Up time: 00:07:26
  LDP discovery sources:
    Serial0/1, Src IP addr: 14.0.0.2
  Addresses bound to peer LDP Ident:
    14.0.0.2      13.0.0.2      5.5.5.5
```

Figura 27. Adyacencias MPLS-LDP del router R3.

Agregar dos CE en cada extremo

Se incrementa la red con dos router más como CE para así darle al enrutamiento OSPF más opciones de rutas. En el router R2, la interfaz FastEthernet que da comunicación con el CE se configura la dirección y habilita la relación MPLS-LDP para dicha interfaz de la misma forma con el router R4.

Los clientes finales son los enrutadores en las instalaciones del cliente que está conectado al borde del proveedor de una red IP/MPLS.

Router R2

```
R2#en
R2#enable
R2#conf
R2#configure t
R2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R2(config)#inter
R2(config)#interface fast
R2(config)#interface fastEthernet 0/0
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 192.168.10.2 255.255.255.0
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#
*Mar 1 02:50:31.995: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 02:50:32.995: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R2(config-if)#int lo0
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#exit
R2(config)#inter
R2(config)#interface fast
R2(config)#interface fastEthernet 0/0
R2(config-if)#mpls ip
R2(config-if)#
```

Figura 28. Configura las interfaces del router R2.

Router R4

```
R4#en
R4#enable
R4#conf
R4#configure t
R4#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R4(config)#inter
R4(config)#interface fast
R4(config)#interface fastEthernet 0/0
R4(config-if)#ip add
R4(config-if)#ip address 192.168.20.2 255.255.255.0
R4(config-if)#no shu
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#
*Mar 1 02:39:09.747: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 02:39:10.747: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R4(config-if)#int lo0
R4(config-if)#ip add
R4(config-if)#ip address 5.5.5.5 255.255.255.0
R4(config-if)#no shu
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#exit
R4(config)#inter
R4(config)#interface fast
R4(config)#interface fastEthernet 0/0
R4(config-if)#mpls ip
R4(config-if)#
```

Figura 29. Configura las interfaces del router R4.

Se configura los CE de la misma forma que los routers anteriores salvo el loopback.

Router R1

```
R1#en
R1#enable
R1#conf
R1#configure t
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 0/0
R1(config-if)#ip add
R1(config-if)#ip address 192.168.10.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shu
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
*Mar 1 01:35:41.811: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 01:35:42.811: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 0/0
R1(config-if)#mpls ip
R1(config-if)#exit
R1(config)#router
R1(config)#router osp
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#net
R1(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 are
R1(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R1(config-router)#
*Mar 1 01:37:18.119: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 1.1.1.1 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R1(config-router)#e
*Mar 1 01:37:26.579: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 1.1.1.1:0 (1) is UP
R1(config-router)#
```

Figura 30. Asignación de OSPF y MPLS-LDP del router R1.

Cuando la configuración ya ha sido realizada en las interfaces del router se logra ver los mensajes de registro en la consola del router notificando que se ha establecido la conexión.

Router R5

```
R5#en
R5#enable
R5#conf
R5#configure t
R5#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R5(config)#inter
R5(config)#interface fast
R5(config)#interface fastEthernet 0/0
R5(config-if)#ip add
R5(config-if)#ip address 192.168.20.1 255.255.255.0
R5(config-if)#no shu
R5(config-if)#no shutdown
R5(config-if)#
*Mar 1 01:38:57.459: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 01:38:58.459: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R5(config-if)#exit
R5(config)#inter
R5(config)#interface fast
R5(config)#interface fastEthernet 0/0
R5(config-if)#mpls ip
R5(config-if)#exit
R5(config)#router
R5(config)#router osp
R5(config)#router ospf 1
R5(config-router)#net
R5(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 are
R5(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R5(config-router)#
*Mar 1 01:39:46.151: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 5.5.5.5 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R5(config-router)#
*Mar 1 01:39:56.895: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 5.5.5.5:0 (1) is UP
R5(config-router)#
```

Figura 31. Asignación de OSPF y MPLS-LDP del router R2.

Se procede a realizar una verificación de conexión entre CE se envía 5 paquetes y recibe 5 como resultado de una conexión exitosa.

Router R1

```
R1#ping 192.168.20.1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.20.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 20/30/36 ms
R1#
```

Figura 32. Verificación de conexión del router R1.

Se usa el comando de **“traceroute”** para poder observar las posibles rutas o caminos de los paquetes y medir las latencias de tránsito y los tiempos de ida y vuelta de los CE.

Router R1

```
R1#traceroute 192.168.20.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.20.1
 0 192.168.10.2 [MPLS: Label 25 Exp 0] 20 msec 20 msec 20 msec
 1 10.0.0.2 [MPLS: Label 24 Exp 0] 12 msec 8 msec 12 msec
 2 14.0.0.2 8 msec 12 msec 8 msec
 3 192.168.20.1 20 msec 28 msec 32 msec
R1#
```

Figura 33. Ruta más corta desde el router R1 al router R5.

Adaptar el tamaño de transmisión máxima los routers R6 y R7

Para finalizar se adaptará un tamaño de transmisión máxima para así lograr cambiar la ruta más corta por una ruta más larga, pero de mayor velocidad de transmisión. Así logrando que sea la óptima a elegir.

Se asigna el tamaño de transmisión máxima en los interfaces seriales de los routers R6 y R7.

Router R6

```
R6#en
R6#enable
R6#conf
R6#configure t
R6#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R6(config)#inter
R6(config)#interface seri
R6(config)#interface serial 0/1
R6(config-if)#ban
R6(config-if)#bandwidth 1000000
R6(config-if)#exit
R6(config)#inter
R6(config)#interface serial
R6(config)#interface serial 0/0
R6(config-if)#ban
R6(config-if)#bandwidth 1000000
R6(config-if)#exit
R6(config)#
```

Figura 34. Aumento de tamaño de transmisión máxima en el router R6.

Se establece el ancho de banda en las interfaces por donde se quiere establecer una ruta de forma manual en la red.

Router R7

```
R7#en
R7#enable
R7#conf
R7#configure t
R7#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R7(config)#inter
R7(config)#interface seri
R7(config)#interface serial 0/0
R7(config-if)#bn
R7(config-if)#band
R7(config-if)#bandwidth 1000000
R7(config-if)#exit
R7(config)#inter
R7(config)#interface seria
R7(config)#interface serial 0/1
R7(config-if)#ban
R7(config-if)#bandwidth 1000000
R7(config-if)#
```

Figura 35. Aumento de tamaño de transmisión máxima en el router R7.

Comprobación del cambio de ruta del enrutamiento OSPF en una red MPLS

Por último, se tiene como resultado el cambio a una ruta más optimizada. Al aumentar el tamaño de transmisión máxima a una superior de sus otras rutas el protocolo la elegiría como la óptima de la red.

Router R1

```
R1#tracer
R1#traceroute 192.168.20.1

Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 192.168.20.1

 0 192.168.10.2 [MPLS: Label 20 Exp 0] 8 msec 28 msec 16 msec
 1 11.0.0.1 [MPLS: Label 20 Exp 0] 20 msec 12 msec 8 msec
 2 12.0.0.2 [MPLS: Label 20 Exp 0] 8 msec 8 msec 20 msec
 3 13.0.0.2 12 msec 8 msec 20 msec
 4 192.168.20.1 24 msec 20 msec 36 msec
R1#
```

Figura 36. Ruta óptima desde el router R1 al router R2.

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ASIGNATURA:

NRO.

PRÁCTICA

3 y 4

TÍTULO DE PRÁCTICA: SERVICIO DE LAN PRIVADA VIRTUAL SOBRE UNA RED MPLS CON OSPF Y EIGRP

OBJETIVO GENERAL:

Crear un servicio de LAN privada virtual con OSPF y EIGRP sobre MPLS,

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Implementar VRF en los PE.
- Asignación del direccionamiento IP, loopback y habilitar CEF y MPLS-LDP para los PE.
- Habilitar protocolo EIGRP, OSPF y BGP.
- Verificar conexiones y tabla de VPN.

INSTRUCCIONES	1. Cableado e inicialización de los routers.
	2. Implementar VRF en los PE.
	3. Asignación del direccionamiento IP, loopback y habilitar CEF y MPLS-LDP.
	4. Habilitar protocolo EIGRP.
	5. Habilitar protocolo BGP.
	6. Redistribución de EIGRP en la VPN.
	7. Enrutamiento OSPF en los PE de la red MPLS.
	8. Configuración del router P.
	9. Configurar los routers CE.
	10. Verificación de comunicación, Tablas de enrutamiento y VPN de los CE.

Topología

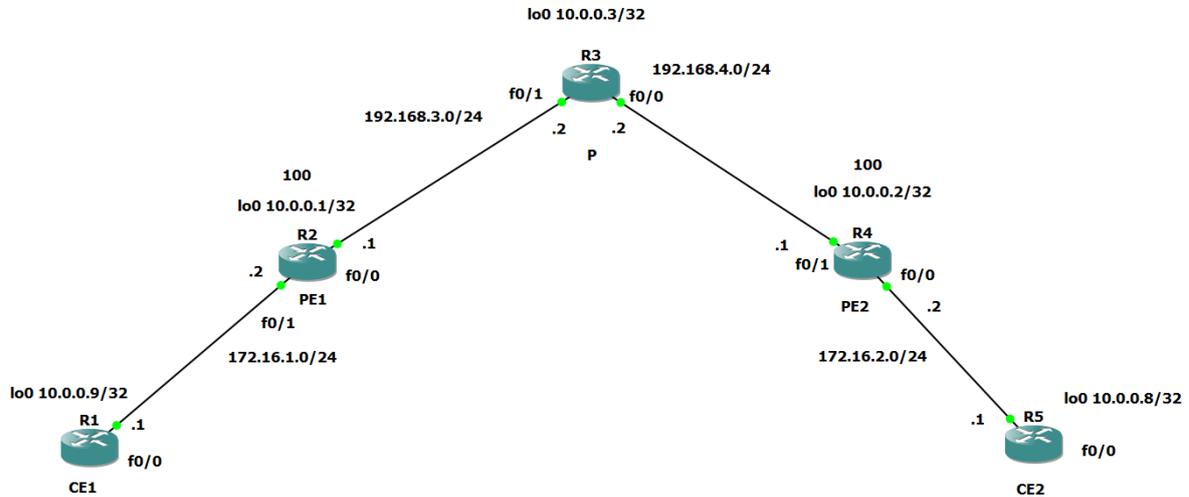


Figura 1. Topología de conexión.

Tabla de enrutamiento

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Máscara de Subred	Gateway Predeterminado
R1	lo0	10.0.0.9	255.255.255.255	N/A
	f0/0	172.16.1.1	255.255.255.0	N/A
R2	lo0	10.0.0.1	255.255.255.255	N/A
	f0/0	192.168.3.1	255.255.255.0	N/A
	f0/1	172.16.1.2	255.255.255.0	N/A
R3	lo0	10.0.0.3	255.255.255.255	N/A
	f0/0	192.168.4.2	255.255.255.0	N/A
	f0/1	192.168.3.2	255.255.255.0	N/A
R4	lo0	10.0.0.2	255.255.255.255	N/A
	f0/0	172.16.2.2	255.255.255.0	N/A
	f0/1	192.168.4.1	255.255.255.0	N/A
R5	lo0	10.0.0.8	255.255.255.255	N/A
	f0/0	172.16.2.1	255.255.255.0	N/A

Cableado e inicialización de los routers

Se conectará por consola a los diferentes equipos, borrar su configuración si es necesario y establecer el nombre asignado en la topología a cada router utilizando los siguientes comandos, por ejemplo, en el caso del router R1.

```
R1#en
R1#enable
R1#er
R1#erase st
R1#erase startup-config
Erasing the nvram filesystem will remove all configuration files! Continue? [confirm]
[OK]
Erase of nvram: complete
R1#
*Mar  1 00:01:08.859: %SYS-7-NV_BLOCK_INIT: Initialized the geometry of nvram
R1#relo
R1#reload
Proceed with reload? [confirm]
```

Figura 2. Wipe out del router.

Implementar VRF en los PE

Se centra primeramente en los 3 routers principales que son R2, R3 y R4. Ahora se le otorga un nombre a los routers para que así se puedan reconocer con mayor facilidad. Implementar VRF en cada PE para crear redes privadas virtuales.

Router PE1

```
R2#en
R2#enable
R2#conf
R2#configure t
R2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R2(config)#host
R2(config)#hostname PE1
PE1(config)#ip vrf vpn1
PE1(config-vrf)#rd 100:1
PE1(config-vrf)#route
PE1(config-vrf)#route-target ex
PE1(config-vrf)#route-target export 100:1
PE1(config-vrf)#route
PE1(config-vrf)#route-target impo
PE1(config-vrf)#route-target import 100:1
PE1(config-vrf)#exit
PE1(config)#
```

Figura 2. Implementa VRF en el router PE1.

El VRF permite que un enrutador ejecute más de una tabla de enrutamiento simultáneamente, siendo dichas tablas completamente independientes.

Router PE2

```
R4#en
R4#enable
R4#conf
R4#configure t
R4#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R4(config)#hostname
R4(config)#hostname PE2
PE2(config)#ip vrf vpn1
PE2(config-vrf)#rd 100:1
PE2(config-vrf)#route
PE2(config-vrf)#route-target ex
PE2(config-vrf)#route-target export 100:1
PE2(config-vrf)#route
PE2(config-vrf)#route-target impo
PE2(config-vrf)#route-target import 100:1
PE2(config-vrf)#exit
PE2(config)#
```

Figura 3. Implementa VRF en el router PE2.

Asignación del direccionamiento IP, loopback, habilitar CEF y MPLS-LDP

Se asigna las direcciones IP en la interfaz y a su vez se habilita MPLS-LDP. Activar el CEF, es una tarea esencial para la toma de decisiones respecto de donde deben reenviar los paquetes que reciben. Este proceso se llama conmutación.

Luego de haber activado CE, se configura el protocolo que permite la distribución de etiquetas en cada una de las interfaces que hablaran MPLS con el comando **“MPLS Label protocol LDP”**, después se utilizará el comando **“MPLS IP”** para habilitar MPLS en todas las interfaces del dominio MPLS.

Router PE1

```
PE1(config)#ip ce
PE1(config)#ip cef
PE1(config)#inter
PE1(config)#interface loo
PE1(config)#interface loopback 0
PE1(config-if)#ip add
PE1(config-if)#ip address
*Mar 1 00:21:57.647: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
PE1(config-if)#ip address 10.0.0.1 255.255.255.255
PE1(config-if)#exit
PE1(config)#inter
PE1(config)#interface fast
PE1(config)#interface fastEthernet 0/0
PE1(config-if)#ip add
PE1(config-if)#ip address 192.168.3.1 255.255.255.0
PE1(config-if)#no shu
PE1(config-if)#no shutdown
PE1(config-if)#
*Mar 1 00:22:49.027: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:22:50.027: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
PE1(config-if)#mpls
PE1(config-if)#mpls la
PE1(config-if)#mpls label pro
PE1(config-if)#mpls label protocol ldp
PE1(config-if)#mpls label protocol ldp
PE1(config-if)#mpls ip
PE1(config-if)#exit
PE1(config)#
```

Figura 4. Habilita CEF, loopback y MPLS-LDP en el router PE1.

El comando utilizado **“MPLS LDP router-id loopback 0 force”**, permite forzar a MPLS a utilizar interfaz lógica loopback 0 como identificador del router para las adyacentes LDP.

Router PE2

```
PE2(config)#ip cef
PE2(config)#mpls ldp
PE2(config)#mpls ldp route
PE2(config)#mpls ldp router-id loo
PE2(config)#mpls ldp router-id loopback 0 fo
PE2(config)#mpls ldp router-id loopback 0 force
PE2(config)#
*Mar 1 00:34:32.515: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
PE2(config)#mpls label
PE2(config)#mpls label pro
PE2(config)#mpls label protocol ldp
PE2(config)#inter
PE2(config)#interface loo
PE2(config)#interface loopback 0
PE2(config-if)#ip add
PE2(config-if)#ip address 10.0.0.2 255.255.255.255
PE2(config-if)#exit
PE2(config)#inter
PE2(config)#interface fast
PE2(config)#interface fastEthernet 0/1
PE2(config-if)#ip add
PE2(config-if)#ip address 192.168.4.1 255.255.255.0
PE2(config-if)#no shu
PE2(config-if)#no shutdown
PE2(config-if)#
*Mar 1 00:36:54.051: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar 1 00:36:55.051: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
PE2(config-if)#mpls labe
PE2(config-if)#mpls label pro
PE2(config-if)#mpls label protocol ldp
PE2(config-if)#mpls label protocol ldp
PE2(config-if)#mpls ip
PE2(config-if)#mpls ip
PE2(config-if)#exit
PE2(config)#
```

Figura 5. Habilita CEF, loopback y MPLS-LDP en el router PE2.

Para permitir a varias instancias de una tabla de enrutamiento existir en un router y trabajar simultáneamente ya que PE1, P y PE2 trabajarán con protocolo OSPF y la comunicación entre PE a CE será de enrutamiento EIGRP.

Router PE1

```
PE1(config)#inter
PE1(config)#interface fast
PE1(config)#interface fastEthernet 0/1
PE1(config-if)#ip vrf
PE1(config-if)#ip vrf for
PE1(config-if)#ip vrf forwarding vp
PE1(config-if)#ip vrf forwarding vpn1
PE1(config-if)#ip add
PE1(config-if)#ip address 172.16.1.2 255.255.255.0
PE1(config-if)#no shu
PE1(config-if)#no shutdown
PE1(config-if)#
*Mar 1 00:48:11.251: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar 1 00:48:12.251: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
PE1(config-if)#
```

Figura 6. VRF para una VPN entre el router PE1 y el router CE1.

Como resultado se obtiene en el router una tabla de direcciones IP pública y privada en la red.

Router PE2

