

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Simulación de túneles basados en ingeniería de tráfico sobre Core
IP/MPLS usando el emulador eNSP**

AUTOR:

Alvarado Rocafuerte, Hailis Johely

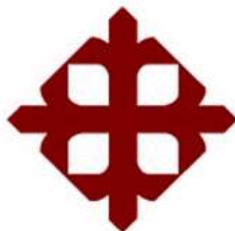
Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Ruilova Aguirre, María Luzmila

Guayaquil, Ecuador

2 de Marzo del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta.
Alvarado Rocafuerte, Hailis Johely como requerimiento para la obtención del
título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

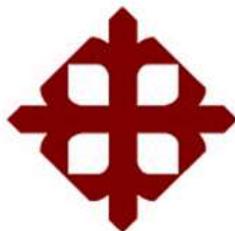
TUTOR

M. Sc. Ruilova Aguirre, María Luzmila

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, 2 de marzo del 2020



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Alvarado Rocafuerte, Hailis Johely**

DECLARÓ QUE:

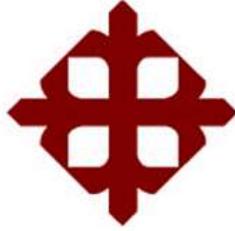
El trabajo de titulación: “**Simulación de túneles basados en ingeniería de tráfico sobre Core IP/MPLS usando el software eNSP**”, previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, 2 de marzo del 2020

EL AUTOR

ALVARADO ROCAFUERTE, HAILIS JOHELY



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Alvarado Rocafuerte, Hailis Johely**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Simulación de túneles basados en ingeniería de tráfico sobre Core IP/MPLS usando el software eNSP**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 2 de marzo del 2020

EL AUTOR

ALVARADO ROCAFUERTE, HAILIS JOHELY

REPORTE DE URKUND

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTO DOMINGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES TEMA: Simulación de túneles basados en ingeniería de tráfico sobre Core IP/MPLS usando el emulador eNSP-AUTIR: Alvarado Rocafuerte, Hailis Johely Trabajo de Titulación con vistas a la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES TUTOR: R. Sc. Rutina Aguirre, María Luzmila Guayaquil, Ecuador 2 de Marzo del 2021

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTO DOMINGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES CERTIFICACIÓN: Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta. Alvarado Rocafuerte, Hailis Johely como requerimiento para la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES TUTOR: R. Sc. Rutina Aguirre, María Luzmila DIRECTOR DE CARRERA R. Sc. Harold Sánchez, Miguel Arsenio Guayaquil, a los 2 días del mes de Marzo del año 2021

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTO DOMINGO DE GUAYAQUIL FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Yo, Alvarado Rocafuerte, Hailis Johely DECLARO QUE: El trabajo de titulación titulado "Simulación de túneles basados en ingeniería de tráfico sobre Core IP/MPLS usando el emulador eNSP-AUTIR" es de mi autoría y no he plagado.

Reporte Urkund del trabajo de titulación en ingeniería Telecomunicaciones denominado: **“Simulación de túneles basados en ingeniería de tráfico sobre Core IP/MPLS usando el emulador eNSP”** de la estudiante **Alvarado Rocafuerte, Hailis Johely**. Se encuentra al 1% de coincidencias.

Atentamente.

Ing. Orlando Philco A. M.Sc.

Revisor

DEDICATORIA

A todas las personas que lograron que este trabajo llegue a su fin,
proporcionándome su apoyo, motivación y conocimientos.

EL AUTOR

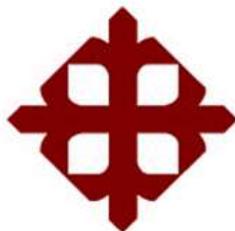
ALVARADO ROCAFUERTE, HAILIS JOHELY

AGRADECIMIENTO

A mis padres, familiares, maestros, amigos, futuros colegas y compañeros que me impulsaron a culminar esta etapa de mi vida, les agradezco de todo corazón el apoyo brindado, la dedicación, la paciencia y cada una de sus palabras que lograron que me motive a dar un paso fuera de mi zona de confort y siempre esforzarme más allá de mi capacidad. Gracias por creer en mí y aportar cada granito de arena en convertirme en una mejor versión de mí misma.

EL AUTOR

ALVARADO ROCAFUERTE, HAILIS JOHELY



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS

DECANO

f. _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

M. Sc. VALLEJO SAMANIEGO, LUIS VICENTE

OPONENTE

Índice General

CAPÍTULO 1	2
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.....	4
1.3. Definición del problema	5
1.4. Justificación del problema.....	5
1.5. Objetivos del problema de investigación.....	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
1.6. Hipótesis.....	6
1.7. Metodología de investigación.	6
CAPÍTULO 2	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1. Breve reseña de las redes de telecomunicaciones	7
2.2. Tecnologías de transporte	7
2.2.1. Conmutación de circuitos.....	8
2.2.2. Conmutación de paquetes.....	8
2.2.3. Modelos de referencia.....	9
2.3. Conceptos fundamentales sobre las redes.....	12
2.3.1. Clasificación de las redes según su distribución geográfica.....	13
2.3.2. Topología de las redes.....	14
2.3.3. Medios de transmisión	17
2.4. Convergencia de redes.....	19
2.4.1. Modo de transferencia asíncrono (ATM).....	19
2.4.1.1. Conexiones Lógicas ATM	21
2.4.2. Conmutación IP	21
2.4.3. Convergencia IP/ ATM.....	22
2.5. Fundamentos de MPLS	23

2.5.1.	Funcionamiento de MPLS.....	24
2.5.2.	Arquitectura MPLS.....	25
2.5.2.1.	Cabecera MPLS.....	27
2.5.2.2.	Componentes de MPLS.....	28
2.5.3.	Protocolos de enrutamiento dinámico.....	29
2.5.4.	Ventajas y desventajas de MPLS.....	31
2.6.	Ingeniería de tráfico (TE).....	31
2.6.1.	Introducción de Ingeniería de tráfico	31
2.6.2.	Conceptos fundamentales.....	32
2.6.2.1.	Congestión	32
2.6.2.2.	Comportamiento del tráfico.....	33
2.6.2.3.	QoS.....	34
2.6.2.4.	Funciones y requerimientos de TE.....	35
2.6.3.	Tipos de TE.....	35
2.6.4.	MPLS TE.....	36
2.6.4.1.	Ventajas de MPLS TE	36
2.6.4.2.	Túneles MPLS TE.....	37
2.6.4.3.	Atributos de los enlaces	38
2.6.5.	Confiabilidad de MPLS TE.....	39
2.6.6.	CSPF.....	39
2.6.7.	RSVP.....	40
CAPÍTULO 3.....		41
DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS		41
3.1.	Evaluación de características de la red	41
3.2.	Diseño de la topología de la red.....	41
3.3.	Simulación de túneles basados en TE sobre Core IP/MPLS.....	42
3.3.1.	Emulador eNSP	42
3.3.2.	Procedimiento	43
3.4.	Resultados obtenidos en simulación	55
CAPÍTULO 4.....		59

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
Conclusiones.....	59
Recomendaciones.....	60
Bibliografía.....	61
Glosario	64
Anexos	66

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1 Ejemplo de conmutación por circuitos	8
Figura 2. 2 Ejemplo de conmutación por paquetes	9
Figura 2. 3 Ejemplo de conmutación de paquetes a través de los nodos	9
Figura 2. 4 Comparación entre arquitecturas de protocolos TCP/IP y OSI... 10	
Figura 2. 5 Clasificación geográfica de las redes	13
Figura 2. 6 Ejemplo de topología en bus	15
Figura 2. 7 Ejemplo de topología en árbol	15
Figura 2. 8 Ejemplo de topología en anillo	15
Figura 2. 9 Ejemplo de topología en estrella	16
Figura 2. 10 Ejemplo de topología full-mesh	16
Figura 2. 11 Ejemplo de topología hub & spoke	17
Figura 2. 12 Arquitectura del ATM.....	20
Figura 2. 13 Relaciones entre conexiones ATM	21
Figura 2. 14 Arquitectura de MPLS	25
Figura 2. 15 Cabecera de MPLS	27
Figura 2. 16 Clasificación de los protocolos de enrutamiento dinámico	30
Figura 2. 17 Ventajas y desventajas de MPLS	31
Figura 2. 18 Ejemplo de congestión en la red	32
Figura 2. 19 Ejemplo de LSP y Túnel MPLS TE	37
Figura 2. 20 Propiedades de LSP y Túnel MPLS TE	38