```
PE2(config)#inter
PE2(config)#interface fast
PE2(config)#interface fastEthernet 0/0
PE2(config-if)#ip vrf
PE2(config-if)#ip vrf fro
PE2(config-if)#ip vrf for
PE2(config-if)#ip vrf forwarding vpn1
PE2(config-if)#ip add
PE2(config-if)#ip address 172.16.2.2 255.255.255.0
PE2(config-if)#no shu
PE2(config-if)#no shutdown
PE2(config-if)#
*Mar 1 01:02:39.231: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 01:02:40.231: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
PE2(config-if)#
```

Figura 7. VRF para una VPN entre el router PE2 y el router CE2.

Habilitar protocolo EIGRP

El protocolo EIGRP tendrá una conexión en serie con CE y PE exclusivamente. También se implementará la redistribución de rutas para propagar rutas aprendidas con el uso del protocolo EIGRP.

Router PE1

```
PE1(config)#router
PE1(config)#router eig
PE1(config)#router eigrp 1000
PE1(config-router)#add
PE1(config-router)#address-family ipv4
PE1(config-router)#address-family ipv4 vrf
PE1(config-router)#address-family ipv4 vrf vpn1
PE1(config-router-af)#red
PE1(config-router-af)#redistribute bgp
PE1(config-router-af)#redistribute bgp 100 me
PE1(config-router-af)#redistribute bgp 100 metric 10000 100 255 1 1500
PE1(config-router-af)#net
PE1(config-router-af)#network 172.16.1.0
PE1(config-router-af)#no auto-
PE1(config-router-af)#no auto-summary
PE1(config-router-af)#autono
PE1(config-router-af)#autonomous-system 1000
PE1(config-router-af)#exit
PE1(config-router)#
```

Figura 8. Protocolo EIGRP del router PE1.

El protocolo OSPF que estará en el núcleo de la red MPLS-LDP, como resultado se tendrá que habilitar BGP por motivo que es un protocolo de puerta de enlace de frontera que intercambiara información de encaminamiento entre sistemas autónomos.

Router PE2

```
PE2(config)#router
PE2(config)#router ei
PE2(config)#router eigrp 1000
PE2(config-router)#auto-
PE2(config-router)#auto-summary
PE2(config-router)#add
PE2(config-router)#address-family ipv4
PE2(config-router)#address-family ipv4 vrf
PE2(config-router)#address-family ipv4 vrf vpn1
PE2(config-router-af)#redis
PE2(config-router-af)#redistribute bg
PE2(config-router-af)#redistribute bgp 100 me
PE2(config-router-af)#redistribute bgp 100 metric 10000 100 255 1 1500
PE2(config-router-af)#net
PE2(config-router-af)#network 172.16.2.0
PE2(config-router-af)#no auto-
PE2(config-router-af)#no auto-summary
PE2(config-router-af)#auto
PE2(config-router-af)#autono
PE2(config-router-af)#autonomous-system 1000
PE2(config-router-af)#
```

Figura 9. Protocolo EIGRP del router PE2.

Habilitar protocolo BGP

Se habilita un protocolo de puerta de enlace exterior para intercambiar información de encaminamientos entre enrutadores de diferentes sistemas autónomos como tener en el núcleo que será OSPF y en la conexión serial PE a CE será EIGRP.

Router PE1

```
PE1(config)#router bg
PE1(config)#router bgp 100
PE1(config-router)#no sy
PE1(config-router)#no synchronization
PE1(config-router)#nei
PE1(config-router)#neighbor 10.0.0.2 remote-as
PE1(config-router)#neighbor 10.0.0.2 remote-as 100
PE1(config-router)#nei
PE1(config-router)#neighbor 10.0.0.2 update
PE1(config-router)#neighbor 10.0.0.2 update-source loo
PE1(config-router)#neighbor 10.0.0.2 update-source loopback 0
PE1(config-router)#add
PE1(config-router)#address-family vpv4
PE1(config-router-af)#nei
PE1(config-router-af)#neighbor 10.0.0.2 ac
PE1(config-router-af)#neighbor 10.0.0.2 activate
PE1(config-router-af)#nei
PE1(config-router-af)#neighbor 10.0.0.2 send-c
PE1(config-router-af)#neighbor 10.0.0.2 send-community ext
PE1(config-router-af)#neighbor 10.0.0.2 send-community ext
PE1(config-router-af)#neighbor 10.0.0.2 send-community extended
PE1(config-router-af)#exit
PE1(config-router)#add
PE1(config-router)#
```

Figura 10. Comunicación desde el núcleo con protocolo BGP en el router PE1.

Permite usar parámetros de ruta y crear un entorno de enrutamiento estable desde el núcleo hasta los CE.

Router PE2

```
PE2(config)#router
PE2(config)#router bgp
PE2(config)#router bgp 100
PE2(config-router)#no sy
PE2(config-router)#no synchronization
PE2(config-router)#nei
PE2(config-router)#neighbor 10.0.0.1 re
PE2(config-router)#neighbor 10.0.0.1 remote-as
PE2(config-router)#neighbor 10.0.0.1 remote-as 100
PE2(config-router)#nei
PE2(config-router)#neighbor 10.0.0.1 up
PE2(config-router)#neighbor 10.0.0.1 update-source loo
PE2(config-router)#neighbor 10.0.0.1 update-source loopback 0
PE2(config-router)#no aut
PE2(config-router)#no auto-summary
PE2(config-router)#add
PE2(config-router)#address-family vpnv4
PE2(config-router-af)#nei
PE2(config-router-af)#neighbor 10.0.0.1 ac
PE2(config-router-af)#neighbor 10.0.0.1 activate
PE2(config-router-af)#nei
PE2(config-router-af)#neighbor 10.0.0.1 send
PE2(config-router-af)#neighbor 10.0.0.1 send-community ex
PE2(config-router-af)#neighbor 10.0.0.1 send-community extended
PE2(config-router-af)#
```

Figura 11. Comunicación desde el núcleo con protocolo BGP en el router PE2.

Redistribución de EIGRP en a VPN

Aplica a un método para propagar una ruta estática de PE a CE dentro del dominio de routing EIGRP.

Router PE1

```
PE1(config-router)#add
PE1(config-router)#address-family ipv4 vrf vpn1
PE1(config-router-af)#red
PE1(config-router-af)#redistribute con
PE1(config-router-af)#redistribute connected
PE1(config-router-af)#red
PE1(config-router-af)#redistribute ei
PE1(config-router-af)#redistribute eigrp 1000
PE1(config-router-af)#no syn
PE1(config-router-af)#no synchronization
PE1(config-router-af)#
```

Figura 12. Redistribución de EIGRP en el router PE1.

Router PE2

```
PE2(config-router)#add
PE2(config-router)#address-family ipv4
PE2(config-router)#address-family ipv4 vrf
PE2(config-router)#address-family ipv4 vrf vpn1
PE2(config-router-af)#redi
PE2(config-router-af)#redistribute con
PE2(config-router-af)#redistribute connected
PE2(config-router-af)#redi
PE2(config-router-af)#redistribute ei
PE2(config-router-af)#redistribute eigrp 1000
PE2(config-router-af)#no syn
PE2(config-router-af)#no synchronization
PE2(config-router-af)#exit
PE2(config-router)#
```

Figura 13. Redistribución de EIGRP en el router PE2.

Enrutamiento OSPF en los PE de la red MPLS

A continuación, se configurará los PE para que posean una comunicación con el router P aplicando al protocolo de encaminamiento dinámico OSPF.

Router PE1

```
PE1(config)#router
PE1(config)#router osp
PE1(config)#router ospf 1
PE1(config-router)#net
PE1(config-router)#network 192.168.3.0 0.0.0.255 area
PE1(config-router)#network 192.168.3.0 0.0.0.255 area 0
PE1(config-router)#net
PE1(config-router)#network 10.0.0.1 0.0.0.0 are
PE1(config-router)#network 10.0.0.1 0.0.0.0 area 0
PE1(config-router)#
```

Figura 14. Enrutamiento OSPF del router PE1.

Router PE2

```
PE2(config)#router
PE2(config)#router ospf
PE2(config)#router ospf 1
PE2(config-router)#net
PE2(config-router)#network 10.0.0.2 0.0.0.0 are
PE2(config-router)#network 10.0.0.2 0.0.0.0 area 0
PE2(config-router)#net
PE2(config-router)#network 192.168.4.0 0.0.0.255 are
PE2(config-router)#network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 0
PE2(config-router)#end
PE2#
*Mar 1 00:38:18.907: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
PE2#
```

Figura 15. Enrutamiento OSPF del router PE2.

Configuración del Router principal de la red MPLS

Se repiten los mismos pasos de los PE para el router P. Se asignan las direcciones IP de las interfaces, loopback y se habilitará el MPLS-LDP. Para más detalle ver los pasos anteriores.

Router P

```
R3#conf
R3#configure t
R3#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R3(config)#host
R3(config)#hostname P
P(config)#inter
P(config)#interface loo
P(config)#interface loopback 0
P(config-if)#ip add
P(config-if)#ip address
*Mar 1 00:28:18.843: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
P(config-if)#ip address 10.0.0.3 255.255.255.255
P(config-if)#exit
P(config)#inter
P(config)#interface fast
P(config)#interface fastEthernet 0/0
P(config-if)#ip add
P(config-if)#ip address 192.168.4.2 255.255.255.0
P(config-if)#no shut
P(config-if)#no shutdown
P(config-if)#
*Mar 1 00:33:39.507: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:33:40.507: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
```

Figura 16. Asignación de dirección IP, loopback del router P.

Router P

```
P(config-if)#mpls
P(config-if)#mpls labe
P(config-if)#mpls label protocol
P(config-if)#mpls label protocol ldp
P(config-if)#mpls label protocol ldp
P(config-if)#mpls ip
P(config-if)#exit
P(config)#inter
P(config)#interface fas
P(config)#interface fastEthernet 0/1
P(config-if)#ip add
P(config-if)#ip address 192.168.3.2 255.255.255.0
P(config-if)#no shu
P(config-if)#no shutdown
P(config-if)#
*Mar  1 00:38:45.775: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar  1 00:38:46.775: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
P(config-if)#mpls label pro
P(config-if)#mpls label protocol ldp
P(config-if)#mpls label protocol ldp
P(config-if)#mpls ip
P(config-if)#
```

Figura 17. Asignación MPLS-LDP en el router P.

Se habilita uno de los modos de conmutación disponibles, tomando como base de referencia la tabla de enrutamiento IP, como resultado CEF crea su propia tabla de reenvío.

Después se fuerza a MPLS utilizar interfaz lógica loopback0 como identificador del router para las adyacentes LDP.

Router P

```
P(config)#ip cef
P(config)#mpls ldp rout
P(config)#mpls ldp router-id loo
P(config)#mpls ldp router-id loopback 0 force
P(config)#mpls ldp router-id loopback 0 force
P(config)#mpls labe
P(config)#mpls label pro
P(config)#mpls label protocol ldp
P(config)#
```

Figura 18. Conmutación del router P.

Se habilita OSPF en el router P, ya realizado las configuraciones de los PE teniendo como resultado los mensajes de registro que indican que están en conexión por loopback.

Router P

```
P(config)#router
P(config)#router ospf
P(config)#router ospf 1
P(config-router)#net
P(config-router)#network 10.0.0.3 0.0.0.0 are
P(config-router)#network 10.0.0.3 0.0.0.0 area 0
P(config-router)#net
P(config-router)#network 192.168.3.0 0.0.0.255 are
P(config-router)#network 192.168.3.0 0.0.0.255 area 0
P(config-router)#net
P(config-router)#network 192.
*Mar 1 00:47:15.171: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 10.0.0.1 on FastEthernet0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
P(config-router)#network 192.168.4.0 0.0.0.25
*Mar 1 00:47:25.947: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 10.0.0.1:0 (1) is UP
P(config-router)#network 192.168.4.0 0.0.0.255 are
P(config-router)#network 192.168.4.0 0.0.0.255 area 0
P(config-router)#
*Mar 1 00:47:40.091: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 10.0.0.2 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
P(config-router)#
*Mar 1 00:47:45.931: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 10.0.0.2:0 (2) is UP
P(config-router)#end
P#
*Mar 1 00:49:54.495: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
P#
```

Figura 19. Enrutamiento OSPF en el router P.

También se verá cómo los PE muestran mensajes de registro de una conexión adyacentes exitosa.

Router PE1

```
PE1#
*Mar 1 01:12:45.499: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 10.0.0.3 on FastEthernet0/0
from LOADING to FULL, Loading Done
PE1#
*Mar 1 01:12:56.303: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 10.0.0.3:0 (1) is UP
PE1#
*Mar 1 01:13:20.035: %BGP-5-ADJCHANGE: neighbor 10.0.0.2 Up
PE1#
```

Figura 20. Conexión adyacente del router PE1.

El mensaje de registro solo se obtiene cuando la conexión deseada obtiene una respuesta a la solicitud del otro router conectado en la interfaz adyacente.

Router PE2

```
PE2#
*Mar 1 01:04:30.507: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 10.0.0.3 on FastEthernet0/1
  from LOADING to FULL, Loading Done
PE2#
*Mar 1 01:04:36.383: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 10.0.0.3:0 (1) is UP
PE2#
*Mar 1 01:04:40.123: %BGP-5-ADJCHANGE: neighbor 10.0.0.1 Up
PE2#
```

Figura 21. Conexión adyacente del router PE2.

Configuración de los routers CE

Para finalizar se agregan dos routers como clientes finales que portarán VRF en sus redes LAN con VPN en una red MPLS con enrutamiento interno OSPF y externo EIGRP.

Router CE1

```
R1#conf
R1#configure t
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#host
R1(config)#hostname CE1
CE1(config)#inter
CE1(config)#interface loo
CE1(config)#interface loopback 0
CE1(config-if)#ip
*Mar 1 00:44:45.867: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
CE1(config-if)#ip add
CE1(config-if)#ip address 10.0.0.9 255.255.255.255
CE1(config-if)#exit
CE1(config)#inter
CE1(config)#interface fast
CE1(config)#interface fastEthernet 0/0
CE1(config-if)#ip add
CE1(config-if)#ip address 172.16.1.1 255.255.255.0
CE1(config-if)#no shu
CE1(config-if)#no shutdown
CE1(config-if)#
*Mar 1 00:45:29.883: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:45:30.883: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
CE1(config-if)#exit
```

Figura 22. Asignación de dirección IP, loopback del router CE1.

Se procede primeramente a la asignación de dirección IP, loopback y se habilita MPLS-LDP.

Router CE1

```
CE1(config)#ip cef
CE1(config)#mpls ldp
CE1(config)#mpls ldp rout
CE1(config)#mpls ldp router-id lo
CE1(config)#mpls ldp router-id loopback 0 for
CE1(config)#mpls ldp router-id loopback 0 force
CE1(config)#mpls labe
CE1(config)#mpls label pro
CE1(config)#mpls label protocol ldp
CE1(config)#mpls label protocol ldp
CE1(config)#
```

Figura 22. Asignación MPLS-LDP en el router CE1.

La configuración del router CE1 se repite para el router CE2 con el cambio correspondiente a sus direcciones IP propuestas en la tabla de enrutamiento.

Router CE2

```
R5#en
R5#enable
R5#conf
R5#configure t
R5#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R5(config)#hostname
R5(config)#hostname CE2
CE2(config)#inter
CE2(config)#interface fast
CE2(config)#interface fastEthernet 0/0
CE2(config-if)#ip add
CE2(config-if)#ip address 172.16.2.1 255.255.255.0
CE2(config-if)#no shu
CE2(config-if)#no shutdown
CE2(config-if)#
*Mar 1 00:51:47.003: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:51:48.003: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
CE2(config-if)#exit
CE2(config)#inter
CE2(config)#interface loop
CE2(config)#interface loopback 0
CE2(config-if)#ip add
CE2(config-if)#ip address
*Mar 1 00:52:00.975: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
CE2(config-if)#ip address 10.0.0.8 255.255.255.255
CE2(config-if)#exit
CE2(config)#ip cef
CE2(config)#mpls ldp
CE2(config)#mpls ldp route
CE2(config)#mpls ldp router-id loo
CE2(config)#mpls ldp router-id loopback 0
CE2(config)#mpls ldp router-id loopback 0 for
CE2(config)#mpls ldp router-id loopback 0 force
CE2(config)#mpls labe
CE2(config)#mpls label pro
CE2(config)#mpls label protocol ldp
CE2(config)#mpls label protocol ldp
CE2(config)#
```

Figura 22. Asignación de dirección IP, loopback y MPLS-LDP del router CE2.

Se habilitará el EIGRP como enrutamiento externo, como se tiene configurado en núcleo se obtienen mensajes de registro de conexión exitosa en la red MPLS.

Router CE1

```
CE1(config)#router
CE1(config)#router ei
CE1(config)#router eigrp 1000
CE1(config-router)#net
CE1(config-router)#network 172.16.1.0
CE1(config-router)#
*Mar 1 00:52:11.903: %DUAL-5-NBRCHANGE: IP-EIGRP(0) 1000: Neighbor 172.16.1.2 (FastEthernet0/0) is up: new adjacency
CE1(config-router)#net
CE1(config-router)#network 10.0.0.9
CE1(config-router)#no auto-s
CE1(config-router)#no auto-summary
CE1(config-router)#
*Mar 1 00:52:33.919: %DUAL-5-NBRCHANGE: IP-EIGRP(0) 1000: Neighbor 172.16.1.2 (FastEthernet0/0) is resync: summary configured
CE1(config-router)#
```

Figura 23. Enrutamiento EIGRP del router CE1.

Una vez configurados los router, la consola establecerá unos mensajes de registro sobre una nueva conexión adyacente del router.

Router CE2