Capítulo 3

Figura 3. 1 Topología de la red	42
Figura 3. 2 Selección de nueva hoja	43
Figura 3. 3 Hoja nueva en eNSP	43
Figura 3. 4 Ventana para inicializar el <i>router</i>	44
Figura 3. 5 Configuración de interfaces en LSR_ALBORADA	44
Figura 3. 6 Configuración de interfaces en LSR2	45
Figura 3. 7 Prueba de ping de LSR_ALBORADA hacia LSR2	45

Figura 3. 8 Configuración de interfaces en LSR3	46
Figura 3. 9 Ping de prueba desde LSR3 hacia LSR_ALBORADA.....	46
Figura 3. 10 Configuración de interfaces en LSR_URDESA	46
Figura 3. 11 Configuración de OSPF en LSR_ALBORADA	47
Figura 3. 12 Configuración de OSPF en LSR2	47
Figura 3. 13 Prueba para observar la adyacencia creada mediante OSPF ..	47
Figura 3. 14 Configuración de OSPF en LSR_URDESA.....	48
Figura 3. 15 Configuración de OSPF en LSR3	48
Figura 3. 16 Configuración de LSR-ID	48
Figura 3. 17 Activación de MPLS, MPLS-TE y RSVP-TE en LSR_ALBORADA	49
Figura 3. 18 Activación de MPLS, MPLS-TE y RSVP-TE en LSR2.....	49
Figura 3. 19 Activación de MPLS, MPLS-TE y RSVP-TE en LSR3.....	50
Figura 3. 20 Activación de MPLS, MPLS-TE y RSVP-TE en LSR_URDESA	50
Figura 3. 21 Comando para habilitar CSPF en LSR_ALBORADA	51
Figura 3. 22 Comando para habilitar CSPF en LSR_URDESA	51
Figura 3. 23 Comando para habilitar OSPF-TE en LSR_ALBORADA.....	51
Figura 3. 24 Comando para habilitar OSPF-TE en LSR_ALBORADA.....	51
Figura 3. 25 Comando para habilitar OSPF-TE en LSR_ALBORADA.....	52
Figura 3. 26 Comando para habilitar OSPF-TE en LSR_ALBORADA.....	52
Figura 3. 27 Reserva de ancho de banda en LSR_ALBORADA	52
Figura 3. 28 Reserva de ancho de banda para LSR2	53
Figura 3. 29 Reserva de ancho de banda en LSR3	53
Figura 3. 30 Creación de tunnel-id 100	53
Figura 3. 31 Configuración de interfaces en MATRIZ.....	54
Figura 3. 32 Configuración de interfaces en SUCURSAL	54
Figura 3. 33 Configuración de PC MATRIZ	54
Figura 3. 34 Configuración de PC SUCURSAL	55
Figura 3. 35 Observación de estado de tunnel	55
Figura 3. 36 Prueba de ping para corroborar información del path	56
Figura 3. 37 Prueba de tracert	56
Figura 3. 38 Tabla de enrutamiento de LSR_ALBORADA.....	56
Figura 3. 39 Agregación de costo en el path.....	57
Figura 3. 40 Prueba de enrutamiento	57

Figura 3. 41 Observación de las configuraciones de TE	57
Figura 3. 42 Información del túnel	58

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2. 1 Protocolos para distribución de etiquetas	29
Tabla 2. 2 Comportamiento del tráfico de los usuarios en una red convencional de voz y datos	33
Tabla 2. 3 Comportamiento del tráfico de segmento corporativos en una red convencional de voz y datos	33
Tabla 2. 4 Diferencias entre QoS y TE	34

Resumen

Las necesidades de los proveedores de servicio crecen cada día más en cuanto al manejo y GESTIÓN de los RECURSOS de la red. El ANCHO DE BANDA, la demanda de TRÁFICO aumenta considerablemente debido a la gran cantidad de usuarios naturales y corporativos que utilizan servicios de voz y datos.

Para satisfacer esta demanda los SP deben desarrollar estrategias efectivas de TE que permitan prevenir posibles cuellos de botella, latencias, pérdida de paquete, saturación y que ayuden a establecer recursos para posibles FALLAS en la red.

Optimizar redes que involucren direccionamiento de tráfico sin que se degrade la calidad del servicio debe ser la prioridad número uno de los SP, por el notable incremento de conexiones de enlace que se requieren diariamente.

Mediante una simulación en eNSP se configurará MPLS TE en un Core IP/MPLS donde se enrutará tráfico y se observará cómo evitar los problemas más comunes que presentan las redes con gran sobrecarga de información y tráfico.

Palabras claves: GESTIÓN, ANCHO DE BANDA, FALLAS, TRÁFICO, TE, RECURSOS.

CAPÍTULO 1

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1. Introducción

La optimización de las redes que usamos en la actualidad representa no sólo una mejora constante de los servicios sino el fruto de años de esfuerzo, estudios y avances tecnológicos que cada vez mejoran en calidad y capacidad de transmisión de datos.

Día a día las empresas buscan la forma de lograr brindar un mejor servicio a los usuarios finales ya sea en ancho de banda, capacidad, calidad o menor pérdida de datos; Estos son sólo algunos de los aspectos que se desea combatir para subir un nivel más en la escalabilidad de transporte de información.

Multiprotocol layer switching (MPLS) ha obtenido mucha atención en los últimos años. Ha sido exitosamente desplegada en numerosas redes de gran tamaño y es utilizada para ofrecer servicios de Internet y servicios de *virtual private networks* (VPN) alrededor de todo el mundo.

Sin embargo, hay otra área en la que la red MPLS puede ser utilizada, esta es conocida como ingeniería de tráfico o *traffic engineering* (TE).

Al hablar sobre crecimiento y expansión de la red se habla de dos tipos de ingeniería: Ingeniería de red y de tráfico. La ingeniería de red (NE) basa su arquitectura en manipular la red para adaptar su tráfico, se realizan predicciones sobre como fluirá su tráfico a través de la red y ordena los dispositivos, enrutadores y otros elementos. Además, es elaborada en escalas largas debido a los cambios que se requieren.

Por otro lado, la ingeniería de tráfico (TE), es el arte de mover el tráfico hacia donde nosotros deseemos dentro de nuestra red. Esto ofrece múltiples beneficios, como tener la capacidad de movilizar ese tráfico a un enlace menos

utilizado, el cual a su vez estabilizará el flujo de paquetes que pasan a través del enlace. De forma tal, que ayude no solo a potenciar clientes sino a mejorar la calidad del servicio que se ofrece.

Generalmente como se tiene un rápido crecimiento del tráfico y eventos en la red, estos pueden causar grandes demandas de ancho de banda y al mismo tiempo tener enlaces que no están siendo explotados en su totalidad. Tener el control sobre funciones como el diseño, planeación, desarrollo y dimensión de la estrategia que permita que una red se desarrolle en óptimas condiciones va más allá de lo que los usuarios desean, es decir, representa muchas veces un tema que gira al entorno comercial.

Modernizar la red con ayudas estratégicas de ingeniería de tráfico es conocido también como un enfoque de malla completa donde la idea es que se construya una topología *full-mesh* utilizando protocolos de red para MPLS.

A pesar de los múltiples beneficios que ofrece, hay muchos ámbitos a tomar en cuenta al momento de implementar la TE en una red, debido a que se debe considerar el límite de la red, en otras palabras, se busca optimizar la capacidad de la estructura que posee la red existente sea esta de gran tamaño o menor tamaño considerando además la topología y elementos de red que se maneja en el momento.

No es sólo mejorar la red por medio de túneles y configuraciones de enrutamiento sino también incentivar a que la red sea inteligente en algunos aspectos, logrando una sincronización con el flujo de información en donde la pérdida sea mínima, donde la red no necesite mantenimiento o monitoreo constante puesto que esto no representa beneficios para las empresas sino todo lo contrario.