```
CE2(config)#router
CE2(config)#router ei
CE2(config)#router eigrp 1000
CE2(config-router)#net
CE2(config-router)#network 172.16.2.0
CE2(config-router)#net
CE2(config-router)#network
*Mar 1 00:55:23.495: %DUAL-5-NBRCHANGE: IP-EIGRP(0) 1000: Neighbor 172.16.2.2 (FastEthernet0/0) is up: new adjacency
CE2(config-router)#network 10.0.0.8
CE2(config-router)#no auto-s
CE2(config-router)#no auto-summary
CE2(config-router)#
*Mar 1 00:55:48.443: %DUAL-5-NBRCHANGE: IP-EIGRP(0) 1000: Neighbor 172.16.2.2 (FastEthernet0/0) is resync: summary configured
CE2(config-router)#
```

Figura 24. Enrutamiento EIGRP del router CE2.

Verificaciones de Comunicación, Tablas de enrutamiento y VPN de los CE

Se verificará la conexión entre clientes terminales CE y también se observará cuantos saltos hará el router CE2 para llegar al router CE1.

Router CE2

```
CE2#ping 10.0.0.9
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.0.9, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 20/56/80 ms
CE2#ping 172.16.1.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 172.16.1.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 20/47/72 ms
CE2#tracer
CE2#traceroute 172.16.1.1
Type escape sequence to abort.
Tracing the route to 172.16.1.1
 0 172.16.2.2 12 msec 8 msec 28 msec
 1 172.16.2.2 12 msec 8 msec 28 msec
 2 192.168.4.2 [MPLS: Labels 16/16 Exp 0] 56 msec 16 msec 40 msec
 3 172.16.1.2 16 msec 44 msec 24 msec
 4 172.16.1.1 56 msec 36 msec 36 msec
CE2#
```

Figura 25. Conexión entre terminales.

En la tabla de router CE2, se observa que usa el protocolo EIGRP para comunicación externa.

Router CE2

```
CE2#show ip route
CE2#show ip route
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 not set

 172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
D    172.16.1.0 [90/307200] via 172.16.2.2, 00:06:39, FastEthernet0/0
C    172.16.2.0 is directly connected, FastEthernet0/0
 10.0.0.0/32 is subnetted, 2 subnets
C    10.0.0.8 is directly connected, Loopback0
D    10.0.0.9 [90/435200] via 172.16.2.2, 00:06:39, FastEthernet0/0
CE2#
```

Figura 26. Tabla de enrutamiento del router CE2.

En la tabla de router P, se observa que usa el protocolo OSPF para comunicación interna.

Router P

```
P#show ip route
P#show ip route
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 not set

C    192.168.4.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
  10.0.0.0/32 is subnetted, 3 subnets
O    10.0.0.2 [110/11] via 192.168.4.1, 00:38:17, FastEthernet0/0
C    10.0.0.3 is directly connected, Loopback0
O    10.0.0.1 [110/11] via 192.168.3.1, 00:38:37, FastEthernet0/1
C    192.168.3.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
P#
```

Figura 27. Tabla de enrutamiento del router P.

Los enrutadores PE ejecuta más de una tabla de enrutamiento simultáneamente para poder utilizar VPN.

En la tabla de enrutamiento del router PE2, se observa de manera más clara que el protocolo se usa para las rutas internas y rutas externas.

Router PE2

```
PE2#show ip route
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 not set

C    192.168.4.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
    10.0.0.0/32 is subnetted, 3 subnets
C    10.0.0.2 is directly connected, Loopback0
O    10.0.0.3 [110/11] via 192.168.4.2, 00:38:35, FastEthernet0/1
O    10.0.0.1 [110/21] via 192.168.4.2, 00:38:35, FastEthernet0/1
O    192.168.3.0/24 [110/20] via 192.168.4.2, 00:38:35, FastEthernet0/1
PE2#show ip route
PE2#show ip route vrf vpn1

Routing Table: vpn1
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 not set

    172.16.0.0/24 is subnetted, 2 subnets
B    172.16.1.0 [200/0] via 10.0.0.1, 00:41:07
C    172.16.2.0 is directly connected, FastEthernet0/0
    10.0.0.0/32 is subnetted, 2 subnets
D    10.0.0.8 [90/409600] via 172.16.2.1, 00:11:16, FastEthernet0/0
B    10.0.0.9 [200/409600] via 10.0.0.1, 00:21:51
PE2#
```

Figura 28. Tabla de enrutamiento pública y privada del router PE2.

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ASIGNATURA:

**NRO.
PRÁCTICA**

5 y 6

TÍTULO DE PRÁCTICA: CONFIGURACIÓN DE SUBINTERFACES CON ETIQUETAS 802.1Q (VLAN) Y CONEXIÓN DE INTERFACES HABILITADAS PARA MAPEO DE VLAN EN UNA RED MPLS.

OBJETIVO GENERAL:

Configurar las subinterfaces con etiquetas 802.1q (VLAN), y habilitarlas para mapeo de VLAN en una red MPLS.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Asignar del direccionamiento de la interfaz, loopback y protocolo OSPF.
- Conexión de interfaces habilitadas para mapeo de VLAN a una red MPLS.
- Configurar las de subinterfaces con etiquetas 802.1Q.
- Verificación de conexiones entre VLAN 's.

INSTRUCCIONES	1. Cableado e inicialización de los routers.
	2. Asignación del direccionamiento de la interfaz y loopback.
	3. Asignación del protocolo OSPF.
	4. Conexión de interfaces habilitadas para el mapeo de VLAN a una red MPLS.
	5. Configuración de subinterfaces con etiquetas 802.1Q (VLANS).
	6. Asignar la dirección IP a la VPC con su respectiva máscara y puerta de enlace.
	7. Verificación de conexiones entre VLANS desde la VPC 1.

Topología

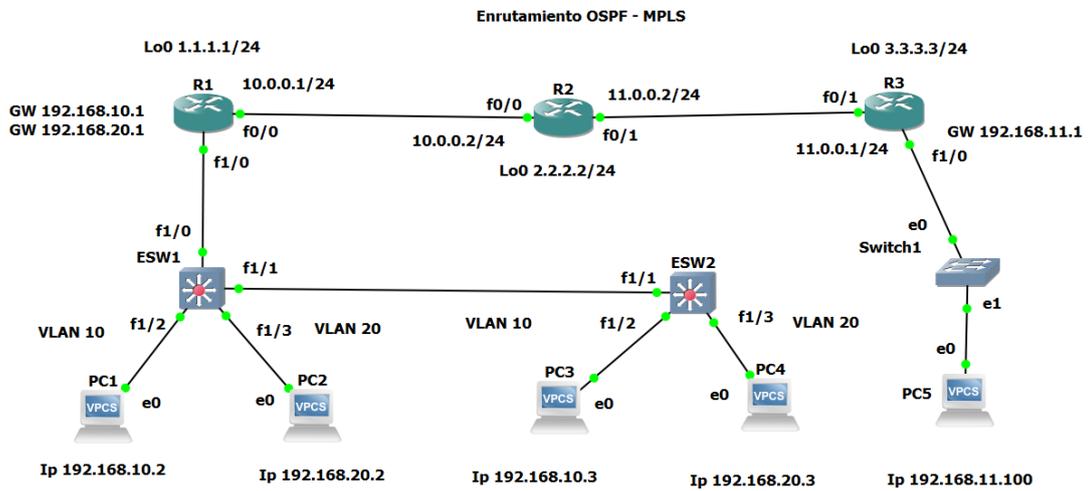


Figura 1. Topología de conexión.

Tabla de enrutamiento

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Máscara de Subred	Gateway Predeterminado
R1	lo0	1.1.1.1	255.255.255.0	N/A
	f0/0	10.0.0.1	255.255.255.0	N/A
	f1/0	192.168.10.1 192.168.20.1	255.255.255.0	N/A
R2	lo0	2.2.2.2	255.255.255.0	N/A
	f0/0	10.0.0.2	255.255.255.0	N/A
	f0/1	11.0.0.2	255.255.255.0	N/A
R3	lo0	3.3.3.3	255.255.255.0	N/A
	f0/1	11.0.0.1	255.255.255.0	N/A

	f1/0	192.168.11.1	255.255.255.0	N/A
PC1	e0	192.168.10.2	255.255.255.0	192.168.10.1
PC2	e0	192.168.20.2	255.255.255.0	192.168.20.1
PC3	e0	192.168.10.3	255.255.255.0	192.168.10.1
PC4	e0	192.168.20.3	255.255.255.0	192.168.20.1
PC5	e0	192.168.11.100	255.255.255.0	192.168.11.1

Cableado e inicialización de los routers

Se conectará por consola a los diferentes equipos, borrar su configuración si es necesario y establecer el nombre asignado en la topología a cada router utilizando los siguientes comandos, por ejemplo, en el caso del router R1.

```
R1#en
R1#enable
R1#er
R1#erase st
R1#erase startup-config
Erasing the nvram filesystem will remove all configuration files! Continue? [confirm]
[OK]
Erase of nvram: complete
R1#
*Mar  1 00:01:08.859: %SYS-7-NV_BLOCK_INIT: Initialized the geometry of nvram
R1#relo
R1#reload
Proceed with reload? [confirm]
```

Figura 2. Wipe our del router.

Asignación del direccionamiento de la Interfaz y loopback

Se le asignan sus respectivas direcciones como está planteado en la tabla de enrutamiento con sus respectivas interfaces, siempre es recomendable asignarle un nombre al router. A cada router hay que habilitar la interfaz FastEthernet y la loopback.

Router R1

```
R1#ena
R1#enable
R1#conf
R1#configure t
R1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#hostname R1
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 0/0
R1(config-if)#ip add
R1(config-if)#ip address 10.0.0.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shu
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
*Mar 1 00:06:08.827: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:06:09.827: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R1(config-if)#int lo0
R1(config-if)#ip add
R1(config-if)#ip address
*Mar 1 00:06:49.479: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R1(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
R1(config-if)#
```

Figura 3. Asignación de direcciones IP del router R1.

La configuración del router R2 será más extensa debido a que posee dos interfaces.

Router R2

```
R2#en
R2#enable
R2#conf
R2#configure t
R2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R2(config)#hostname R2
R2(config)#inter
R2(config)#interface fast
R2(config)#interface fastEthernet 0/0
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 10.0.0.2 255.255.255.0
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#int lo
*Mar 1 00:07:49.467: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:07:50.467: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
R2(config-if)#int lo0
R2(config-if)#ip
*Mar 1 00:07:54.779: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.0
R2(config-if)#exit
R2(config)#inter
R2(config)#interface fast
R2(config)#interface fastEthernet 0/1
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 11.0.0.2 255.255.255.0
R2(config-if)#no shu
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#
*Mar 1 00:08:37.131: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar 1 00:08:38.131: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
R2(config-if)#int lo0
R2(config-if)#ip add
R2(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.0
R2(config-if)#
```

Figura 4. Asignación de direcciones IP del router R2.

Router R3

```
R3#en
R3#enable
R3#conf
R3#configure t
R3#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R3(config)#hostname
R3(config)#hostname R3
R3(config)#inter
R3(config)#interface fast
R3(config)#interface fastEthernet 0/1
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address 11.0.0.1 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
*Mar 1 00:01:00.995: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar 1 00:01:01.995: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
R3(config-if)#int lo0
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address
*Mar 1 00:01:09.539: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R3(config-if)#ip address 3.3.3.3 255.255.255.0
R3(config-if)#
```

Figura 5. Asignación de direcciones IP del router R3.

Se puede observar que no se levanta las loopback, por motivo que son interfaces virtuales que el router mantiene siempre habilitado para evitar que el protocolo pueda caer.

Se verifica con un ping del R1 a su loopback, así mismo un ping hasta la entrada del router R2.

Router R1

```
R1#ping 1.1.1.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 1.1.1.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 4/4/4 ms
R1#ping 10.0.0.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.0.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 8/16/28 ms
R1#
```

Figura 6. Conectividad desde el router R1.

No se puede realizar un ping exitoso hacia la salida del router R2, debido que no conoce aún la ruta.

Router R1

```
R1#ping 11.0.0.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 11.0.0.2, timeout is 2 seconds:
.....
Success rate is 0 percent (0/5)
R1#
```

Figura 7. Conexión fallida del router R1.

Asignación del protocolo OSPF

Para que el enrutamiento sea general se usará la dirección IP de 0.0.0.0 255.255.255, es decir cualquier dirección IP tendrá acceso a la ruta del protocolo OSPF. Se repite lo mismo para el router R2 y router R3.

Router R1

```
R1(config)#router
R1(config)#router ospf
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#net
R1(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area
R1(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R1(config-router)#
```

Figura 8. Protocolo OSPF del router R1.

Una vez realizado la configuración de enrutamiento OSPF en los routers: R1, R2 y R3, se obtendrá un mensaje de registro que establece una conexión adyacente.

Router R2

```
R2(config-router)#
*Mar  1 00:38:22.795: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 1.1.1.1 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R2(config-router)#
*Mar  1 00:39:02.811: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 3.3.3.3 on FastEthernet0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R2(config-router)#
```

Figura 9. Conexiones adyacentes del router R2.

Como resultado de las conexiones adyacente el router ya conoce las rutas por lo tanto el ping desde el router R1 llegara al R3.

Router R1

```
R1#ping 11.0.0.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 11.0.0.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 20/28/36 ms
R1#ping 3.3.3.3
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 3.3.3.3, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 28/36/44 ms
R1#
```

Figura 10. Conexiones del router R1.

En la tabla de enrutamiento están todas rutas aprendidas por el enrutamiento OSPF en el router R2.

Router R2

```
R2#show ip rout
R2#show ip route os
R2#show ip route ospf
  1.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O   1.1.1.1 [110/11] via 10.0.0.1, 00:11:00, FastEthernet0/0
  3.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O   3.3.3.3 [110/11] via 11.0.0.1, 00:10:20, FastEthernet0/1
R2#show ip route
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 not set

  1.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O   1.1.1.1 [110/11] via 10.0.0.1, 00:11:14, FastEthernet0/0
  2.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C   2.2.2.0 is directly connected, Loopback0
  3.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O   3.3.3.3 [110/11] via 11.0.0.1, 00:10:34, FastEthernet0/1
 10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C   10.0.0.0 is directly connected, FastEthernet0/0
 11.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C   11.0.0.0 is directly connected, FastEthernet0/1
R2#
```

Figura 11. Tabla de enrutamiento del router R2.

Conexión de interfaces habilitadas para mapeo de VLAN a una red MPLS

A continuación, se puede ver la configuración del protocolo OSPF para configurar el MPLS en cada interfaz que tenga el protocolo OSPF. De una forma muy sencilla.

Router R1

```
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 0/0
R1(config-if)#mpls ip
R1(config-if)#
```

Figura 12. Configuración MPLS del router R1.

Se repite el mismo procedimiento en los router R2 y R3, después se puede ver un mensaje de registro que saldrá una vez que se configure los routers adyacentes “LDP-5-NBRCHG” que están ya conectadas.

Router R1

```
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 0/0
R1(config-if)#mpls ip
R1(config-if)#
*Mar  1 00:56:48.223: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 2.2.2.2:0 (1) is UP
R1(config-if)#
```

Figura 13. Conexión adyacente del router R1.

Ahora se procede a comprobar si las interfaces están siendo ejecutadas como MPLS aplicando LDP y sus conexiones adyacentes.

Router R2

```
R2#show mpls inter
R2#show mpls interfaces
Interface          IP           Tunnel   Operational
FastEthernet0/0    Yes (ldp)    No       Yes
FastEthernet0/1    Yes (ldp)    No       Yes
R2#show mpls ldp nei
R2#show mpls ldp neighbor
Peer LDP Ident: 1.1.1.1:0; Local LDP Ident 2.2.2.2:0
TCP connection: 1.1.1.1.646 - 2.2.2.2.11611
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 20/20; Downstream
Up time: 00:11:28
LDP discovery sources:
FastEthernet0/0, Src IP addr: 10.0.0.1
Addresses bound to peer LDP Ident:
10.0.0.1      1.1.1.1
Peer LDP Ident: 3.3.3.3:0; Local LDP Ident 2.2.2.2:0
TCP connection: 3.3.3.3.55644 - 2.2.2.2.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 20/20; Downstream
Up time: 00:10:51
LDP discovery sources:
FastEthernet0/1, Src IP addr: 11.0.0.1
Addresses bound to peer LDP Ident:
11.0.0.1     3.3.3.3
R2#
```

Figura 14. Tabla de interfaces MPLS del router R1.

Configuración de subinterfaces con etiquetas 802.1Q (VLAN 's)

Se establecen dos VLAN la 10 y la 20 con conexión total a todos los equipos, permitiendo intercambio de información de una forma etiquetada, es decir desde que departamento VLAN proviene la información.

De esta forma, un usuario podría disponer de varias VLANs dentro de un mismo EtherSwitch, cada una de estas redes agrupa los equipos de un determinado segmento de red al momento de crear estas particiones se tiene una ventaja bastante clara a la hora de administrar la red.

EtherSwitch ESW1

```
ESW1#vlan data
ESW1#vlan database
% Warning: It is recommended to configure VLAN from config mode,
as VLAN database mode is being deprecated. Please consult user
documentation for configuring VTP/VLAN in config mode.