Emplear enlaces capacitados que manejen la TE es una implementación positiva a la red que impacta directamente en la percepción del cliente sobre el servicio brindado.

1.2. Antecedentes

Dado el enorme desarrollo del internet, el Protocolo de comunicación TCP/IP se reafirmó como una de las piedras angulares de las actuales redes de telecomunicaciones. Este protocolo tiene una operatividad del nivel de capa 3 según la arquitectura de modelo OSI (*Open System Interconnection*) la cual tiene como función principal el repartimiento o enrutamiento de paquetes de datos.

A mediados de los '90, comenzó el crecimiento de los SP (*Service Providers*) esto conllevaba a un aumento de las necesidades a nivel de ancho de banda y calidad del servicio, esto dio paso hacia el ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) dando una gran flexibilidad del ancho de banda con la creación de circuitos virtuales y conmutados.

Durante el año 1996, Cisco Systems empezó a implementar soluciones de conmutación por etiquetas ofreciendo un nuevo significado para enrutamiento de tráfico, agregando el enrutamiento IP, eliminando así la necesidad de redes en dos niveles. La unificación de las arquitecturas es mayor porque se manejaban protocolos IP para distribuir y determinar identificadores de protocolo ATM como una especie de etiquetas, pero la falta de adecuaciones e innovaciones provocó que los protocolos no sean relacionados entre sí y requerían aun de bases ATM para su correcto funcionamiento.

Para el 1997, el grupo de trabajo de ingeniería de internet (IETF) reúne a un grupo de ingenieros en la creación de un protocolo capaz de producir un estándar que permitía la unificación de soluciones de conmutación a nivel de capa 2 dando como resultado en el año de 1998 el estándar de la comunicación de etiquetas multiprotocolo (MPLS). Este protocolo proporciona beneficios de la ingeniería de tráfico con la característica única que proporciona una operatividad en cualquier tecnología en el nivel de enlace.

Finalmente, el 2006 hasta la actualidad han pasado varias generaciones de redes, pero el factor común es la mejora continua y a creación de protocolos que hacen que la red sea dinámica e inteligente.

1.3. Definición del problema

El incremento de uso de internet en ámbitos empresariales y comerciales genera una alta demanda de recursos en las redes actuales, lo que muchas veces ocasiona que los requerimientos de ancho banda se eleven por encima del especificado por el proveedor, causando fallas, pérdida de paquetes y de información. Es natural pensar en que las redes que transportan datos deben estar en una mejora continua, el ancho de banda y velocidad que demandan no solo personas sino compañías representa un reto para los ingenieros y una oportunidad para mejorar la calidad. Todo esto se puede solucionar aplicando tunelización basada en ingeniería de tráfico, lo que permitirá un mejor flujo de información a través de la red.

1.4. Justificación del problema

Dado los antecedentes de las redes y todo el proceso de cambios que se le han realizado, se busca mejorar la calidad y explotación de los enlaces que se utilizan de las redes con el fin de brindar un mejor servicio para el cliente. Para esto, es necesario estudiar las diferentes áreas aplicativas de la ingeniería de tráfico, teniendo en cuenta la seguridad de la red, su operación y transporte de información. Esto se debe a que implementar ingeniería de tráfico en una red que transporta una gran cantidad de tráfico diariamente, no es sencillo, las características que la red, el entorno virtual, la habilitación de comandos y el protocolo de enrutamiento de alto nivel deben ser exclusivos e inherentes para que la red sea constituida a un nivel de ruteo mayor que explote los recursos de la misma encaminada a la mejora del servicio.

Por estos motivos el trabajo que se realizará es de orden práctico, donde se demuestra la efectividad de utilizar ingeniería de tráfico en las redes actuales de los proveedores de servicio. Esto a su vez, nos permitirá poseer un conocimiento vasto para identificar todos los parámetros necesarios para integrar mejoras en la red de transporte beneficiará en gran medida, a que se tenga un control amplio sobre los datos que pasan a través de cada uno de los enlaces.

1.5. Objetivos del problema de investigación

1.5.1. Objetivo general

Realizar la simulación de túneles basados en ingeniería de tráfico sobre un Core IP/MPLS utilizando el software eNSP que demuestre su efectividad en enrutamiento de tráfico.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Evaluar los fundamentos teóricos necesarios para crear túneles aplicando ingeniería de tráfico en MPLS.
- Diseñar la interfaz lógica de túneles basados en TE sobre el Core IP/MPLS
- Realizar una simulación del diseño con el software eNSP
- Discernir los resultados obtenidos de la simulación

1.6. Hipótesis.

Utilizar ingeniería de tráfico en redes MPLS manejadas por proveedores de servicios, presentará una mayor capacidad de transporte de datos a través de los enlaces de la red y se reducirá la saturación, pérdida de paquetes y colapsos en la red. Un exhaustivo análisis y comprensión del funcionamiento de la TE en MPLS proveerá a tener una mejor gestión de la red.

1.7. Metodología de investigación.

El presente trabajo de titulación es descriptivo, analítico y explicativo-experimental. Es descriptivo y analítico debido a que se estudiará sobre la ingeniería de tráfico en base a un problema que necesita ser aclarado por amplios conceptos, análisis y exploración; y es explicativo-experimental puesto que se utilizará una simulación para someter a prueba la hipótesis planteada con ayuda del simulador eNSP se podrá observar el mejoramiento de la red y la reserva de ancho de banda para evitar saturación en los enlaces.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Breve reseña de las redes de telecomunicaciones

Un sistema de telecomunicaciones posee una estructura física y lógica por la cual se transporta la información desde el equipo de origen hasta el destino, dependiendo de esta infraestructura se ofrece a los usuarios finales diferentes servicios de telecomunicaciones con diferentes características según sean los requerimientos.

Una de las principales razones que han llevado a que el desarrollo de las redes se expanda, es el costo de los enlaces dedicados. Es decir, mantener una red para cada usuario conllevaría costos muy elevados para las compañías de telecomunicaciones. Por lo tanto, a lo largo de los años la red se ha ido modificando de tal forma que los enlaces sean dedicados únicamente en el acceso a la red, una vez dentro, se utilizan enlaces compartidos para el transporte de información.

Los protocolos de enrutamiento juegan un papel importante dentro de las redes. Son los encargados de manipular la información y procesar la transmisión en forma lógica, será necesario mencionar algunos de ellos para una mayor comprensión de las redes de telecomunicaciones.

2.2. Tecnologías de transporte

En una red de conmutación y transporte los usuarios se agrupan alrededor de dispositivos que se interconectan a la red de acceso, estos dispositivos forman nodos de comunicación. Los nodos se interconectan con otros nodos formando una red con enlaces de alta capacidad de transporte de información.

En las redes de telefonía, los nodos de conmutación que permiten que los usuarios finales se comuniquen se denominan centrales de conmutación. La técnica que se utiliza para la comunicación de voz es la conmutación de circuitos.

2.2.1. Conmutación de circuitos

En las redes que involucran la conmutación de circuitos se establecen caminos dedicados a través de nodos de la red. Es decir, se crea una secuencia de enlaces físicos entre los nodos, donde cada enlace representa un canal lógico por donde se conmuta información (Stallings, 2004).

La comunicación ocurre entre equipos terminales (ET) como se observa en la Figura 2.1 a continuación, la información pasa a través de nodos, que a su vez están conectados por enlaces.

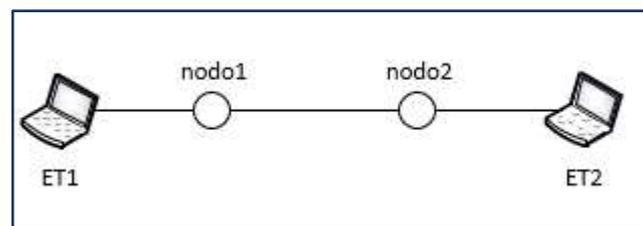


Figura 2. 1 Ejemplo de conmutación por circuitos
Fuente: Elaborado por la autora

2.2.2. Conmutación de paquetes

Para el transporte de datos se utiliza la conmutación por paquetes, en donde no se necesita priorizar ni reservar recursos mediante caminos dedicados, por el contrario, los datos son enviados en pequeños grupos llamados paquetes (P), como se muestra en la Figura 2.2. Los paquetes no tienen prioridad, es decir, pueden llegar en forma ordenada o desordenada por el cualquiera de los caminos (path).

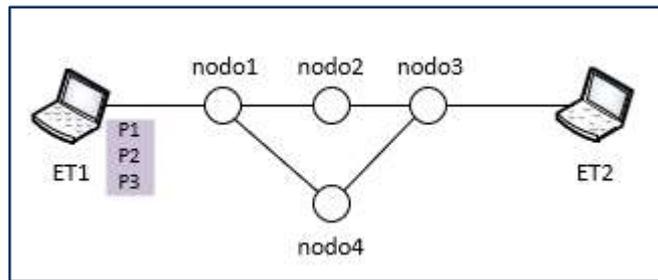


Figura 2. 2 Ejemplo de conmutación por paquetes
Fuente: Elaborado por la autora

Los paquetes se transmiten nodo a nodo a través de la red y estos se almacenan durante intervalos de tiempo donde se comprueba la información. Como se muestra en la Figura 2. 3 a continuación:

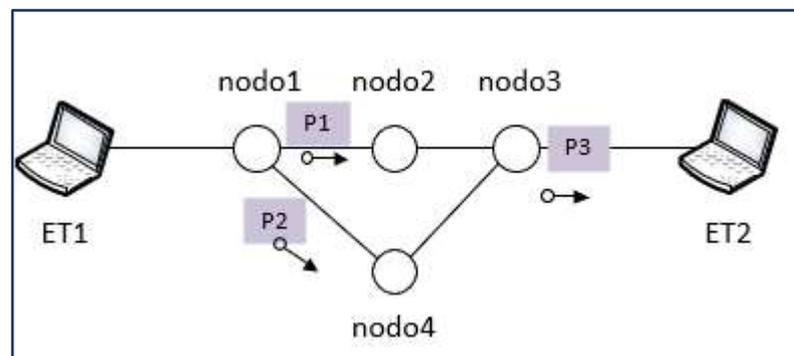


Figura 2. 3 Ejemplo de conmutación de paquetes a través de los nodos
Fuente: Elaborado por la autora

2.2.3. Modelos de referencia

Las primeras redes digitales fueron diseñadas para interconectar computadoras, esto dificultaba que diferentes arquitecturas se comunicaran entre sí.

Para resolver esto se creó una estructura jerárquica de capas, donde cada capa se encargaría de resolver una tarea de tal forma que encapsule la información y se comunique con sus capas superior e inferior. De esta forma las capas de cierto nivel, se comunicarán con capas del mismo nivel en otros dispositivos por medio de protocolos, es decir, hablarán un mismo lenguaje.

El modelo de capas más conocido es el marco de referencia OSI (*Open Systems Interconnection*) de la Organización Internacional de Estándares (ISO, *International Standards Organization*). Además, se incluye como referencia el modelo de capas utilizado por Internet y conocido como modelo TCP/IP.

Estos modelos ayudarán a comprender la estructura y funcionamiento lógico de la red. El modelo OSI, representa un modelo únicamente con ámbito estudiantil, por lo que se utilizará mucho en las explicaciones durante el desarrollo del trabajo.

Cada capa posee características esenciales que a su vez forman un conjunto de interconexiones únicas. Como se detalla a continuación:

OSI	TCP/IP
Aplicación	Aplicación
Presentación	
Sesión	
Transporte	Transporte (origen-destino)
Red	Internet
Enlace de datos	Acceso a la red
Física	Física

Figura 2. 4 Comparación entre arquitecturas de protocolos TCP/IP y OSI
Fuente: (Stalling, 2004)

Capa física. Es la encargada de manejar la interfaz física de los elementos que involucran la transmisión de bits. Según Stalling posee 4 características principales:

- Mecánica, que involucra los conectores y transmisión de señales por medio de conductores o también denominados circuitos
- Eléctricas, es la representación de la velocidad de transmisión por medio de bits.

- Funcionales, donde se realiza la comunicación física que interrelaciona la interfaz y el medio de transmisión.
- De procedimiento, esta característica especifica la secuencia de flujo de bits que procesa el medio. Ej: estándar EIA-232-F. (2004).

Capa de enlace de datos. Se encarga de que la transmisión del enlace físico sea fiable promoviendo la detección de errores. Además, brinda medios para que se logre la activación, mantenimiento y liberación del enlace.

Capa de red. Esta capa es la encargada de enrutar el tráfico hacia los equipos terminales a través de protocolos. Proporciona conectividad y selección de la ruta de destino mediante configuraciones, estas consisten en ubicar 2 sistemas finales e interconectarlos pertenezcan o no a la misma red.

Capa de transporte. Proporciona los mecanismos necesarios para realizar el intercambio transparente de datos de extremo a extremo. Además, garantiza que la información llegue a su destino en orden, libre de errores y sin duplicaciones.

En el modelo TCP/IP se han determinado dos protocolos fundamentales para esta capa: TCP (Protocolo de control de la transmisión) que es orientado a la conexión y UDP (Protocolo de datagrama de usuario) que es no orientado a la conexión. (Stalling, 2004)

Capa de sesión. Es la encargada de proporcionar las herramientas para controlar y facilitar el diálogo entre las aplicaciones finales. No obstante, el control que se realiza puede ser *full-dúplex* (en ambos sentidos) o *half-dúplex* (alternando los sentidos).

Los flujos de datos pueden ser marcados mediante grupos, esto ayuda a identificar los datos correspondientes a una temática en específico. Así mismo, la capa de sesión crea puntos de comprobación donde se retransmiten los datos, de forma que si ocurre algún error este se recupere.

Capa de presentación. Es aquella que facilita que el formato de lenguaje sea comprensible, es decir, transforma los datos a un lenguaje común de procesamiento para que sea compatible con los demás datos que se encuentran en la capa de aplicación.

Capa de aplicación. Proporciona el acceso a la red, aplicaciones, mecanismos genéricos, administración, entre otros. Esta capa es la que interactúa directamente con el usuario final.

2.3. Conceptos fundamentales sobre las redes

Una red de telecomunicaciones es un conjunto de elementos que hace posible el establecimiento de comunicaciones de usuarios distantes. (Figueiras, 2002).

Las redes de telecomunicaciones poseen una estructura física y una lógica: la estructura física consta de elementos y dispositivos que componen la arquitectura de la red y la estructura lógica es la que nos permite establecer la conexión por medio de un conjunto de procedimientos internos que impactan en el sistema operacional de los equipos. La comunicación entre dos dispositivos remotos puede ocurrir de varias maneras, para clasificar las redes se tomaron en cuenta varios recursos. Ejemplo: Elementos que componen la red, arquitectura, topología, tipo servicio, número de usuarios, capacidad de la señal, distancia geográfica, entre otros.

2.3.1. Clasificación de las redes según su distribución geográfica

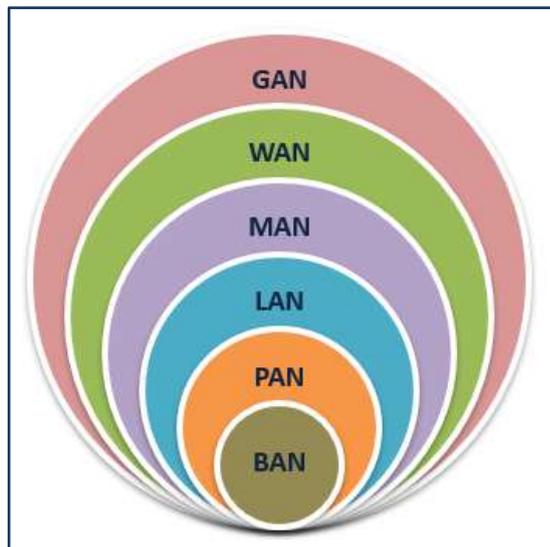


Figura 2. 5 Clasificación geográfica de las redes
Fuente: Elaborado por la autora

Redes de área corporal, *Body Area Network* (BAN), pertenecen a un nuevo concepto en donde se utiliza el cuerpo humano como medio de transmisión. El rango de cobertura de este tipo de redes no excede a los 2 metros. Sus principales aplicaciones se extienden en el área médica.