ESW1(vlan)#vlan 10
VLAN 10 added:
    Name: VLAN0010
ESW1(vlan)#vlan 20
VLAN 20 added:
    Name: VLAN0020
ESW1(vlan)#exit
APPLY completed.
Exiting...
ESW1#
```

Figura 15. Creación de VLAN10 y VLAN20.

Una vez creados las VLANs desde a VLAN database, ahora se tendrá que dar acceso para que pasen información por la interfaz designada en el EtherSwitch.

EtherSwitch ESW1

```
ESW1#conf
ESW1#configure t
ESW1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
ESW1(config)#inter
ESW1(config)#interface fast
ESW1(config)#interface fastEthernet 1/2
ESW1(config-if)#swi
ESW1(config-if)#switchport mod
ESW1(config-if)#switchport mode acc
ESW1(config-if)#switchport mode access
ESW1(config-if)#swi
ESW1(config-if)#switchport acc
ESW1(config-if)#switchport access vlan
ESW1(config-if)#switchport access vlan 10
ESW1(config-if)#exit
ESW1(config)#inter
ESW1(config)#interface fast
ESW1(config)#interface fastEthernet 1/3
ESW1(config-if)#swi
ESW1(config-if)#switchport mode
ESW1(config-if)#switchport mode acc
ESW1(config-if)#switchport mode access
ESW1(config-if)#swi
ESW1(config-if)#switchport acc
ESW1(config-if)#switchport access vlan
ESW1(config-if)#switchport access vlan 20
ESW1(config-if)#exit
ESW1(config)#
```

Figura 16. Acceso a las VLANs por las interfaces.

Después se establecerá una conexión troncal entre los ESW1 y ESW2 para permitir el paso del tráfico de las distintas VLANs que se ha configurado.

EtherSwitch ESW1

```
ESW1(config)#inter
ESW1(config)#interface fast
ESW1(config)#interface fastEthernet 1/1
ESW1(config-if)#swi
ESW1(config-if)#switchport mode
ESW1(config-if)#switchport mode tr
ESW1(config-if)#switchport mode trunk
ESW1(config-if)#
*Mar  1 00:12:34.823: %DTP-5-TRUNKPORTON: Port Fa1/1 has become dot1q trunk
ESW1(config-if)#
```

Figura 17. Establecimiento de una troncal.

Repetir los mismos pasos para el EtherSwitch ESW2 para lograr el mismo resultado que el EtherSwitch ESW1.

EtherSwitch ESW2

```
ESW2(config)#inter
ESW2(config)#interface fast
ESW2(config)#interface fastEthernet 1/2
ESW2(config-if)#swi
ESW2(config-if)#switchport mode
ESW2(config-if)#switchport mode acc
ESW2(config-if)#switchport mode access
ESW2(config-if)#swi
ESW2(config-if)#switchport acc
ESW2(config-if)#switchport access vlan 10
ESW2(config-if)#exit
ESW2(config)#inter
ESW2(config)#interface fas
ESW2(config)#interface fastEthernet 1/3
ESW2(config-if)#swi
ESW2(config-if)#switchport mode
ESW2(config-if)#switchport mode acc
ESW2(config-if)#switchport mode access
ESW2(config-if)#swi
ESW2(config-if)#switchport acc
ESW2(config-if)#switchport access vlan 20
ESW2(config-if)#exit
ESW2(config)#inter
ESW2(config)#interface fast
ESW2(config)#interface fastEthernet 1/1
ESW2(config-if)#swi
ESW2(config-if)#switchport mode
ESW2(config-if)#switchport mode tru
ESW2(config-if)#switchport mode trunk
ESW2(config-if)#
*Mar  1 00:13:41.819: %DTP-5-TRUNKPORTON: Port Fa1/1 has become dot1q trunk
ESW2(config-if)#exit
ESW2(config)#
```

Figura 18. Acceso a las VLANs por las interfaces y establecimientos de troncal.

Asignar la dirección IP a la VPC con su respectiva máscara y puerta de enlace.

Se establece una comunicación solo entre VLANs de igual etiqueta, es decir no se comunicarán entre VLAN diferentes. Las comprobaciones de conexión por medio de ping de las VLAN.

PC1

```
PC1> ip 192.168.10.2 255.255.255.0 192.168.10.1
Checking for duplicate address...
PC1 : 192.168.10.2 255.255.255.0 gateway 192.168.10.1

PC1> ping 192.168.10.3

84 bytes from 192.168.10.3 icmp_seq=1 ttl=64 time=0.200 ms
84 bytes from 192.168.10.3 icmp_seq=2 ttl=64 time=0.286 ms
84 bytes from 192.168.10.3 icmp_seq=3 ttl=64 time=0.265 ms
84 bytes from 192.168.10.3 icmp_seq=4 ttl=64 time=1.297 ms
84 bytes from 192.168.10.3 icmp_seq=5 ttl=64 time=0.265 ms
^C
PC1> ping 192.168.20.2

host (192.168.10.1) not reachable

PC1> ping 192.168.20.3

host (192.168.10.1) not reachable

PC1> █
```

Figura 19. Dirección IP, máscara y puerta de enlace de la VPC.

Para tener una conexión completa o definida, habrá que establecer una conexión troncal del EtherSwitch ESW1 al router R1.

EtherSwitch ESW1

```
ESW1(config)#inter
ESW1(config)#interface fast
ESW1(config)#interface fastEthernet 1/0
ESW1(config-if)#swi
ESW1(config-if)#switchport mode
ESW1(config-if)#switchport mode tru
ESW1(config-if)#switchport mode trunk
ESW1(config-if)#
*Mar  1 00:33:15.515: %DTP-5-TRUNKPORTON: Port Fa1/0 has become dot1q trunk
ESW1(config-if)#
```

Figura 20. Establecimiento de troncal en la interfaz.

Se procederá a levantar la interfaz del router R1 que tiene conexión con EtherSwitch ESW1, y se establecerá un encapsulamiento con la dirección IP de la puerta de enlace de cada VLAN, para que tanto la información de la VLAN 10 como la VLAN 20 pase fluidamente por toda la red.

Router R1

```
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 1/0
R1(config-if)#no shu
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#ex
*Mar  1 00:37:18.551: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet1/0, changed state to up
*Mar  1 00:37:19.551: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet1/0, changed state to up
R1(config-if)#exit
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 1/0.10
R1(config-subif)#en
R1(config-subif)#encapsulation do
R1(config-subif)#encapsulation dot1Q 10
R1(config-subif)#ip add
R1(config-subif)#ip address 192.168.10.1 255.255.255.0
R1(config-subif)#no shu
R1(config-subif)#no shutdown
R1(config-subif)#exit
R1(config)#inter
R1(config)#interface fast
R1(config)#interface fastEthernet 1/0.20
R1(config-subif)#en
R1(config-subif)#encapsulation do
R1(config-subif)#encapsulation dot1Q 20
R1(config-subif)#ip add
R1(config-subif)#ip address 192.168.20.1 255.255.255.0
R1(config-subif)#no shu
R1(config-subif)#no shutdown
R1(config-subif)#
```

Figura 21. Encapsulamiento de las VLANs en la interfaz FastEthernet 1/0.

Se comprobará la tabla de conexión de EtherSwitch ESW1, mostrando el grupo de interfaces que maneja.

EtherSwitch ESW1

```

ESW1#show vlan
ESW1#show vlan-s
ESW1#show vlan-switch

```

VLAN	Name	Status	Ports
1	default	active	Fa1/4, Fa1/5, Fa1/6, Fa1/7 Fa1/8, Fa1/9, Fa1/10, Fa1/11 Fa1/12, Fa1/13, Fa1/14, Fa1/15
10	VLAN0010	active	Fa1/2
20	VLAN0020	active	Fa1/3
1002	fddi-default	act/unsup	
1003	token-ring-default	act/unsup	
1004	fdnet-default	act/unsup	
1005	trnet-default	act/unsup	

VLAN	Type	SAID	MTU	Parent	RingNo	BridgeNo	Stp	BrdgMode	Trans1	Trans2
1	enet	100001	1500	-	-	-	-	-	1002	1003
10	enet	100010	1500	-	-	-	-	-	0	0
20	enet	100020	1500	-	-	-	-	-	0	0
1002	fddi	101002	1500	-	-	-	-	-	1	1003
1003	tr	101003	1500	1005	0	-	-	srb	1	1002
1004	fdnet	101004	1500	-	-	1	-	ibm	0	0
1005	trnet	101005	1500	-	-	1	-	ibm	0	0

Figura 22. VLANs con las interfaces asignadas.

La tabla de troncal del EtherSwitch ESW1 se observa que interfaces están troncas y las que VLANs que tiene acceso a esa conexión.

EtherSwitch ESW1

```

ESW1#show inter
ESW1#show interfaces trunk

```

Port	Mode	Encapsulation	Status	Native vlan
Fa1/0	on	802.1q	trunking	1
Fa1/1	on	802.1q	trunking	1

Port	Vlans allowed on trunk
Fa1/0	1-4094
Fa1/1	1-4094

Port	Vlans allowed and active in management domain
Fa1/0	1,10,20
Fa1/1	1,10,20

Port	Vlans in spanning tree forwarding state and not pruned
Fa1/0	1,10,20
Fa1/1	1,10,20

Figura 23. Interfaces con asignación de troncales.

Se configura el router R3 para que la VPC5 tenga acceso a la red creada.

Router R3

```
R3(config)#inter
R3(config)#interface fast
R3(config)#interface fastEthernet 1/0
R3(config-if)#ip add
R3(config-if)#ip address 192.168.11.1 255.255.255.0
R3(config-if)#no shu
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
*Mar  1 00:49:45.759: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet1/0, changed state to up
*Mar  1 00:49:46.759: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet1/0, changed state to up
R3(config-if)#
```

Figura 24. Levantamiento de la interfaz del router R3.

Verificación de conexiones entre VLANs desde la VPCs 1

Para finalizar se selecciona la VPC1 para hacer ping a todos los VPCs, se deberá tener una conexión sin restricción a todas las máquinas.

PC1

```
PC1> ping 192.168.20.2
192.168.20.2 icmp_seq=1 timeout
84 bytes from 192.168.20.2 icmp_seq=2 ttl=63 time=19.226 ms
84 bytes from 192.168.20.2 icmp_seq=3 ttl=63 time=18.815 ms
84 bytes from 192.168.20.2 icmp_seq=4 ttl=63 time=15.074 ms
84 bytes from 192.168.20.2 icmp_seq=5 ttl=63 time=15.725 ms

PC1> ping 192.168.20.3
192.168.20.3 icmp_seq=1 timeout
84 bytes from 192.168.20.3 icmp_seq=2 ttl=63 time=13.309 ms
84 bytes from 192.168.20.3 icmp_seq=3 ttl=63 time=12.741 ms
84 bytes from 192.168.20.3 icmp_seq=4 ttl=63 time=17.785 ms
84 bytes from 192.168.20.3 icmp_seq=5 ttl=63 time=17.662 ms

PC1> ping 192.168.20.2
84 bytes from 192.168.20.2 icmp_seq=1 ttl=63 time=20.738 ms
84 bytes from 192.168.20.2 icmp_seq=2 ttl=63 time=12.168 ms
84 bytes from 192.168.20.2 icmp_seq=3 ttl=63 time=12.710 ms
84 bytes from 192.168.20.2 icmp_seq=4 ttl=63 time=20.504 ms
84 bytes from 192.168.20.2 icmp_seq=5 ttl=63 time=12.920 ms

PC1> ping 192.168.20.3
84 bytes from 192.168.20.3 icmp_seq=1 ttl=63 time=21.526 ms
84 bytes from 192.168.20.3 icmp_seq=2 ttl=63 time=12.273 ms
84 bytes from 192.168.20.3 icmp_seq=3 ttl=63 time=19.204 ms
84 bytes from 192.168.20.3 icmp_seq=4 ttl=63 time=14.090 ms
84 bytes from 192.168.20.3 icmp_seq=5 ttl=63 time=14.226 ms

PC1> ping 192.168.10.3
84 bytes from 192.168.10.3 icmp_seq=1 ttl=64 time=0.199 ms
84 bytes from 192.168.10.3 icmp_seq=2 ttl=64 time=0.249 ms
84 bytes from 192.168.10.3 icmp_seq=3 ttl=64 time=0.318 ms
84 bytes from 192.168.10.3 icmp_seq=4 ttl=64 time=0.260 ms
84 bytes from 192.168.10.3 icmp_seq=5 ttl=64 time=0.283 ms

PC1> ping 192.168.11.100
84 bytes from 192.168.11.100 icmp_seq=1 ttl=61 time=52.569 ms
84 bytes from 192.168.11.100 icmp_seq=2 ttl=61 time=37.755 ms
84 bytes from 192.168.11.100 icmp_seq=3 ttl=61 time=50.771 ms
84 bytes from 192.168.11.100 icmp_seq=4 ttl=61 time=32.171 ms
84 bytes from 192.168.11.100 icmp_seq=5 ttl=61 time=48.265 ms

PC1> █
```

Figura 25. Conectividad de VLANs.

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ASIGNATURA:

**NRO.
PRÁCTICA**

7

TÍTULO DE PRÁCTICA: DESARROLLO DE RED MPLS CON CLIENTES.

OBJETIVO GENERAL:

En esta práctica se desarrolla la configuración de una red MPLS en un entorno simulado con GNS3. Para esta topología se añadirán host de clientes para posteriormente utilizar herramientas que proporciona GNS3 y Wireshark para comprobar el correcto funcionamiento de la red.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Levantamientos de las interfaces de los routers.
- Configuración de protocolos necesarios para el funcionamiento de la red MPLS, entre estos están el protocolo OSPF y LDP.
- Verificar la configuración y funcionamiento de la red MPLS utilizando los diferentes comandos y herramientas.

INSTRUCCIONES	1. Configuración de red.
	2. Asignación dl direccionamiento de la loopback e interfaces.
	3. Activación del protocolo OSPF.
	4. Configuración de MPLS.
	5. Asignar la dirección IP a la VPC con su respectiva máscara y puerta de enlace.
	6. Comprobar el correcto funcionamiento de la red.

Topología

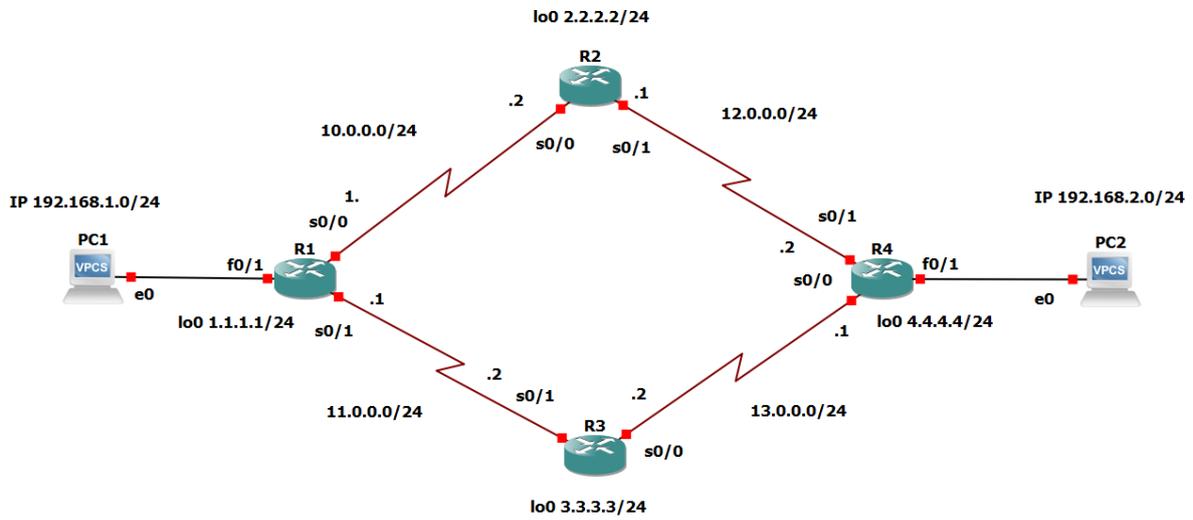


Figura 1. Topología de conexión.

Tabla de enrutamiento

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Máscara de Subred	Gateway Predeterminado
R1	lo0	1.1.1.1	255.255.255.0	N/A
	f0/1	192.168.1.100	255.255.255.0	N/A
	s0/0	10.0.0.1	255.255.255.0	N/A
	s0/1	11.0.0.1	255.255.255.0	N/A
R2	lo0	2.2.2.2	255.255.255.0	N/A
	s0/0	10.0.0.2	255.255.255.0	N/A
	s0/1	12.0.0.1	255.255.255.0	N/A
R3	lo0	3.3.3.3	255.255.255.0	N/A
	s0/0	13.0.0.2	255.255.255.0	N/A

	s0/1	11.0.0.2	255.255.255.0	N/A
R4	lo0	4.4.4.4	255.255.255.0	N/A
	f0/1	192.168.2.100	255.255.255.0	N/A
	s0/0	13.0.0.1	255.255.255.0	N/A
	s0/1	12.0.0.2	255.255.255.0	N/A
PC1	e0	192.168.1.100	255.255.255.0	192.168.1.1
PC2	e0	192.168.2.100	255.255.255.0	192.168.2.1

Configuración de la red

Se conectará por consola a los diferentes equipos, borrar su configuración si es necesario y establecer el nombre asignado en la topología a cada router utilizando los siguientes comandos, por ejemplo, en el caso del router R1.

Router R1

```

R1#en
R1#enable
R1#er
R1#erase st
R1#erase startup-config
Erasing the nvram filesystem will remove all configuration files! Continue? [confirm]
[OK]
Erase of nvram: complete
R1#
*Mar  1 00:01:08.859: %SYS-7-NV_BLOCK_INIT: Initialized the geometry of nvram
R1#relo
R1#reload
Proceed with reload? [confirm]

```

Figura 2. Wipe out del router.

Asignación del direccionamiento de la loopback e interfaces

Se levanta las interfaces con sus respectivas direcciones IP, loopback en cada uno de los routers.

Router R1