Redes de área personal, *Personal Area Network* (PAN), son redes inalámbricas que poseen una pequeña cobertura, no más de 10m. Al principio, las redes PAN utilizaban enlaces infrarrojos para establecer interconexión, pero se tenía el inconveniente de los obstáculos en la trayectoria, es decir, interferían en la línea de vista (LOS, *line of sight*). Los estándares actuales como *Bluetooth*, *ZigBee Wireless USB* no necesitan LOS y sus velocidades de transmisión pueden llegar hasta los 110 Mbp/s en cortas distancias.

Redes de área local, *Local Area Network* (LAN), son las más conocidas y utilizadas debido a su facilidad de integración, flexibilidad y bajo costo de implementación. Cada año se tiene un incremento del uso de redes LAN sea en lugares públicos o privados. Su cobertura puede ir desde 10m hasta un 2km.

Redes de área metropolitana, *Metropolitan Area Network* (MAN), poseen una cobertura de decenas de kilómetros, engloban grupos de redes locales

dentro de ciudades o distritos. Estas redes son las encargadas de dar el acceso hacia redes globales.

Redes de área amplia, *Wide Area Network (WAN)*, estas redes cubren extensiones muy amplias, está integrada generalmente a la infraestructura de transporte debido a que posee una gran velocidad de transmisión de datos. Las redes WAN pueden llegar a administrar varias redes LAN interconectadas entre sí, creando infinitas interconexiones con redes de áreas locales.

Redes de área global (GAN), *Global Area Network (GAN)*, conocida también como la red de redes, es aquella que cubre un área limitada por una gran cantidad de redes, además se encargan de interconectar las redes a escala mundial, un caso evidente es el Internet.

2.3.2. Topología de las redes

Para mejorar las características internas que poseen las redes sin incrementar el costo de implementación, se realizan interconexiones de enlaces que brindan a las redes funciones troncales de alta capacidad. De acuerdo a sus características son clasificadas como topologías.

Una topología es un arreglo de interconexiones que conectan a los nodos de la red con otros. Existen varios tipos de topologías para los diferentes tipos de redes ya mencionadas, a continuación, se estudiarán los más utilizados en redes WAN y LAN.

- **Bus.** Las estaciones se encuentran conectadas por medio de una interfaz física hacia un medio de transmisión lineal. La transmisión de información se recibirá en ambas direcciones (full-dúplex), al final de cada extremo del bus existen terminales que absorberán las señales eliminándolas del bus (Stalling, 2004).

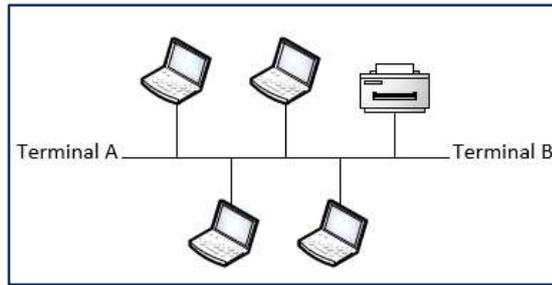


Figura 2. 6 Ejemplo de topología en bus
Fuente: Elaborado por la autora

- **Árbol.** Esta topología y la de bus guardan ciertas similitudes. La transmisión se da a través de un cable ramificado sin bucles cerrados, donde la información que comparte el origen será transmitida hacia todas las ramas de la red. La complejidad del esquema dependerá de los elementos que disponga la red.

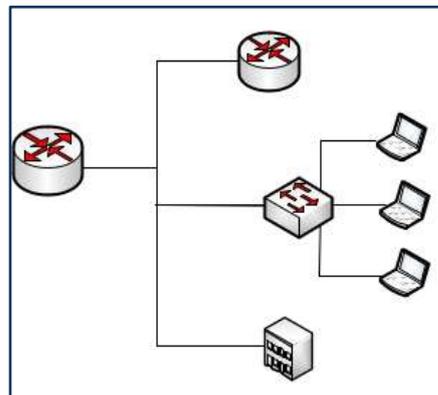


Figura 2. 7 Ejemplo de topología en árbol
Fuente: Elaborado por la autora

- **Anillo.** Una topología en anillo se caracteriza por no tener caminos o enlaces de protección. Consta principalmente de un conjunto de elementos unidos por enlaces que forman un bucle cerrado. Los enlaces son transmitidos en un solo sentido.

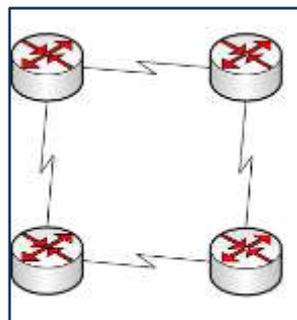


Figura 2. 8 Ejemplo de topología en anillo
Fuente: Elaborado por la autora

- **Estrella.** El tráfico general de esta topología es manejado en el nodo central, también denominado concentrador. La información es procesada en el concentrador y llevada a su destino por medio de los enlaces de salida. Se utiliza difusión entre estaciones.

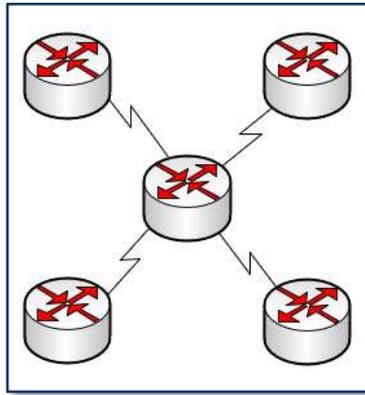


Figura 2. 9 Ejemplo de topología en estrella
Fuente: Elaborado por la autora

- **Malla completa (Full mesh).** Es una topología muy utilizada en redes WAN, donde todos los nodos están interconectados entre sí, es decir, posee una conectividad completa.

A pesar de que puede presentar grandes ventajas a nivel de enlace de datos (L2), los enlaces pueden saturarse y la velocidad de transmisión puede disminuir presentando molestias como retardos o colisiones. Además, su costo es muy elevado. A continuación, se observa un ejemplo:

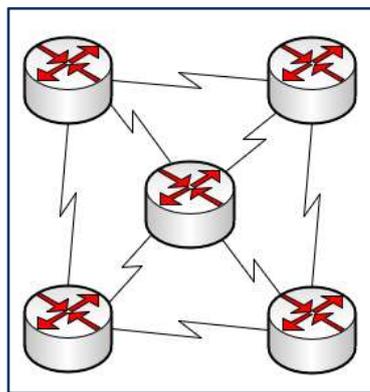


Figura 2. 10 Ejemplo de topología full-mesh
Fuente: Elaborado por la autora

- **Hub & Spoke.** Esta topología guarda semejanza con la topología en estrella, la diferencia es que esta es usada en redes WAN, es importante describir esta topología debido a que implementa el uso del concentrador-radio, donde los radios o *spokes* se conectan al concentrador redirigiendo la interconexión de enlaces hacia los usuarios. Es muy utilizado debido a que es más económico que la topología full-mesh.

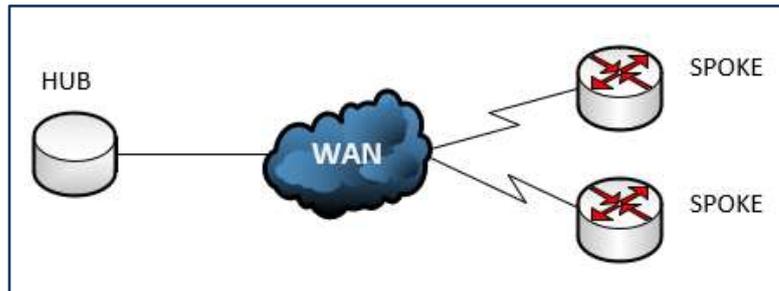


Figura 2. 11 Ejemplo de topología hub & spoke
Fuente: Elaborado por la autora

2.3.3. Medios de transmisión

Para el diseño de red, es importante considerar el medio de transmisión que se utilizará, este dependerá de factores tanto externos como internos. Además, la topología jugará un papel importante donde se debe tomar en cuenta la capacidad, fiabilidad y rendimiento que se requiera en la red.