```
R1(config)#interface fastEthernet 0/1
R1(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
*Mar 1 00:02:05.067: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar 1 00:02:06.067: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
R1(config-if)#int lo0
R1(config-if)#ip
*Mar 1 00:02:22.663: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R1(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#exit
R1(config)#interface serial 0/0
R1(config-if)#ip address 10.0.0.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
*Mar 1 00:03:29.099: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/0, changed state to up
R1(config-if)#
*Mar 1 00:03:30.103: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to up
R1(config-if)#int lo0
R1(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#e
*Mar 1 00:03:59.635: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to down
R1(config-if)#exit
R1(config)#interface serial 0/1
R1(config-if)#ip address 11.0.0.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
*Mar 1 00:04:45.183: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/1, changed state to up
R1(config-if)#
*Mar 1 00:04:46.187: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to up
R1(config-if)#int lo0
R1(config-if)#ip address 1.1.1.1 255.255.255.0
R1(config-if)#no shutdown
R1(config-if)#
*Mar 1 00:05:09.643: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to down
R1(config-if)#
```

Figura 3. Levantamiento de interfaces del router R1.

Se habilitan los interfaces para configurar las direcciones IP propuestas en la tabla de enrutamiento.

Router R2

```
R2(config)#interface serial 0/0
R2(config-if)#ip address 10.0.0.2 255.255.255.0
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#
*Mar 1 00:06:56.835: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/0, changed state to up
R2(config-if)#
*Mar 1 00:06:57.839: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to up
R2(config-if)#int lo0
R2(config-if)#ip adr
*Mar 1 00:07:05.315: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R2(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.0
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#exit
R2(config)#interface serial 0/1
R2(config-if)#ip address 12.0.0.1 255.255.255.0
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#
*Mar 1 00:08:41.879: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/1, changed state to up
R2(config-if)#
*Mar 1 00:08:42.883: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to up
R2(config-if)#int lo0
R2(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.2
*Mar 1 00:09:09.415: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to down
R2(config-if)#ip address 2.2.2.2 255.255.255.0
R2(config-if)#no shutdown
R2(config-if)#
```

Figura 4. Levantamiento de las interfaces del router R2.

La dirección IP ayuda a gestionar la conexión entre un dispositivo y un sitio de destino identificando de forma exclusiva cada uno de los dispositivos en la red.

Router R3

```
R3(config)#interface serial 0/0
R3(config-if)#ip address 13.0.0.2 255.255.255.0
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
*Mar 1 00:08:34.875: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/0, changed state to up
R3(config-if)#
*Mar 1 00:08:35.879: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to up
R3(config-if)#int lo0
R3(config-if)#
*Mar 1 00:08:43.051: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R3(config-if)#ip address 3.3.3.3 255.255.255.0
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
*Mar 1 00:08:59.803: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to down
R3(config-if)#exit
R3(config)#interface serial 0/1
R3(config-if)#ip address 11.0.0.2 255.255.255.0
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
*Mar 1 00:09:37.639: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/1, changed state to up
R3(config-if)#
*Mar 1 00:09:38.643: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to up
R3(config-if)#int lo0
R3(config-if)#ip address 3.3.3.3 255.255.255.0
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
```

Figura 5. Levantamiento de las interfaces del router R3.

La loopback es una dirección IP reservada específicamente para probar el funcionamiento de TCP/IP y necesaria para una red MPLS.

Router R4

```
R4(config)#interface serial 0/0
R4(config-if)#ip address 13.0.0.1 255.255.255.0
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#
*Mar 1 00:10:17.967: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/0, changed state to up
R4(config-if)#
*Mar 1 00:10:18.971: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/0, changed state to up
R4(config-if)#int lo0
R4(config-if)#
*Mar 1 00:10:25.403: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
R4(config-if)#ip address 4.4.4.4 255.255.255.0
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#exit
R4(config)#interface serial 0/1
R4(config-if)#ip address 12.0.0.2 255.255.255.0
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#
*Mar 1 00:12:28.323: %LINK-3-UPDOWN: Interface Serial0/1, changed state to up
R4(config-if)#
*Mar 1 00:12:29.327: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Serial0/1, changed state to up
R4(config-if)#int lo0
R4(config-if)#ip address 4.4.4.4 255.255.255.0
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#exit
R4(config)#interface fastEthernet 0/1
R4(config-if)#ip address 192.168.2.1 255.255.255.0
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#
*Mar 1 00:14:15.303: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
*Mar 1 00:14:16.303: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
R4(config-if)#int lo0
R4(config-if)#ip address 4.4.4.4 255.255.255.0
R4(config-if)#no shutdown
R4(config-if)#
```

Figura 6. Levantamiento de las interfaces del router R4.

Activación del protocolo OSPF

Se habilita el protocolo OSPF la cual recalcula las rutas en muy poco tiempo cuando cambia la topología de la red.

Router R1

```
R1(config)#router ospf 1
R1(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R1(config-router)#
*Mar 1 00:32:59.435: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Serial0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R1(config-router)#
*Mar 1 00:33:25.675: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 3.3.3.3 on Serial0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R1(config-router)#
```

Figura 7. Protocolo OSPF del router R1.

Router R2

```
R2(config)#router ospf 1
R2(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R2(config-router)#
*Mar  1 00:29:39.379: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 1.1.1.1 on Serial0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R2(config-router)#
*Mar  1 00:30:29.355: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 4.4.4.4 on Serial0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R2(config-router)#
```

Figura 8. Protocolo OSPF del router R2.

Se opta por una network 0.0.0.0 con mascara de subred 255.255.255.255 que facilita el incremento de la red debido a que es una IP libre acoplándose a cualquier interfaz adyacente que tenga el protocolo OSPF.

Router R3

```
R3(config)#router ospf 1
R3(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R3(config-router)#
*Mar  1 00:26:35.535: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 1.1.1.1 on Serial0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
R3(config-router)#
*Mar  1 00:26:59.263: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 4.4.4.4 on Serial0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R3(config-router)#
```

Figura 9. Protocolo OSPF del router R3.

Se muestra los mensajes de registro que las adyacentes están conectadas mediante el protocolo OSPF.

Router R4

```
R4(config)#router ospf 1
R4(config-router)#network 0.0.0.0 255.255.255.255 area 0
R4(config-router)#
*Mar  1 00:25:08.927: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 2.2.2.2 on Serial0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
*Mar  1 00:25:08.927: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 3.3.3.3 on Serial0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
R4(config-router)#
```

Figura 10. Protocolo OSPF del router R4.

Configuración de MPLS

Se habilita el multiprotocolo MPLS que unifica la transferencia de diferentes tipos de datos atreves de la red propuesta

Se utiliza el comando **“MPLS IP”** en cada interface del router que posea una conexión adyacente en la red.

Router R1

```
R1(config)#interface fastEthernet 0/1
R1(config-if)#mpls ip
R1(config-if)#exit
R1(config)#interface serial 0/0
R1(config-if)#mpls ip
R1(config-if)#exit
R1(config)#interface serial 0/1
R1(config-if)#mpls ip
R1(config-if)#
*Mar  1 00:49:55.819: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 2.2.2.2:0 (1) is UP
R1(config-if)#
*Mar  1 00:51:17.263: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 3.3.3.3:0 (2) is UP
R1(config-if)#
```

Figura 11. Interfaces con MPLS del router R1.

Los mensajes de registro se muestran cuando dos routers conectados por una interface han sido configurados.

Router R2

```
R2(config)#interface serial 0/0
R2(config-if)#mpls ip
R2(config-if)#
*Mar  1 00:46:35.715: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 1.1.1.1:0 (1) is UP
R2(config-if)#exit
R2(config)#interface serial 0/1
R2(config-if)#mpls ip
R2(config-if)#
*Mar  1 00:49:21.647: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 4.4.4.4:0 (2) is UP
R2(config-if)#
```

Figura 12. Interfaces con MPLS del router R2.

Los mensajes de registro “LDP-5-NBRCHG” muestran que el multiprotocolo MPLS ha sido habilitado con éxito.

Router R3

```
R3(config)#interface serial 0/0
R3(config-if)#mpls ip
R3(config-if)#exit
R3(config)#interface serial 0/1
R3(config-if)#mpls ip
R3(config-if)#
*Mar 1 00:44:27.087: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 1.1.1.1:0 (1) is UP
R3(config-if)#
*Mar 1 00:46:10.855: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 4.4.4.4:0 (2) is UP
R3(config-if)#
```

Figura 13. Interfaces con MPLS del router R3.

Según la topología presentada cada router debe tener dos conexiones LDP adyacentes.

Router R4

```
R4(config)#interface fastEthernet 0/1
R4(config-if)#mpls ip
R4(config-if)#exit
R4(config)#interface serial 0/1
R4(config-if)#mpls ip
R4(config-if)#
*Mar 1 00:44:01.187: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 2.2.2.2:0 (1) is UP
R4(config-if)#exit
R4(config)#interface serial 0/0
R4(config-if)#mpls ip
R4(config-if)#
*Mar 1 00:44:20.471: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 3.3.3.3:0 (2) is UP
R4(config-if)#
```

Figura 14. Interfaces con MPLS del router R4.

Asignar la dirección IP a la VPC con su respectiva máscara y puerta de enlace

Se establece las direcciones IP, máscara de subred y puerta predeterminada propuestas en la tabla de enrutamiento.

PC1

```
PC1> ip 192.168.1.100 255.255.255.0 192.168.1.1
Checking for duplicate address...
PC1 : 192.168.1.100 255.255.255.0 gateway 192.168.1.1
PC1> █
```

Figura 15. Configuración de protocolo IPV4 de la PC1.

Se utiliza la dirección IP de la puerta de enlace debido a que está intercambiando información con un router.

PC2

```
PC2> ip 192.168.2.100 255.255.255.0 192.168.2.1
Checking for duplicate address...
PC2 : 192.168.2.100 255.255.255.0 gateway 192.168.2.1
PC2> █
```

Figura 16. Configuración de protocolo IPV4 de la PC2.

Comprobar el correcto funcionamiento de la red

Se mostrará las tablas de enrutamiento del router R1 para verificar las interfaces con sus respectivas dirección IP.

Router R1

```
R1#show ip int brief
Interface                IP-Address      OK? Method Status      Protocol
FastEthernet0/0          unassigned      YES unset    administratively down down
Serial0/0                 10.0.0.1        YES manual   up          up
FastEthernet0/1          192.168.1.1     YES manual   up          up
Serial0/1                 11.0.0.1        YES manual   up          up
Serial0/2                 unassigned      YES unset    administratively down down
Serial0/3                 unassigned      YES unset    administratively down down
Serial0/4                 unassigned      YES unset    administratively down down
Serial0/5                 unassigned      YES unset    administratively down down
Loopback0                 1.1.1.1         YES manual   up          up
R1#
```

Figura 17. Tabla de interfaces del router R1.

La tabla de enrutamiento muestra todas conexiones por interfaces con sus respectivas direcciones IP mostrando el protocolo que están usando.

Router R1

```
R1#show ip route
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 not set

    1.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       1.1.1.0 is directly connected, Loopback0
    2.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O       2.2.2.2 [110/65] via 10.0.0.2, 00:47:05, Serial0/0
    3.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O       3.3.3.3 [110/65] via 11.0.0.2, 00:46:39, Serial0/1
    4.0.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
O       4.4.4.4 [110/129] via 11.0.0.2, 00:46:15, Serial0/1
           [110/129] via 10.0.0.2, 00:46:15, Serial0/0
    10.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       10.0.0.0 is directly connected, Serial0/0
    11.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
C       11.0.0.0 is directly connected, Serial0/1
    12.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
O       12.0.0.0 [110/128] via 10.0.0.2, 00:47:10, Serial0/0
C       192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/1
    13.0.0.0/24 is subnetted, 1 subnets
O       13.0.0.0 [110/128] via 11.0.0.2, 00:46:44, Serial0/1
O       192.168.2.0/24 [110/138] via 11.0.0.2, 00:46:21, Serial0/1
           [110/138] via 10.0.0.2, 00:46:21, Serial0/0
```

Figura 18. Tabla de enrutamiento del router R1.

La tabla MPLS LDP indica todas las conexiones adyacentes que el router ha establecido.

Router R1

```
R1#show mpls ldp neighbor
Peer LDP Ident: 2.2.2.2:0; Local LDP Ident 1.1.1.1:0
TCP connection: 2.2.2.2.16713 - 1.1.1.1.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 49/48; Downstream
Up time: 00:31:33
LDP discovery sources:
  Serial0/0, Src IP addr: 10.0.0.2
Addresses bound to peer LDP Ident:
  10.0.0.2      12.0.0.1      2.2.2.2
Peer LDP Ident: 3.3.3.3:0; Local LDP Ident 1.1.1.1:0
TCP connection: 3.3.3.3.53519 - 1.1.1.1.646
State: Oper; Msgs sent/rcvd: 46/47; Downstream
Up time: 00:30:11
LDP discovery sources:
  Serial0/1, Src IP addr: 11.0.0.2
Addresses bound to peer LDP Ident:
  13.0.0.2      11.0.0.2      3.3.3.3
R1#
```

Figura 19. Tabla MPLS LDP del router R1.

Verificación de la conexión entre clientes finales representados por la PC1 y PC2, atravesando la red MPLS por el protocolo OSPF.

PC1

```
PC1> ping 192.168.2.100
84 bytes from 192.168.2.100 icmp_seq=1 ttl=61 time=19.685 ms
84 bytes from 192.168.2.100 icmp_seq=2 ttl=61 time=15.428 ms
84 bytes from 192.168.2.100 icmp_seq=3 ttl=61 time=8.793 ms
84 bytes from 192.168.2.100 icmp_seq=4 ttl=61 time=8.046 ms
84 bytes from 192.168.2.100 icmp_seq=5 ttl=61 time=17.527 ms

PC1> trace 192.168.2.100
trace to 192.168.2.100, 8 hops max, press Ctrl+C to stop
 1  192.168.1.1   9.387 ms  9.748 ms 13.587 ms
 2  10.0.0.2    9.656 ms  9.944 ms 10.085 ms
 3  12.0.0.2   26.512 ms 9.138 ms  9.712 ms
 4  *192.168.2.100 27.745 ms (ICMP type:3, code:3, Destination port unreachable)

PC1> █
```

Figura 20. Comprobación de conexión de la PC1 hasta la PC2.

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ASIGNATURA:

**NRO.
PRÁCTICA**

8 y 9

TÍTULO DE PRÁCTICA: DESARROLLO DE RED MPLS APLICANDO INGENIERÍA DE TRÁFICO SIN Y CON PROTECCIÓN DE NODOS.

OBJETIVO GENERAL:

En esta práctica se desarrolla la configuración de una red MPLS en un entorno simulado con GNS3. Añadiendo el servicio de ingeniería de tráfico (TE), para adaptar los flujos de tráfico a los recursos de la red.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar la configuración de una red MPLS, y activar algunos de sus servicios.
- Configuración de protocolos necesarios para el funcionamiento de la red MPLS, entre estos están el protocolo OSPF y LDP.
- Utilizar Ingeniería de tráfico para resolver la mala gestión de recursos.
- Utilizar protección de nodos, estableciendo túneles para reservar recursos.

INSTRUCCIONES	1. Configuración de red.
	2. Asignación dl direccionamiento de la loopback e interfaces.
	3. Activación del protocolo OSPF.
	4. Configuración de MPLS.
	5. Comprobar el correcto funcionamiento de la red.
	6. Añadir routers para realizar la configuración de ingeniería de tráfico.
	7. Añadir la configuración y direcciones OSPF.
	8. Configuración de ingeniería de tráfico.
	9. Activar también TE en el protocolo OSPF.
	10. Establecer los túneles.
	11. Verificación final.

Topología

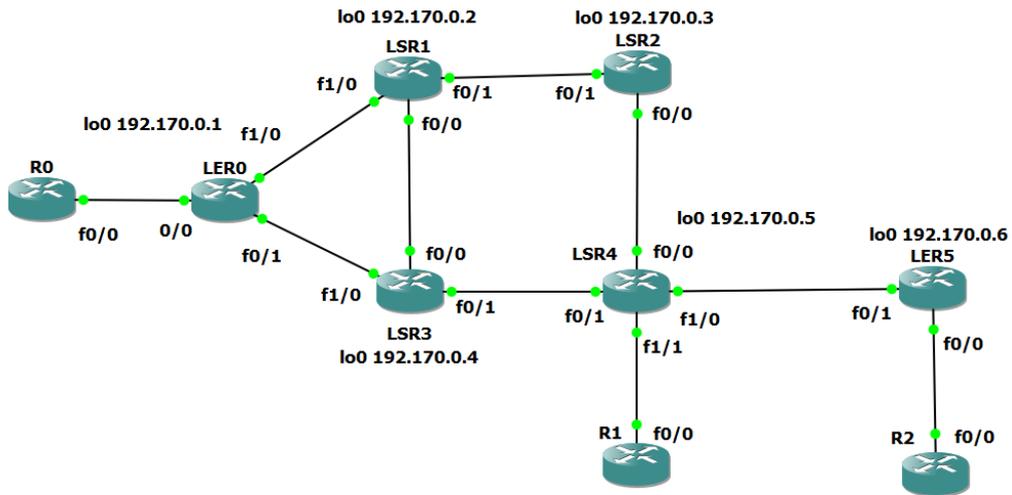


Figura 1. Topología de la conexión.

Tabla de enrutamiento

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Máscara de Subred	Gateway Predeterminado
LER1	lo0	192.170.0.1	255.255.255.255	N/A
	f0/0	192.168.1.1	255.255.255.0	N/A
	f0/1	40.0.0.1	255.255.255.252	N/A
	f1/0	10.0.0.1	255.255.255.252	N/A
LER2	lo0	192.170.0.6	255.255.255.255	N/A
	f0/0	192.168.2.1	255.255.255.0	N/A

	f0/1	70.0.0.1	255.255.255.252	N/A
LSR1	lo0	192.170.0.2	255.255.255.255	N/A
	f0/0	30.0.0.1	255.255.255.252	N/A
	f0/1	20.0.0.1	255.255.255.252	N/A
	f1/0	10.0.0.2	255.255.255.252	N/A
LSR2	lo0	192.170.0.3	255.255.255.255	N/A
	f0/0	60.0.0.1	255.255.255.252	N/A
	f0/1	20.0.0.2	255.255.255.252	N/A
LSR3	lo0	192.170.0.4	255.255.255.255	N/A
	f0/0	30.0.0.2	255.255.255.252	N/A
	f0/1	50.0.0.1	255.255.255.252	N/A
	f1/0	40.0.0.2	255.255.255.252	N/A
LSR4	lo0	192.170.0.5	255.255.255.255	N/A
	f0/0	60.0.0.2	255.255.255.252	N/A
	f0/1	50.0.0.2	255.255.255.252	N/A
	f1/0	70.0.0.2	255.255.255.252	N/A
R0	f0/0	192.168.1.100	255.255.255.0	N/A
R1	f0/0	192.168.2.100	255.255.255.0	N/A
R2	f0/0	192.168.3.100	255.255.255.0	N/A

Configuración de la red

Se borra la configuración si es necesario y establecer el nombre asignado en la topología a cada router utilizando los siguientes comandos, por ejemplo, en el caso del router R1.

Router R1