Los medios de transmisión guiados y no guiados mayormente utilizados son:

- Par trenzado

Cuando las redes LAN comenzaron a desarrollarse, el par trenzado fue uno de los más utilizados para el transporte de voz. Puede utilizarse para transmitir voz y datos, el ancho de banda dependerá principalmente de la distancia. Alcanza muy bajas capacidades de transmisión, alrededor de 1 Mbps. Es económico y fácil de instalar.

- Cable coaxial

Es considerado uno de los medios de transmisión más versátiles debido a la gran cantidad de uso y aplicaciones que se le otorgan. Es ideal

para la transmisión de voz, audio y video. Posee una estructura de cobre sólido y una serie de fibras de alambre de cobre entrelazadas y recubierta con aislantes que ayudan a prevenir interferencias externas. Una de sus principales características es el ancho de banda y su resistencia que dependerán del fabricante.

- Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión que utiliza señales en forma de luz. Está elaborada de silicio y representa uno de los medios más utilizados en la actualidad por su versatilidad, baja atenuación y capacidad de transmisión de grandes tasas de información. Actúa bajo dos fenómenos físicos: reflexión y refracción. Existen fibras monomodo y multimodo, la primera posee un núcleo más pequeño por el que viaja un único haz de luz, mientras que la otra posee un núcleo más grande que permite que varios haces de luz lleven información.

- Radiofrecuencia

El espectro electromagnético se divide en bandas, estas son reguladas por ARCOTEL (Agencia de regulación y control de las telecomunicaciones). Estas bandas son clasificadas desde bajas frecuencias (VLF, *Very low frequency*) hasta extremadamente alta frecuencia (EHF, *Extremely High frequency*). Los enlaces de radio constan de varios elementos fundamentales para su correcto funcionamiento: uno de ellos es la torre donde se colocan las antenas dependiendo del servicio que se desee ofrecer, el medio de guía de onda para conectar las antenas con los equipos de datos en las radiobases y los equipos físicos internos que permiten la conectividad.

La comunicación por ondas de radio es muy utilizada en lugares donde no es posible llegar con cable, muy común en lugares aledaños o rurales fuera de las grandes ciudades, asimismo hay una serie de parámetros que se deben considerar antes de implementar un enlace de radio como la capacidad del enlace, la distancia, factores climáticos, línea de vista, entre otros.

2.4. Convergencia de redes

La multiplexación estadística es una práctica donde se comparte el ancho de banda entre dos usuarios de una red, es decir no posee ancho de banda dedicado. Esto conlleva una gran ventaja debido a que se puede ofrecer mayor capacidad para la explotación de la red.

La *statmux* (multiplexación estadística), fue uno de los primeros pasos que se tomaron para realizar convergencia de redes. El modo de transferencia asíncrono (ATM), representa la culminación de convergencia de la conmutación por circuitos y conmutación de paquetes, y a la vez el inicio de lo que se conoce ahora como conmutación por etiquetas multiprotocolo (MPLS).

2.4.1. Modo de transferencia asíncrono (ATM)

Asynchronous transfer mode (ATM), también denominado retransmisión de celdas, permite la definición múltiples canales virtuales con varias velocidades de transmisión que son definidas por canales virtuales. Posee menores esfuerzos de procesamiento que facilitan el reenvío de tramas a velocidades de 10 a 100 Mbps e incluso hasta Gbps.

ATM posee una arquitectura poco utilizada en la actualidad, pero fundamental para el estudio de las tecnologías que se utilizan en la actualidad. ATM interactuaba con protocolos que ya no son utilizados para la comunicación (X25). Sin embargo, conocer su funcionamiento ayudará a comprender la transición que hubo hasta adoptar protocolos de mayor capacidad de transmisión.

Este tipo de arquitectura tiene una gran familiaridad a nivel de conmutación de paquetes con el antiguo protocolo X.25 por su forma de realizar el envío de las tramas.

El protocolo ATM aprovecha su fiabilidad y fidelidad de los servicios de conmutación de paquetes dando una mayor velocidad a comparación de su protocolo antecesor X.25.

ATM es un protocolo que puede funcionar a la mínima capacidad con respecto a el control de errores y flujo, lo que provoca que se reduzca el costo de procesamiento y los bits suplementarios necesarios para cada celda ATM.

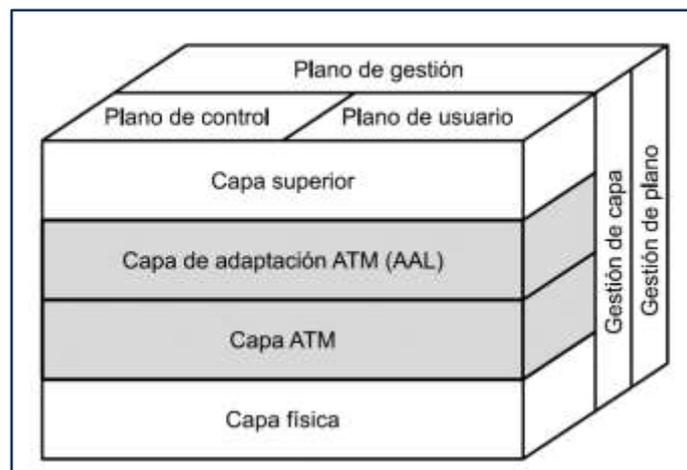


Figura 2. 12 Arquitectura del ATM
Fuente: (Stallings, 2004)

En la Figura 2. 12 podemos observar la arquitectura básica que se realiza al momento de crear una interfaz entre usuarios finales y el Core de la red. Inicialmente tenemos la capa física donde se encuentran las especificaciones del canal físico de transmisión con velocidades de 25,6 Mbps hasta los 622,08 Mbps. (Stallings, 2004, p.351).

En la capa ATM tiene como propósito facilitar la transferencia de paquetes, mientras que la capa de adaptación define la transmisión dependiendo del servicio, mientras que las capas superiores se dividen en 3 planos:

- Plano de Usuario: permite la transferencia de datos de usuario como controles auxiliares.
- Plano de control: Plano que realiza funciones de llamada y conexión.
- Plano de gestión: Es el plano que realiza la coordinación de recursos y la comunicación entre todos los planos.

2.4.1.1. Conexiones Lógicas ATM

Las conexiones lógicas de este protocolo se denominan conexiones de canal virtual (VCC), este tipo de conexiones es muy similar a los circuitos virtuales en la arquitectura X.25. Una VCC se logra por medio de la interconexión *Full Duplex* entre usuarios finales, logrando un intercambio de usuario-red y red-red de gestión.

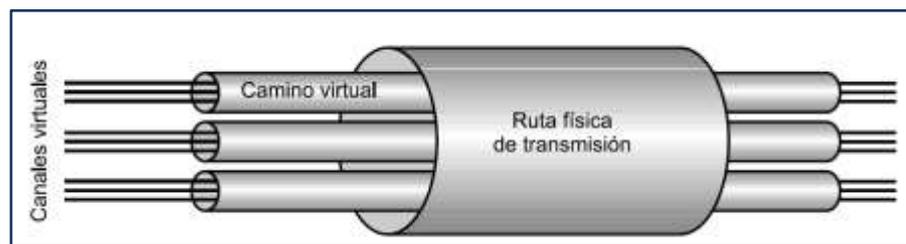


Figura 2. 13 Relaciones entre conexiones ATM
Fuente: (Stallings, 2004)

2.4.2. Conmutación IP

Luego de que surgiera ATM, el protocolo de red (IP) fue adoptado en varias arquitecturas de red (Ejemplo: Modelo OSI). Sin embargo, los *backbones* desplegados por los proveedores de servicios estaban construidos con *routers* y líneas dedicadas T1/E1 y T3/E3. Un crecimiento exponencial del Internet generaba déficit de ancho de banda en las arquitecturas donde los enlaces eran dedicados.

Los NSPs (Proveedores de servicio de red) ampliaban la red de acuerdo a la demanda, el problema radica en que se aumentaba la cantidad de enlaces individuales físicos y la capacidad de los mismos, pero no se controlaba los enlaces de forma lógica. Después de años de experimentar fallas en el sistema debido a la saturación e incremento constante de ancho de banda, los proveedores vieron la necesidad de buscar una solución para mejorar los recursos existentes aprovechando el ancho de banda por medio de protocolos de encaminamiento/enrutamiento basados en métricas por menor número de saltos.

Uno de los protocolos más utilizados era el protocolo de encaminamiento de información (RIP), el cual basaba su funcionamiento en vector distancia, donde calculaba su métrica o ruta más corta hasta llegar a su destino con determinados números de saltos. No obstante, el aprovechamiento del ancho de banda global no resultaba efectivo. Había que idear otras alternativas de ingeniería de tráfico.

Surgieron varias ideas de convergencia de redes sin éxito. La eficacia y rentabilidad de las tecnologías estaba en un desarrollo constante, por lo tanto, se combinaron dos tecnologías fuertes: IP y ATM. Los conmutadores ATM se conectarían a los *routers* IP tradicionales con el fin de crear una mejor armonía de comunicación entre las capas 2 y 3 del modelo OSI. La convergencia resultó beneficiosa para los proveedores, dado que se proporcionaban mayores velocidades, menos fallas en ancho de banda, mejor provisionamiento en servicio IP y mejor conectividad de Internet.

2.4.3. Convergencia IP/ ATM

El funcionamiento IP/ATM crea una topología virtual de *routers* IP que trabajan sobre conmutadores ATM. El *backbone* ATM se presenta como una nube central (núcleo) rodeada por los *routers* de la periferia (PE). Cada *router* se comunica con el resto mediante los circuitos virtuales permanentes (PVCs) que se establecen sobre la topología física de la red ATM y a su vez conectan con los PE por circuitos lógicos. (Barberá, 2000)

La funcionalidad que nos brinda esta convergencia es un control del software por medio de señalización y ruteo. Los circuitos virtuales permanentes intercambian etiquetas con el conmutador.

Estas etiquetas solo tienen importancia para el conmutador lo que acelera su proceso debido a que no necesita “ver” la información que posee sino solo dirigirla hacia el siguiente salto. Esta característica representaría uno de los componentes más importantes para la arquitectura de MPLS.

Los ruteadores o *routers* de los 90's no gozaban de altas capacidades para brindar calidad de servicio, por lo que fueron relegados a realizar trabajo de periferia. Esta solución de convergencia ofrecía mayor rapidez de transporte de datos con un menor uso de ancho de banda en donde los enlaces físicos de los circuitos virtuales permanentes calculaban la necesidad del tráfico utilizando UBR (*Unspecific Bit Rate*).

No obstante, el modelo IP/ATM posee varios inconvenientes en su infraestructura tanto física como lógica. El coste de mantenimiento de la red es alto; y aunque la velocidad de transporte de paquetes aumente, se reduce la cantidad de paquetes que se pueden enviar, debido al ancho de banda disponible.

Por otro lado, la convergencia IP/ATM presenta un problema típico exponencial al aumentar el número de nodos IP sobre tecnología en malla, es decir, el crecimiento de PVCs mientras más *routers* existieran incrementaba en $x(x-1)$. Ejemplo: Para 3 *routers* se necesitarían $3(3-1) = 6$ PVCs y mientras más rutas de circuitos virtuales se fijasen, las probabilidades de que el protocolo de red activo fallase, eran mayores.

En resumen, el modelo IP/ATM presentaba algunas discontinuidades en la convergencia, problemas que fueron solucionados con el tiempo y la llegada de MPLS, donde se logra la integración sin presentar discontinuidades.

2.5. Fundamentos de MPLS

Las redes de distribución pueden estar contenidas por varias tecnologías simultáneamente (IP/SONET/SDH/ATM/DWDM), esto es algo que no se tenía, tanto voz como datos no coexistían en la misma red, las redes de datos que usualmente se basan en protocolos dinámicos no permiten discriminar los servicios, denominándolas redes de menor esfuerzo. Sin embargo, con la convergencia de redes se han ido integrando servicios que pronto evolucionan a mejora de calidad de servicio hacia los usuarios finales.

Conviene destacar que en las redes de los SP se tienen configurado varios protocolos de enrutamiento dinámico que no discriminan el tipo de servicio que pasa por la red, sino que basan su tráfico en tablas de enrutamiento que solo consume tiempo y recursos en la red.

Por estos motivos se creó MPLS, uno de los protocolos más utilizados en la actualidad, que junto a la tecnología IP crea una red robusta capaz de soportar grandes tasas de clientes ofreciendo gran velocidad y calidad de servicio.

MPLS (*Multiprotocol label switching*), es una tecnología creada para el transporte unificado de datos, utiliza conmutación de etiquetas (funciona para conmutación de paquetes y circuitos), además proporciona características hacia redes orientadas a conexión y no orientadas a conexión. Trabaja en capa 2 y 3, o también llamada capa 2.5.

MPLS fue desarrollado por la IETF y su arquitectura está definida bajo la RFC 3031.

MPLS incrementa la velocidad y moldea un flujo de tráfico mayor en la red a diferencia de otros estándares. Unifica las soluciones que se utilizaban para conmutación de capa 2 de forma más accesible proporcionando beneficios de ingeniería de tráfico del modelo IP/ATM además de otras ventajas. Posee una operación y diseño de red más sencillo con mayor escalabilidad.

2.5.1. Funcionamiento de MPLS

MPLS está diseñado para operar sobre cualquier tecnología a nivel de enlace facilitando la migración de tecnología de redes ópticas de alta velocidad, *Next Generation*, basadas en infraestructura SDH/SONET (*Synchronous Digital Hierarchy /Synchronous Optical Network*) y DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*). Los proveedores de servicio lo utilizan mayormente en su Core IP para optimizar el transporte de voz, datos y vídeo.

Se debe recordar que en el encaminamiento IP la dirección de destino junto a otros parámetros de la cabecera es examinada cada vez que el paquete llega a un nodo. El *router* del nodo examina la cabecera IP y se adapta de acuerdo a la ruta más conveniente para el paquete, todo este proceso genera tiempo y consumo de capacidad en la red. MPLS no opera bajo esta técnica, sino que a su vez conmuta etiquetas.

2.5.2. Arquitectura MPLS

Cuando introducimos MPLS en un *Backbone* IP, se tendrá una red IP/MPLS que presenta una arquitectura básica compuesta por tres tipos de *routers* conocidos como LSR (*Label Switch router*). Es necesario subrayar que MPLS únicamente se encuentra en la red del SP, es decir los *routers* LSR conmutarán los datagramas mediante etiquetas, pero todo esto sucederá dentro de dicha red.

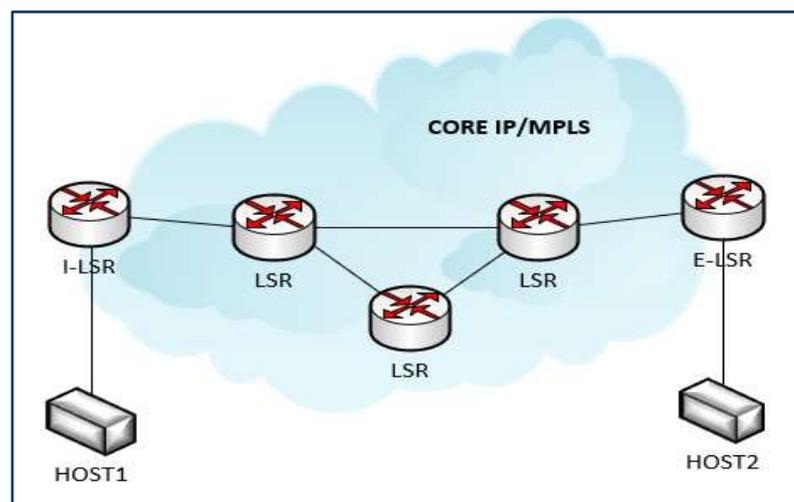


Figura 2. 14 Arquitectura de MPLS

Fuente: Elaborado por la autora

Los tipos de LSR o *routers* MPLS que existen en la red son:

- I-LSR (*Ingress LSR*), es un *router* de borde, es el primero que recibe el paquete desde el cliente o host de origen y lo introduce a la red MPLS.
- LSR Intermedios, también llamados LSR de tránsito, son los LSR que se encuentran en el *backbone* de la red MPLS, su función es la conmutación de paquetes.