```
R1#en
R1#enable
R1#er
R1#erase st
R1#erase startup-config
Erasing the nvram filesystem will remove all configuration files! Continue? [confirm]
[OK]
Erase of nvram: complete
R1#
*Mar 1 00:01:08.859: %SYS-7-NV_BLOCK_INIT: Initialized the geometry of nvram
R1#relo
R1#reload
Proceed with reload? [confirm]
```

Figura 2. Wipe out del router.

Asignación del direccionamiento de la loopback e interfaces

Se configura las direcciones IP en cada interfaz y su máscara de subred junto a la loopback de cada routers.

Router LERO

```
LER0#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
LER0(config)#interface loopback 0
LER0(config-if)#
*Sep 21 18:30:20.119: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Loopback0, changed state to up
LER0(config-if)#ip address 192.170.0.1 255.255.255.255
LER0(config-if)#int fa0/0
LER0(config-if)#ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
LER0(config-if)#no shutdown
LER0(config-if)#
*Sep 21 18:31:19.883: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Sep 21 18:31:20.883: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0, changed state to up
LER0(config-if)#int fa0/1
LER0(config-if)#ip address 40.0.0.1 255.255.255.252
LER0(config-if)#no shutdown
LER0(config-if)#
*Sep 21 18:32:01.323: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/1, changed state to up
LER0(config-if)#
*Sep 21 18:32:02.323: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up
LER0(config-if)#int fa1/0
LER0(config-if)#ip address 10.0.0.1 255.255.255.252
LER0(config-if)#no shutdown
LER0(config-if)#
*Sep 21 18:32:29.283: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet1/0, changed state to up
*Sep 21 18:32:30.283: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet1/0, changed state to up
LER0(config-if)#
```

Figura 3. Levantamiento de interfaces del router LER1.

De manera similar repetir los pasos para todos los routers, con sus respectivas direcciones IP establecida en la tabla de enrutamiento.

Activación del protocolo OSPF

Una vez estén configuradas las interfaces, se activará el protocolo de OSPF en cada uno de los routers de la red.

La tabla de router muestra de manera detallada los enrutamientos de las direcciones IP en el dispositivo.

Router LER0

```
LER0#show ip route
Codes: L - local, 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, H - NHRP, l - LISP
       + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

10.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C    10.0.0.0/30 is directly connected, FastEthernet1/0
L    10.0.0.1/32 is directly connected, FastEthernet1/0
40.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C    40.0.0.0/30 is directly connected, FastEthernet0/1
L    40.0.0.1/32 is directly connected, FastEthernet0/1
192.168.1.0/24 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C    192.168.1.0/24 is directly connected, FastEthernet0/0
L    192.168.1.1/32 is directly connected, FastEthernet0/0
192.170.0.0/32 is subnetted, 1 subnets
C    192.170.0.1 is directly connected, Loopback0
LER0#
```

Figura 4. Tabla de enrutamiento en el router LER0.

Para poder activar el protocolo OSPF se debe conocer cuáles son las redes que se están utilizando y también el wildcard el cual es la inversa de la máscara de red.

Configurar de manera similar todos los router de la red.

Router LER0

```
LER0(config)#router ospf 1
LER0(config-router)#network 10.0.0.0 0.0.0.3 area 0
LER0(config-router)#network 40.0.0.0 0.0.0.3 area 0
LER0(config-router)#network 192.170.0.1 0.0.0.0 area 0
LER0(config-router)#network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
LER0(config-router)#
```

Figura 5. Protocolo OSPF del router LER1.

Configuración de MPLS

Se tiene que habilitar la función CEF para que el router podrá construir las tablas FIB y LFIB, estas organizan de modo diferente las tablas de enrutamiento. Se activa con el comando **“IP CEF”**.

Se habilita MPLS de manera individual en cada uno de los interfaces, menos en los loopback. Se debe utilizar el comando **“MPLS IP”**.

Router LSR1

```
LSR1#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
LSR1(config)#ip cef
LSR1(config)#mpls ip
LSR1(config)#mpls label protocol ldp
LSR1(config)#mpls label range 400 499
LSR1(config)#interface fa0/0
LSR1(config-if)#mpls ip
LSR1(config-if)#interface fa0/1
LSR1(config-if)#mpls ip
LSR1(config-if)#interface fa1/0
LSR1(config-if)#mpls ip
LSR1(config-if)#exit
LSR1(config)#
```

Figura 6. Configuración de MPLS en el router LSR1.

Se realiza la misma configuración en todas las interfaces de cada uno de los routers.

Comprobar el correcto funcionamiento de la red

Una vez realizada la configuración en cada uno de los routers de la red se podrá comprobar si se ha habilitado MPLS de manera correcta con el comando **“show MPLS interfaces”**.

Router LSR1

```
LSR1#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 7. Tabla de las interfaces con MPLS del router LSR1.

La consulta de los parámetros del protocolo LDP, se utiliza el comando **“show MPLS LDP parameters”**.

Router LSR1

```
LSR1#show mpls ldp parameters
LDP Feature Set Manager: State Initialized
LDP features:
  Basic
  IP-over-MPLS
  TDP
  IGP-Sync
  Auto-Configuration
  TCP-MD5-Rollover
Protocol version: 1
Session hold time: 180 sec; keep alive interval: 60 sec
Discovery hello: holdtime: 15 sec; interval: 5 sec
Discovery targeted hello: holdtime: 90 sec; interval: 10 sec
Downstream on Demand max hop count: 255
LDP for targeted sessions
LDP initial/maximum backoff: 15/120 sec
LDP loop detection: off
LSR1#
```

Figura 8. Parámetros del protocolo LDP del router LSR1.

Añadir la configuración y direcciones de OSPF

Se configuran los router de los clientes finales con sus respectivas direcciones IP propuestas en la tabla de enrutamiento y se activar el protocolo OSPF.

Router R0

```
R0(config)#int f0/0
R0(config-if)#ip address 192.168.1.100 255.255.255.0
R0(config-if)#no shu
R0(config-if)#no shutdown
R0(config-if)#exit
R0(config)#router ospf 1
R0(config-router)#network 192.168.1.0 0.0.0.255 area 0
R0(config-router)#
```

Figura 9. Configuración de interfaces y OSPF del router R0.

Se configura de la misma manera los routers R1 y R2, con las respectivas direcciones IP que están en la tabla de enrutamiento.

Configuración de Ingeniería de Tráfico (TE)

Solo se puede habilitar ingeniería de tráfico si se tiene habilitado MPLS en toda la red, para esto se debe habilitar de forma global y después en cada interfaz.

Se utiliza el comando **“MPLS traffic-eng tunnels”**, a su vez se tiene que habilitar el protocolo RVSP esto se hará en cada una de las interfaces.

Router LSR1

```
LSR1(config)#mpls traffic-eng tunnels
LSR1(config)#int fa0/0
LSR1(config-if)#mpls traffic-eng tunnels
LSR1(config-if)#ip rsvp bandwidth 64 32
LSR1(config-if)#int fa0/1
LSR1(config-if)#mpls traffic-eng tunnels
LSR1(config-if)#ip rsvp bandwidth 64 32
LSR1(config-if)#int fa1/0
LSR1(config-if)#mpls traffic-eng tunnels
LSR1(config-if)#ip rsvp bandwidth 64 32
LSR1(config-if)#exit
LSR1(config)#
```

Figura 10. Configuración de ingeniería de tráfico en el router LSR1.

Repetir la misma configuración en cada uno de los router de la red.

Activar también TE en el protocolo OSPF

Se puede comprobar si se realizó correctamente la reserva en el protocolo MPLS con el comando “**show IP RSVP interface**”.

Router LSR1

```
LSR1#show ip rsvp interface
interface  rsvp  allocated  i/f max  flow max  sub max  VRF
Fa0/0     ena    0          64K     32K      0
Fa0/1     ena    0          64K     32K      0
Fa1/0     ena    0          64K     32K      0
LSR1#show ip rsvp sender
To          From          Pro DPort Sport Prev Hop          I/F          BPS
LSR1#
```

Figura 9. Reserva de ancho de banda del router LER1.

Se tendrá que activar TE en el protocolo OSPF para que la red disponga de más opciones de rutas en caso que una interface esta defectuosa o muy traficada.

Router LSR1

```
LSR1(config)#router ospf 1
LSR1(config-router)#mpls traffic-eng router-id Loopback 0
LSR1(config-router)#mpls traffic-eng area 0
LSR1(config-router)#
```

Figura 10. Activación de TE en protocolo OSPF del router LSR1.

Para mostrar la información del remitente relacionado con las rutas en protocolo de reserva de recursos RSVP, que se encuentra actualmente en la base de datos. Se usa el comando **“show IP RSVP sender”**.

Router LSR3

```
LSR3#show ip rsvp sender
To          From          Pro DPort Sport Prev Hop      I/F      BPS
192.170.0.1 192.170.0.6   0  2    9    30.0.0.1    Fa0/0    32K
192.170.0.6 192.170.0.1   0  1   14    40.0.0.1    Fa1/0    32K
```

Figura 11. Tabla de dirección IP RSVP en el router LSR3.

Establecer los túneles

Se puede establecer la protección de nodos, para esto se debe habilitar los túneles entre los routers, esto permite tener una ruta alternativa que no se vea afectada por si se llega a suscitar una falla.

Se configura el ancho de banda y prioridad con respecto a otro túnel a través del comando **“tunnel MPLS traffic-eng priority setup-priority hold-priority”**.

El rango 7 representando el rango más alto y 0 el más bajo.

Router LSR1

```
LSR1(config)#int tunnel 1
LSR1(config-if)#i
*Aug 5 01:45:22.923: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface Tunnel1, changed state to down
LSR1(config-if)#ip unnumbered loopback 0
LSR1(config-if)#tunnel destination 192.170.0.6
LSR1(config-if)#tunnel mode mpls traffic-eng
LSR1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng autoroute announce
LSR1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng path-option 2 dynamic
LSR1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng bandwidth 32
LSR1(config-if)#tunnel mpls traffic-eng priority 7 7
LSR1(config-if)#
```

Figura 12. Establecer túneles en el router LSR1.

Se establecerá el túnel explícito entre ambos routers LSR, en este caso será el LSR1 y LSR4. La configuración es con el comando ***“IP explicit-path name nombre_tunnel2”*** y ***“next address xxx.xxx.xxx.xxx”***.

Router LER 5

```
LER5(config)#ip explicit-path name tunel2
LER5(cfg-ip-expl-path)#next-address 192.170.0.5
Explicit Path name tunel2:
  1: next-address 192.170.0.5
LER5(cfg-ip-expl-path)#next-address 192.170.0.3
Explicit Path name tunel2:
  1: next-address 192.170.0.5
  2: next-address 192.170.0.3
LER5(cfg-ip-expl-path)#next-address 192.170.0.2
Explicit Path name tunel2:
  1: next-address 192.170.0.5
  2: next-address 192.170.0.3
  3: next-address 192.170.0.2
LER5(cfg-ip-expl-path)#next-address 192.170.0.4
Explicit Path name tunel2:
  1: next-address 192.170.0.5
  2: next-address 192.170.0.3
  3: next-address 192.170.0.2
  4: next-address 192.170.0.4
LER5(cfg-ip-expl-path)#next-address 192.170.0.1
Explicit Path name tunel2:
  1: next-address 192.170.0.5
  2: next-address 192.170.0.3
  3: next-address 192.170.0.2
  4: next-address 192.170.0.4
  5: next-address 192.170.0.1
LER5(cfg-ip-expl-path)#
```

Figura 13. Establecer túnel explícito en el router LER5.

Verificación final

En el correcto funcionamiento de los túneles se observa los parámetros tales el ancho de banda establecido, prioridad y la etiqueta asignada. Se utiliza el comando “**show MPLS traffic-eng tunnels tunnel interface**”.

Router LER0

```
LER0#show mpls traffic-eng tunnels tunnel 1
Name: LER0_t1 (Tunnel) Destination: 192.170.0.6
Status:
  Admin: up      Oper: up      Path: valid      Signalling: connected
  path option 2, type dynamic (Basis for Setup, path weight 3)

Config Parameters:
  Bandwidth: 32 kbps (Global) Priority: 7 7 Affinity: 0x0/0xFFFF
  Metric Type: TE (default)
  AutoRoute: enabled LockDown: disabled Loadshare: 32 bw-based
  auto-bw: disabled

InLabel : -
OutLabel : FastEthernet0/1, 311
RSVP Signalling Info:
  Src 192.170.0.1, Dst 192.170.0.6, Tun_Id 1, Tun_Instance 14
RSVP Path Info:
  My Address: 40.0.0.1
  Explicit Route: 40.0.0.2 50.0.0.1 50.0.0.2 70.0.0.2
                  70.0.0.1 192.170.0.6
  Record Route: NONE
  Tspec: ave rate=32 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=32 kbits
RSVP Resv Info:
  Record Route: NONE
  Fspec: ave rate=32 kbits, burst=1000 bytes, peak rate=32 kbits
Shortest Unconstrained Path Info:
  Path Weight: 3 (TE)
  Explicit Route: 40.0.0.1 40.0.0.2 50.0.0.1 50.0.0.2
                  70.0.0.2 70.0.0.1 192.170.0.6
History:
  Tunnel:
    Time since created: 19 minutes, 19 seconds
    Time since path change: 18 minutes, 24 seconds
  Current LSP:
    Uptime: 18 minutes, 24 seconds
```

Figura 14. Verificación de túnel 1 del router LER0.

La tabla de MPLS LDP Discovery, muestra el estado del proceso de descubrimiento de LDP, genera una lista de interfaces sobre las que se está ejecutando el proceso de descubrimiento LDP.

Router LER0

```
LER0#show mpls ldp discovery
Local LDP Identifier:
 192.170.0.1:0
Discovery Sources:
Interfaces:
  FastEthernet0/0 (ldp): xmit
  FastEthernet0/1 (ldp): xmit/recv
    LDP Id: 192.170.0.4:0; no route
  FastEthernet1/0 (ldp): xmit/recv
    LDP Id: 192.170.0.2:0; no route
LER0#
```

Figura 15. MPLS LDP Discovery.

Se realiza un envío de paquetes desde el router R0 hasta el router R1, para comprobar el estado de conexión entre dispositivos.

Router R0

```
84 bytes from 192.168.2.100 icmp_seq=1 ttl=60 time=93.878 ms
84 bytes from 192.168.2.100 icmp_seq=2 ttl=60 time=82.304 ms
84 bytes from 192.168.2.100 icmp_seq=3 ttl=60 time=60.477 ms
84 bytes from 192.168.2.100 icmp_seq=4 ttl=60 time=68.481 ms
84 bytes from 192.168.2.100 icmp_seq=5 ttl=60 time=83.138 ms
```

Figura 16. Datos enviados desde R0 a R1.

En Wireshark se puede observar la captura datos de la reserva de los recursos en cada túnel RSVP.

El protocolo de reservas de recursos RSVP, define como deben hacerse las reservas y como deben liberar los recursos.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
6	3.846860	192.170.0.1	192.170.0.6	RSVP	254	PATH Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.6, Short Call ID 0, Tunnel ID 1, Ext ID c0aa0001. SENDER TEPLAT...
8	7.465181	40.0.0.2	40.0.0.1	RSVP	142	RESV Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.6, Short Call ID 0, Tunnel ID 1, Ext ID c0aa0001. FILTERSPEC: IP...
12	10.894917	40.0.0.1	40.0.0.2	RSVP	142	RESV Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.1, Short Call ID 0, Tunnel ID 2, Ext ID c0aa0006. FILTERSPEC: IP...
33	31.839320	40.0.0.2	40.0.0.1	RSVP	142	RESV Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.6, Short Call ID 0, Tunnel ID 1, Ext ID c0aa0001. FILTERSPEC: IP...
34	31.337686	192.170.0.1	192.170.0.6	RSVP	254	PATH Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.6, Short Call ID 0, Tunnel ID 1, Ext ID c0aa0001. SENDER TEPLAT...
41	37.161788	192.170.0.6	192.170.0.1	RSVP	222	PATH Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.1, Short Call ID 0, Tunnel ID 2, Ext ID c0aa0006. SENDER TEPLAT...
60	54.163609	40.0.0.1	40.0.0.2	RSVP	142	RESV Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.1, Short Call ID 0, Tunnel ID 2, Ext ID c0aa0006. FILTERSPEC: IP...
64	60.585814	192.170.0.6	192.170.0.1	RSVP	222	PATH Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.1, Short Call ID 0, Tunnel ID 2, Ext ID c0aa0006. SENDER TEPLAT...
75	70.120666	192.170.0.1	192.170.0.6	RSVP	254	PATH Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.6, Short Call ID 0, Tunnel ID 1, Ext ID c0aa0001. SENDER TEPLAT...
83	77.347430	40.0.0.2	40.0.0.1	RSVP	142	RESV Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.6, Short Call ID 0, Tunnel ID 1, Ext ID c0aa0001. FILTERSPEC: IP...
95	88.747482	192.170.0.6	192.170.0.1	RSVP	222	PATH Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.1, Short Call ID 0, Tunnel ID 2, Ext ID c0aa0006. SENDER TEPLAT...
100	91.045122	40.0.0.1	40.0.0.2	RSVP	142	RESV Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.1, Short Call ID 0, Tunnel ID 2, Ext ID c0aa0006. FILTERSPEC: IP...
116	106.740253	192.170.0.1	192.170.0.6	RSVP	254	PATH Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.6, Short Call ID 0, Tunnel ID 1, Ext ID c0aa0001. SENDER TEPLAT...
117	106.801897	40.0.0.1	40.0.0.2	RSVP	142	RESV Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.1, Short Call ID 0, Tunnel ID 2, Ext ID c0aa0006. FILTERSPEC: IP...
118	107.903900	192.170.0.6	192.170.0.1	RSVP	222	PATH Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.1, Short Call ID 0, Tunnel ID 2, Ext ID c0aa0006. SENDER TEPLAT...
124	113.138214	40.0.0.2	40.0.0.1	RSVP	142	RESV Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.6, Short Call ID 0, Tunnel ID 1, Ext ID c0aa0001. FILTERSPEC: IP...
139	129.666235	192.170.0.1	192.170.0.6	RSVP	254	PATH Message. SESSION: IPv4-LSP, Destination 192.170.0.6, Short Call ID 0, Tunnel ID 1, Ext ID c0aa0001. SENDER TEPLAT...

Figura 16. Wireshark captura de datos.

Captura de datos enviados desde el router R0 al router R1 por Wireshark, proporciona una información detallada en tiempo real de lo que sucede en él envió de información incluyendo que protocolo están en uso.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
10	15.943048	Private_66:68:01	Broadcast	ARP	64	Who has 192.168.1.1? Tell 192.168.1.100
11	15.955123	ca:05:08:0d:00:08	Private_66:68:01	ARP	60	192.168.1.1 is at ca:05:08:0d:00:08
12	15.957034	192.168.1.100	192.168.2.100	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x9c71, seq=1/256, ttl=64 (reply in 13)
13	16.050768	192.168.2.100	192.168.1.100	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x9c71, seq=1/256, ttl=60 (request in 12)
14	17.060356	192.168.1.100	192.168.2.100	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x9e71, seq=2/512, ttl=64 (reply in 15)
15	17.142552	192.168.2.100	192.168.1.100	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x9e71, seq=2/512, ttl=60 (request in 14)
16	17.691282	192.168.1.1	224.0.0.2	LDP	76	Hello Message
17	18.145364	192.168.1.100	192.168.2.100	ICMP	98	Echo (ping) request id=0x9f71, seq=3/768, ttl=64 (reply in 18)
18	18.205641	192.168.2.100	192.168.1.100	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0x9f71, seq=3/768, ttl=60 (request in 17)
19	18.801406	192.168.1.1	224.0.0.5	OSPF	90	Hello Packet
20	19.208670	192.168.1.100	192.168.2.100	ICMP	98	Echo (ping) request id=0xa071, seq=4/1024, ttl=64 (reply in 21)
21	19.276974	192.168.2.100	192.168.1.100	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0xa071, seq=4/1024, ttl=60 (request in 20)
22	20.280728	192.168.1.100	192.168.2.100	ICMP	98	Echo (ping) request id=0xa171, seq=5/1280, ttl=64 (reply in 23)
23	20.363696	192.168.2.100	192.168.1.100	ICMP	98	Echo (ping) reply id=0xa171, seq=5/1280, ttl=60 (request in 22)

> Frame 12: 98 bytes on wire (784 bits), 98 bytes captured (784 bits) on interface -, id 0
 > Ethernet II, Src: Private_66:68:01 (00:50:79:66:68:01), Dst: ca:05:08:0d:00:08 (ca:05:08:0d:00:08)
 > Internet Protocol Version 4, Src: 192.168.1.100, Dst: 192.168.2.100
 > 0100 = Version: 4
 > 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
 > Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP: CS0, ECN: Not-ECT)
 > Total Length: 84
 > Identification: 0x719c (29084)
 > Flags: 0x0000
 > Fragment offset: 0
 > Time to live: 64
 > Protocol: ICMP (1)
 > Header checksum: 0x83f4 [validation disabled]
 > [Header checksum status: Unverified]
 > Source: 192.168.1.100

Figura 14. Datos capturados por Wireshark.

CARRERA: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ASIGNATURA:

**NRO.
PRÁCTICA**

10

TÍTULO DE PRÁCTICA: DESARROLLO DE
RED MPLS L3VPN

OBJETIVO GENERAL:

Diseñar una red MPLS con L3VPN.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Configurar el protocolo OSPF y LDP.
- Activación de MPLS en la red central.
- Crear VRF.
- Verificar la configuración y funcionamiento de la red MPLS utilizando los diferentes comandos y herramientas.

INSTRUCCIONES	1. Configuración de red.
	2. Asignación dl direccionamiento de la loopback e interfaces.
	3. Activación del protocolo OSPF.
	4. Configuración de MPLS.
	5. Creación de VRF y asignación de interfaces.
	6. Configuración de protocolo BGP en los routers que se encuentran en los nodos de frontera.
	7. Configurar OSPF en los nodos PE-CE.
	8. Verificación de las VRF creadas, asignación de interfaces y las BGP en los nodos de frontera
	9. Comprobaciones de conexiones.

Topología

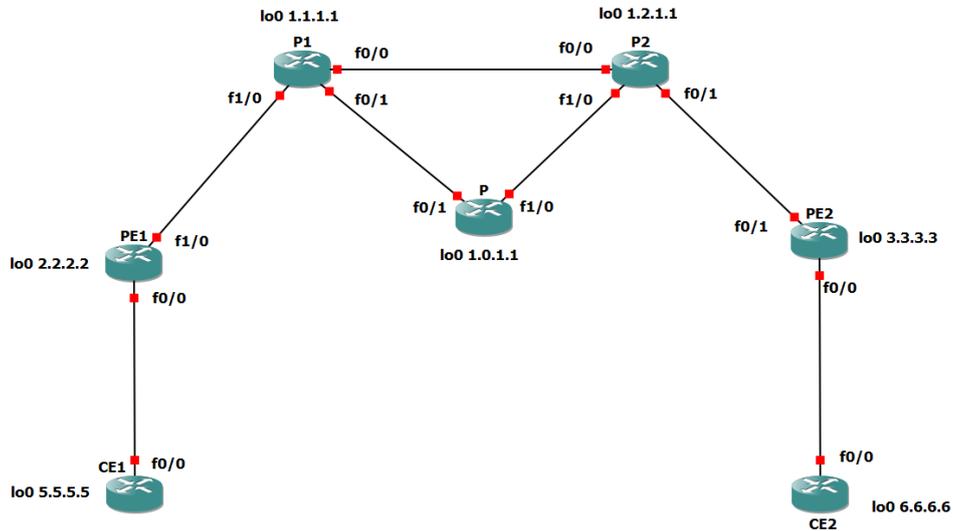


Figura 1. Topología de conexión.

Tabla de enrutamiento

Dispositivo	Interfaz	Dirección IP	Mascara de Subred	Gateway Predeterminado
P	lo0	192.170.1.3	255.255.255.255	N/A
	f0/0	20.0.0.2	255.255.255.252	N/A
	f0/1	30.0.0.1	255.255.255.252	N/A
P1	lo0	192.170.1.6	255.255.255.255	N/A
	f0/0	20.0.0.4	255.255.255.252	N/A
	f0/1	10.0.0.4	255.255.255.252	N/A
	f1/0	30.0.0.4	255.255.255.252	N/A
P2	lo0	192.170.1.7	255.255.255.255	N/A

	f0/0	20.0.0.3	255.255.255.252	N/A
	f0/1	10.0.0.3	255.255.255.252	N/A
	f1/0	30.0.0.3	255.255.255.252	N/A
PE1	lo0	192.170.1.2	255.255.255.255	N/A
	f0/0	20.0.0.1	255.255.255.252	N/A
	f0/1	10.0.0.2	255.255.255.252	N/A
PE2	lo0	192.170.1.4	255.255.255.255	N/A
	f0/0	30.0.0.2	255.255.255.252	N/A
	f0/1	40.0.0.1	255.255.255.252	N/A
CE1	lo0	192.170.1.1	255.255.255.255	N/A
	f0/0	10.0.0.1	255.255.255.252	N/A
CE2	lo0	192.170.1.5	255.255.255.255	N/A
	f0/0	40.0.0.2	255.255.255.252	N/A

Configuración de la red

Se conectar por consola a los diferentes equipos, borrar su configuración si es necesario y establecer el nombre asignado en la topología a cada router utilizando los siguientes comandos.

```

R1#en
R1#enable
R1#er
R1#erase st
R1#erase startup-config
Erasing the nvram filesystem will remove all configuration files! Continue? [confirm]
[OK]
Erase of nvram: complete
R1#
*Mar  1 00:01:08.859: %SYS-7-NV_BLOCK_INIT: Initialized the geometry of nvram
R1#relo
R1#reload
Proceed with reload? [confirm]

```

Figura 2. Wipe out del router.

Router P

```
P#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
P(config)#router ospf 1
P(config-router)#network 20.0.0.0 0.0.0.3 area 0
P(config-router)#network 30.0.0.0 0.0.0.3 area 0
P(config-router)#network 192.170.1.3 0.0.0.0 area 0
P(config-router)#
*Sep 21 21:53:23.859: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 192.170.1.2 on FastEthernet0/0 from LOADING to FULL, Loading Done
P(config-router)#
*Sep 21 22:23:57.159: %OSPF-5-ADJCHG: Process 1, Nbr 192.170.1.4 on FastEthernet0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
P(config-router)#exit
```

Figura 4. Protocolo OSPF del router P.

Configuración de MPLS

Para un enrutamiento dinámico en esta topología, se debe de habilitar MPLS en los equipos. Se tendrá que habilitar MPLS de manera individual en cada uno de los interfaces, menos en los loopback.

Router P

```
P(config)#ip cef
P(config)#mpls ip
P(config)#mpls label protocol ldp
P(config)#int f0/0
P(config-if)#mpls ip
P(config-if)#int f0/1
P(config-if)#mpls ip
P(config-if)#
*Sep 21 22:26:19.467: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.170.1.2:0 (1) is UP
P(config-if)#
*Sep 21 22:26:52.575: %LDP-5-NBRCHG: LDP Neighbor 192.170.1.4:0 (2) is UP
```

Figura 5. Configuración de MPLS en el router P.

Se realizará la misma configuración en todos las interfaces.

Creación de VRF y asignación de interfaces

Para habilitar el renvío de las VPN 's se necesitará crear VRF en los nodos que se encuentran en la frontera de la red.

Se definir las VRF utilizando el comando **"IP VRF ClienteA"** para la importación de los datos en la VRF.

Router PE2

```
PE2(config)#ip vrf ClienteA
PE2(config-vrf)#rd 65000:100
PE2(config-vrf)#route-target import 65000:100
PE2(config-vrf)#route-target export 65000:100
```

Figura 6. VRF importación y exportación de datos del router PE2.

Una vez definida las VRF se tiene que asociarlas a las interfaces correspondientes de cada router.

Router PE2

```
PE2(config-vrf)#int f0/1
PE2(config-if)#ip vrf forwarding ClienteA
% Interface FastEthernet0/1 IPv4 disabled and address(es) removed due to enabling VRF ClienteA
PE2(config-if)#ip add 40.0.0.1 255.255.255.252
PE2(config-if)#exit
PE2(config)#router ospf 100 vrf ClienteA
PE2(config-router)#network 40.0.0.1 0.0.0.0 area 0
PE2(config-router)#
*Sep 21 22:51:24.795: %OSPF-5-ADJCHG: Process 100, Nbr 192.170.1.5 on FastEthernet0/1 from LOADING to FULL, Loading Done
PE2(config-router)#exit
```

Figura 7. Asociación de interfaces a la VRF en el router PE2.

Configuración del protocolo BGP en los routers que se encuentran en los nodos de frontera.

Es necesario configurar una extensión BGP para la comunicación entre las rutas de VRF y VPN, en este proceso se debe activar la extensión BGP en cada uno de los nodos, después se configura el equipo con el que interactuará e intercambiará los paquetes.

Router PE2

```
PE2(config)#router bgp 65000
PE2(config-router)#address-family ipv4 vrf ClienteA
PE2(config-router-af)#redistribute ospf 100 vrf ClienteA
PE2(config-router-af)#router ospf 100 vrf ClienteA
PE2(config-router)#redistribute bgp 65000 subnets
PE2(config-router)#exit
PE2(config)#exit
```

Figura 8. Configuración BGP para la comunicación de rutas VRF del router PE2.

Realizar estos mismos pasos para cada uno de los routers de frontera PE1 y PE2.

Una vez realizada la configuración en cada uno de los routers de la red se puede comprobar si se ha habilitado MPLS de manera correcta con el comando **“show MPLS interfaces”**.

Router LSR1

```
LSR1#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 9. Tabla de interfaces MPLS del router LSR1.

Verificación de las VRF creadas y asignación de interfaces

Para verificar si está creada nuestra VRF se utilizará el comando **“show IP VRF interfaces”** de tal manera que mostrará la VRF creada junto con el nombre y la IP.

Router PE1

```
PE1#show ip vrf interfaces
Interface      IP-Address      VRF              Protocol
Fa0/1         10.0.0.2        ClienteA         up
PE1#
```

Figura 11. Muestra la VRF creada en el router PE1.

El envío de paquete o información a un router que disponga de una VPN, se debe de especificar el nombre de la misma para hacer comprobaciones por el comando **“ping”**.

Router PE1

```
PE1#ping vrf ClienteA 10.0.0.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.0.2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/3/8 ms
PE1#
```

Figura 12. Conexión VPN del router PE1.

Verificación de las BGP en los nodos de frontera

Para poder verificar esto se utiliza el comando **“show IP BGP vpnv4 VRF ClienteA”** y se obtendrá información de algunos datos de la sesión BGP.

Router PE1

```
PE1#sh ip bgp vpv4 vrf ClienteA
BGP table version is 3, local router ID is 192.170.1.2
Status codes: s suppressed, d damped, h history, * valid, > best, i - internal,
               r RIB-failure, S Stale, m multipath, b backup-path, f RT-Filter,
               x best-external, a additional-path, c RIB-compressed,
Origin codes: i - IGP, e - EGP, ? - incomplete
RPKI validation codes: V valid, I invalid, N Not found

   Network          Next Hop          Metric LocPrf Weight Path
Route Distinguisher: 65000:100 (default for vrf ClienteA)
*> 10.0.0.0/30      0.0.0.0           0         32768 ?
*> 192.170.1.1/32  10.0.0.1          2         32768 ?
```

Figura 13. Información de la sesión BGP del router PE1.

Así mismo para obtener información sobre la sesión OSPF en los nodos PE; CE, se utilizará el comando **“show IP route VRF userA”**.

Router PE1

```
PE1#show ip route vrf ClienteA

Routing Table: ClienteA
Codes: L - local, 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, H - NHRP, l - LISP
       + - replicated route, % - next hop override

Gateway of last resort is not set

 10.0.0.0/8 is variably subnetted, 2 subnets, 2 masks
C    10.0.0.0/30 is directly connected, FastEthernet0/1
L    10.0.0.2/32 is directly connected, FastEthernet0/1
    192.170.1.0/32 is subnetted, 1 subnets
O    192.170.1.1 [110/2] via 10.0.0.1, 01:12:22, FastEthernet0/1
PE1#
```

Figura 14. Tabla de enrutamiento privado del router PE1.

Comprobaciones finales.

Se realizan capturas de tráfico con el software Wireshark en el envío de datos de forma periódicamente en la red proporcionando información detallada incluyendo los protocolos que están siendo usados.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
21	15.959381	ca:01:05:10:00:08	ca:01:05:10:00:08	LOOP	60	Reply
22	16.191735	20.0.0.1	224.0.0.2	LDP	76	Hello Message
23	16.666639	20.0.0.2	224.0.0.5	OSPF	94	Hello Packet
24	18.250765	20.0.0.2	224.0.0.2	LDP	76	Hello Message
25	18.826698	ca:03:04:5b:00:08	DEC-MDP-Remote-Cons...	0x6002	77	DEC DNA Remote Console
26	20.336692	20.0.0.1	224.0.0.2	LDP	76	Hello Message
27	22.225908	20.0.0.2	224.0.0.2	LDP	76	Hello Message
28	22.885507	ca:01:05:10:00:08	CDP/VTP/DTP/PAgP/UD...	CDP	348	Device ID: P Port ID: FastEthernet0/0
29	23.656119	20.0.0.1	224.0.0.5	OSPF	94	Hello Packet
30	23.940848	192.170.1.4	192.170.1.2	BGP	73	KEEPALIVE Message
31	24.176272	192.170.1.2	192.170.1.4	TCP	60	179 → 62281 [ACK] Seq=20 Ack=20 Win=15415 Len=0
32	25.096981	ca:03:04:5b:00:08	ca:03:04:5b:00:08	LOOP	60	Reply
33	25.173402	20.0.0.1	224.0.0.2	LDP	76	Hello Message
34	25.679078	20.0.0.2	224.0.0.5	OSPF	94	Hello Packet

```

> Frame 1: 76 bytes on wire (608 bits), 76 bytes captured (608 bits) on interface -, id 0
> Ethernet II, Src: ca:01:05:10:00:08 (ca:01:05:10:00:08), Dst: IPv4mcast_02 (01:00:5e:00:00:02)
v Internet Protocol Version 4, Src: 20.0.0.2, Dst: 224.0.0.2
  0100 .... = Version: 4
  .... 0101 = Header Length: 20 bytes (5)
  > Differentiated Services Field: 0xc0 (DSCP: CS6, ECN: Not-ECT)
  Total Length: 62
  Identification: 0x0000 (0)
  > Flags: 0x0000
  Fragment offset: 0
  Time to live: 1
  Protocol: UDP (17)
  Header checksum: 0xc4eb [validation disabled]
  [Header checksum status: Unverified]
  Source: 20.0.0.2

```

Figura 16. Capturas de datos TCP, LDP y BGP enviados periódicamente.

Se realizó una captura del comando **“ping”** desde el router CE1 al router CE2 por medio del software Wireshark detallando una conectividad exitosa en la red MPLS.

```
> Frame 64: 122 bytes on wire (976 bits), 122 bytes captured (976 bits) on interface 0
▼ Ethernet II, Src: ca:09:0c:3a:00:08 (ca:09:0c:3a:00:08), Dst: ca:08:0c:2c:00:08 (ca:08:0c:2c:00:08)
  > Destination: ca:08:0c:2c:00:08 (ca:08:0c:2c:00:08)
  > Source: ca:09:0c:3a:00:08 (ca:09:0c:3a:00:08)
  Type: MPLS label switched packet (0x8847)
▼ MultiProtocol Label Switching Header, Label: 17, Exp: 0, S: 0, TTL: 254
  0000 0000 0000 0001 0001 .... .. = MPLS Label: 17
  .... .. 000. .... = MPLS Experimental Bits: 0
  .... .. 0 .... = MPLS Bottom Of Label Stack: 0
  .... .. 1111 1110 = MPLS TTL: 254
▼ MultiProtocol Label Switching Header, Label: 20, Exp: 0, S: 1, TTL: 254
  0000 0000 0000 0001 0100 .... .. = MPLS Label: 20
  .... .. 000. .... = MPLS Experimental Bits: 0
  .... .. 1 .... = MPLS Bottom Of Label Stack: 1
  .... .. 1111 1110 = MPLS TTL: 254
> Internet Protocol Version 4, Src: 10.0.0.1, Dst: 192.170.1.5
> Internet Control Message Protocol
```

Figura 17. Captura de datos Wireshark

Especificaciones generales del equipo presentado

Memoria RAM	96 GB
Modelo CPU	Intel Xeon
Fabricante modelo CPU	Intel
Velocidad CPU	2.60 GHz.
Coprocesador gráfico	NVIDIA Quadro 600
Disco de estado solido	1 TB
Plataforma de hardware	PC
Sistema operativo	Windows Server 2012R2 datacenter
Recuento procesador	2

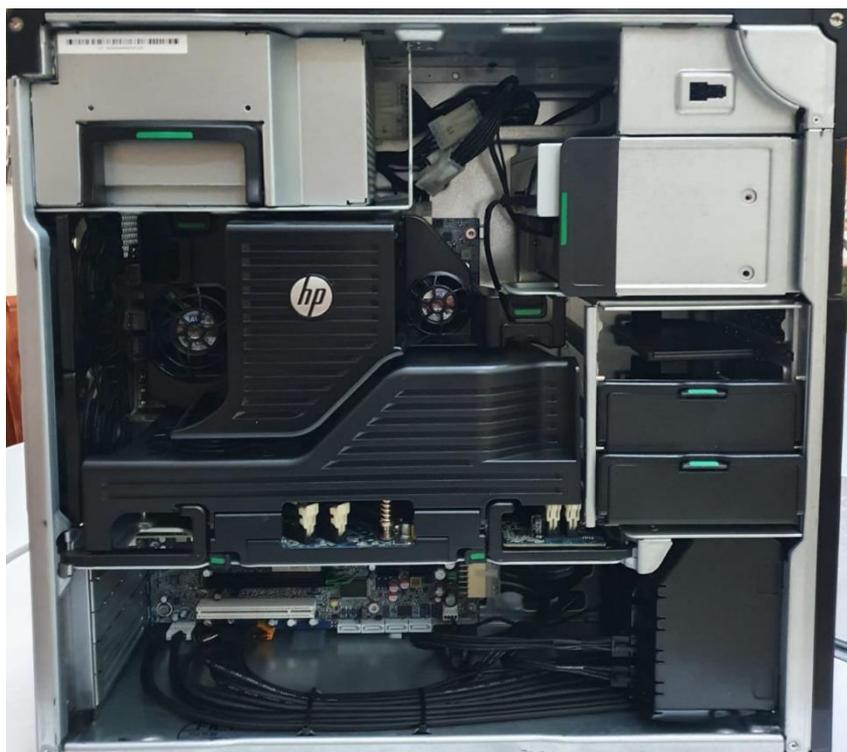


Figura 9.1 Workstation.

Especificaciones técnicas del procesador

Procesador Intel® Xeon® E5-2670	
Conjunto de productos	Intel® Xeon® Processor E5 Family
Segmento vertical	Server
Número de procesador	E5-2670
Especificaciones de la CPU	
Cantidad de núcleos	8
Cantidad de subprocesos	16
Frecuencia básica del procesador	2,60 GHz
Frecuencia turbo máxima	3,30 GHz
Caché	20 MB Intel® Smart Cache
Velocidad del bus	8 GT/s
Cantidad de enlaces QPI	2
Frecuencia de la Tecnología Intel® Turbo Boost 2.0	3.30 GHz
TDP	115 W
Rango de voltaje VID	0.60V-1.35V
Especificaciones de memoria	
Tamaño de memoria máximo (depende del tipo de memoria)	384 GB
Tipos de memoria	DDR3 800/1066/1333/1600
Cantidad máxima de canales de memoria	4
Máximo de ancho de banda de memoria	51.2 GB/s
Compatible con memoria ECC	Si
Opciones de expansión	
Escalabilidad	2S Only
Revisión de PCI Express	3
Cantidad máxima de líneas PCI Express	40
Especificaciones del paquete	
Zócalos compatibles	FCLGA2011

Máxima configuración de CPU	2
TCASE	80.0°C
Tamaño de paquete	52.5mm x 45.0mm
Tecnologías avanzadas	
Tecnología Intel® Turbo Boost	2
Idoneidad para la plataforma Intel® vPro™	Si
Tecnología Intel® Hyper-Threading	Si
Tecnología de virtualización Intel® (VT-x)	Si
Tecnología de virtualización Intel® para E/S dirigida (VT-d)	Si
Intel® VT-x con tablas de páginas extendidas (EPT)	Si
Intel® 64	Si
Conjunto de instrucciones	64-bit
Extensiones de conjunto de instrucciones	Intel® AVX
Estados de inactividad	Si
Tecnología Intel SpeedStep® mejorada	Si
Conmutación según demanda Intel®	Si
Tecnologías de monitoreo térmico	Si
Intel® Flex Memory Access	No
Tecnología de protección de la identidad Intel®	No
Seguridad y fiabilidad	
Nuevas instrucciones de AES Intel®	Si
Tecnología Intel® Trusted Execution	Si
Bit de desactivación de ejecución	SI



Figura 9.2 Montaje de servidor en el Workstation.

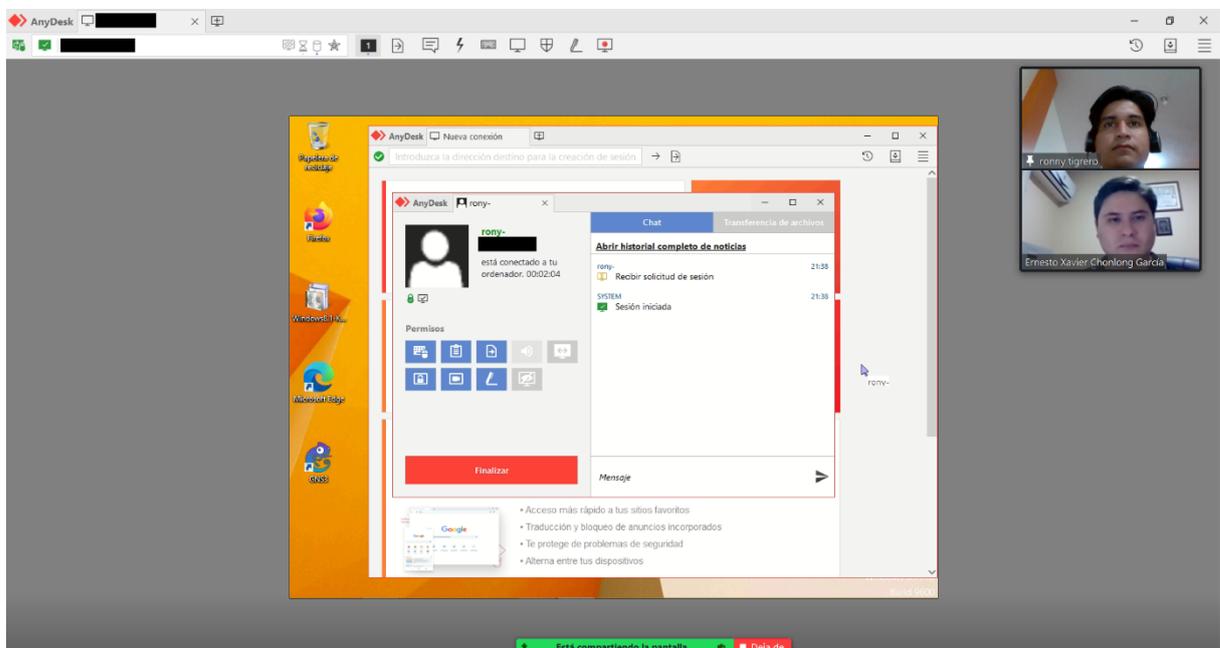


Figura 9.3 Conexión punto a punto con AnyDesk.

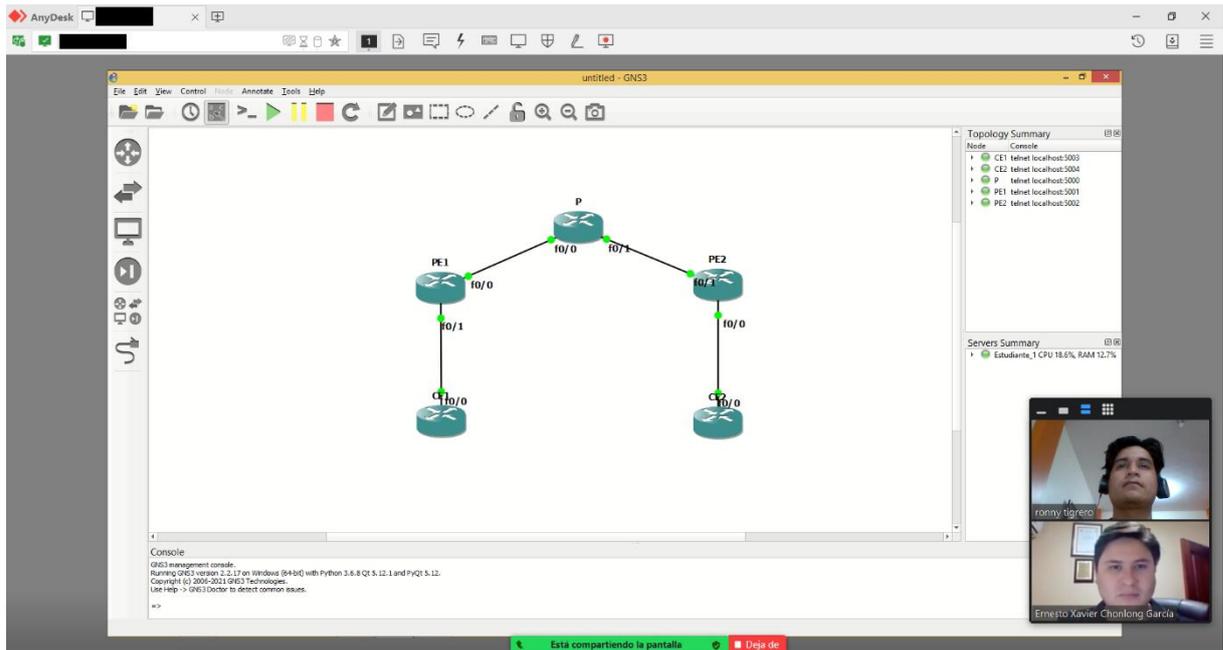


Figura 9.4 Recursos del Workstation utilizados en una máquina virtual para la realización de las prácticas propuestas.



Figura 9.5 Soporte de guía de práctica del docente al estudiante de forma remota.

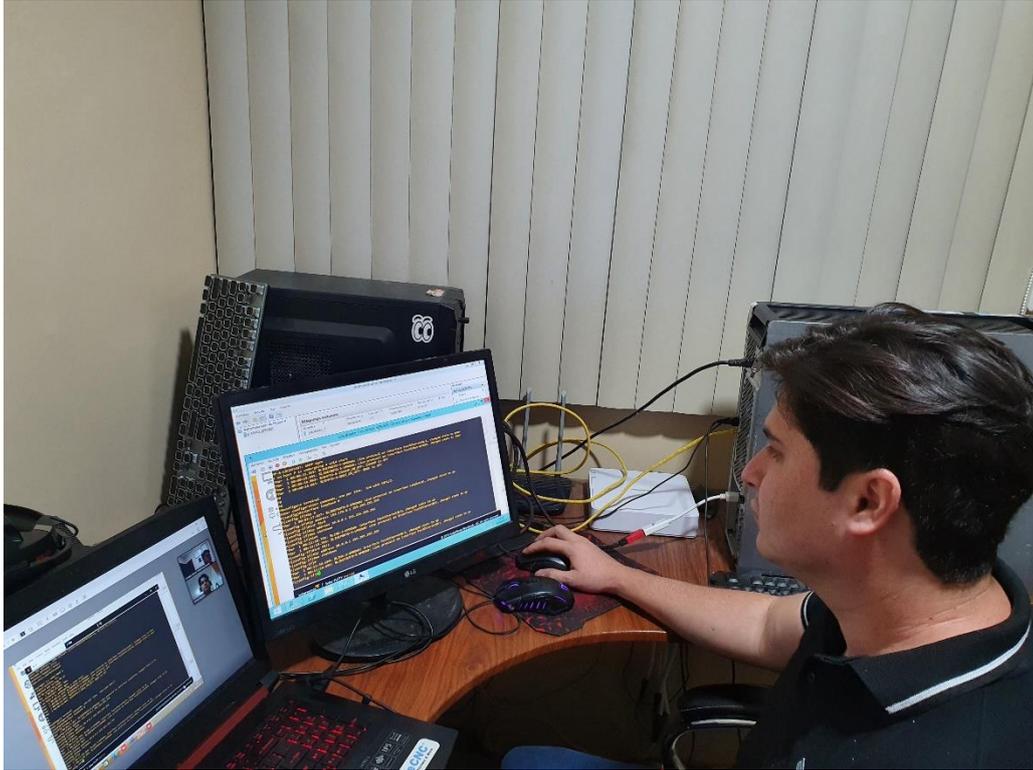


Figura 9.6 Monitoreo de máquinas virtuales desde Hyper-V.

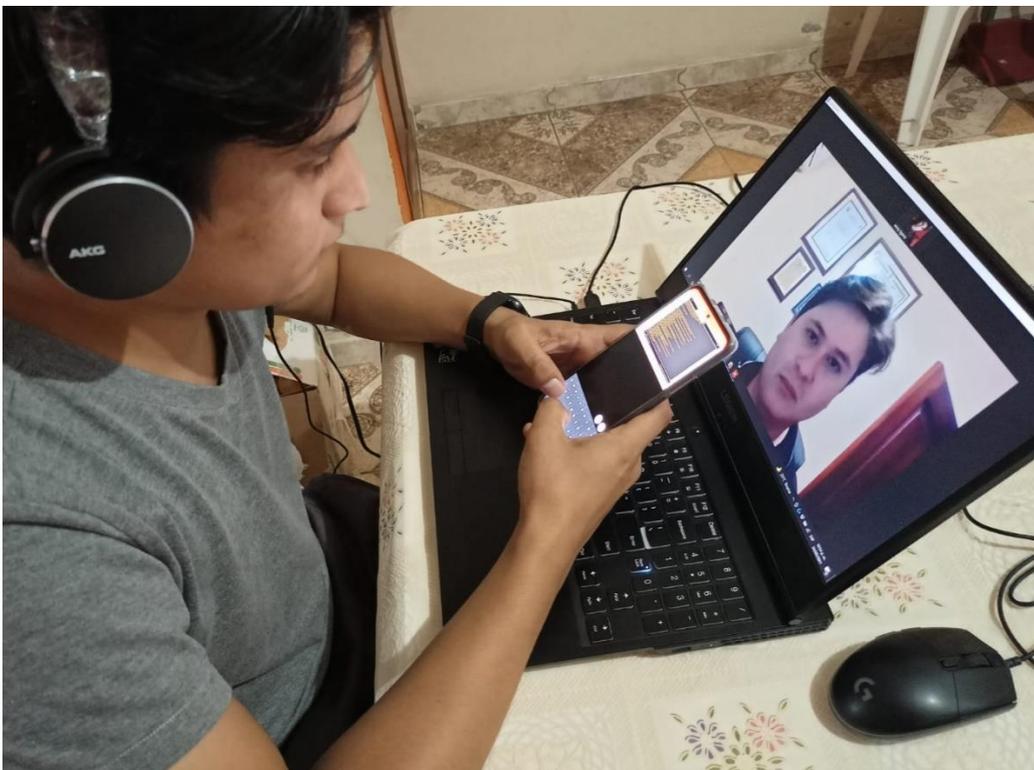


Figura 9.7 Desarrollo de prácticas en GNS3 desde un Smartphone.