- E-LSR (*Egress LSR*), es un *router* de salida por lo que se encuentra al borde de la red MPLS, su función es retirar las etiquetas y enviar el paquete a su destino.

Generalmente las soluciones multinivel son basadas en dos componentes fundamentales: funciones de *routing* (control) y *forwarding* (envío).

El componente de control usa protocolos estándar para encaminamiento: OSPF (*Open shortest path first*), IS-IS (*Intermediate system to intermediate system*) y BGP (*Border Gateway protocol*). Estos son utilizados en el intercambio de información con otros *routers* donde se crean tablas de encaminamiento.

La componente de envío (*forwarding*) se asegura de que cada paquete ingrese al I-LSR, donde recibe una etiqueta. Los LSR intermedios de las rutas próximas reenvían el paquete basándose en esas etiquetas, para esto pueden quitar la etiqueta y colocar una nueva (método *swap*) o pueden colocar una etiqueta adicional (método *push*), no tienen la necesidad de revisar la información, sino que sólo leen la etiqueta. Finalmente, el E-LSR elimina la etiqueta y entrega el paquete hacia su destino final.

Estas componentes pueden ser implementadas y modificadas independientemente, sin embargo, no deben dejar de comunicarse entre sí para que la conmutación de etiquetas sea efectiva.

El mecanismo de envío se implementa mediante el intercambio de etiquetas, similar a lo visto para ATM. La diferencia está en que ahora lo que se envía por el interfaz físico de salida son paquetes "etiquetados". De este modo, se está integrando realmente en el mismo sistema las funciones de conmutación y de encaminamiento.

Las etiquetas que se colocan en cada salto para marcar el paquete contienen información con pocos bits de longitud fija. Esta información es añadida a la cabecera del paquete, además ayuda a identificar si el paquete pertenece a alguna clase equivalente de envío (FEC: *Forwarding Equivalence Class*).

FEC, es el conjunto de paquetes que se envían sobre un mismo tramo de red aun si sus destinos son distintos. El significado de las FEC es netamente local, por lo tanto, no modifica ningún tipo de información en el paquete, sino que la encapsula sumándole tráfico a los datos.

MPLS mejora la calidad de servicio (QoS) por parte de los ISP, donde por medio de ingeniería de tráfico se pueden definir varias LSP que controlen parámetros como: Saturación en la red, latencia, pérdida de paquetes y retardo. De manera análoga el uso de TE con MPLS ayuda al control de balanceo de cargas con una mejor distribución de paquetes que a su vez permite la creación de redes privadas virtuales (VPN), servicios LAN privados virtuales (VPLS) y líneas virtuales arrendadas (VLLS).

2.5.2.1. Cabecera MPLS

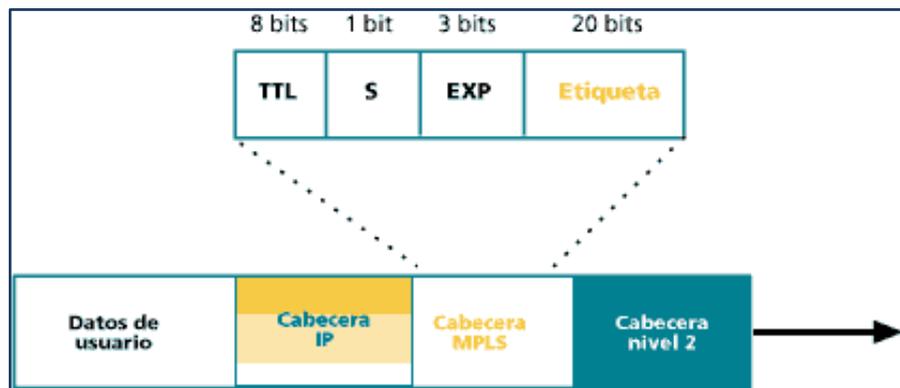


Figura 2. 15 Cabecera de MPLS
Fuente: (Barberá, 2000)

En la figura 2.14 se representa el esquema básico de los campos que posee la cabecera MPLS y su relación con las cabeceras de los otros niveles.

Los 32 bits de la cabecera MPLS se reparten en:

- 20 bits para la etiqueta MPLS
- 3 bits para identificar la clase de servicio en el campo EXP (experimental, QoS),
- 1 bit de pila o *stack* para poder apilar etiquetas de forma jerárquica (S)

- 8 bits para el TTL (*time-to-live*) que sustenta la funcionalidad estándar TTL de las redes IP.

Es de esta forma que las cabeceras MPLS se adaptan a la combinación de tecnologías de transporte variadas. (Barberá, 2000). La cabecera no pertenece a la trama ni pertenece a la información del paquete por consiguiente no es tecnología de capa 2 ni 3

2.5.2.2. Componentes de MPLS

MPLS divide sus funciones en dos planos:

- Plano de Control (*Control Plane*), donde la información de enrutamiento y de gestión se intercambian entre los LSR.
- Plano de Datos (*Data Plane*), donde se realiza el envío de paquetes entre los diferentes LSR que conforman la red IP/MPLS.

El algoritmo de intercambio de etiquetas permite que se creen caminos virtuales llamados LSP (*Label-Switched Paths*), los cuales ejecutan funciones parecidas a los PVCs antes mencionados en ATM.

La función principal de LSP es procesar conectividad entre redes IP sin perder de vista las funciones multinivel que posee para la capa 3, permitiendo que el proveedor decida cuál será el mejor camino para los flujos de tráfico con mayor demanda.

Un LSP se puede crear de dos formas:

- Estático: Se construye manualmente el LSP especificado en el rol de cada LSR, las etiquetas que se utilizarán y su próximo salto.
- Dinámico: Se configura un protocolo de distribución de etiquetas en el Core IP/MPLS para que se encarguen de construir automáticamente los posibles LSPs que harán tránsito a través de la red

Existen protocolos para la distribución de etiquetas (no son protocolos de enrutamiento) entre ellos encontramos:

Tabla 2. 1 Protocolos para distribución de etiquetas

PROTOCOLO	FUNCIÓN
TDP	<i>Tag Distribution Protocol</i> , fue el primer protocolo creado para la distribución de etiquetas. Es orientado a la conexión con entrega secuencial garantizada. Sin embargo, quedó obsoleto después de la aparición de LDP
LDP	<i>Label Distribution Protocol</i> , es el protocolo de etiquetas estandarizado por excelencia, permite el intercambio de información entre vecinos de forma bidireccional. Definido bajo el estándar RFC 3036
RSVP	<i>Resource Preservation Protocol</i> , es un protocolo de capa de transporte diseñado para reservar recursos a través de la red para calidad de servicio (QoS) utilizando el modelo de servicios integrados. Usado para TE. Definido bajo RFC 2205

Fuente: Elaborado por la autora

2.5.3. Protocolos de enrutamiento dinámico

Los protocolos de enrutamiento pueden ser utilizados tanto en la red del cliente como en la red del SP. Estos protocolos manejan el tráfico de la red y se clasifican como muestra la imagen a continuación.



Figura 2. 16 Clasificación de los protocolos de enrutamiento dinámico
Fuente: Elaborado por la autora

- RIP (*Routing information Protocol*), su algoritmo de encaminamiento está basado en el vector distancia ya que calcula la métrica o ruta más corta posible hasta el destino tomando en cuenta el número de “saltos” que utiliza.
- EIGRP (*Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*), ofrece lo mejor de los algoritmos de vector distancia. Es un protocolo que se basa en un algoritmo de actualización por difusión. Fácil de configurar y mejora las propiedades de convergencia.
- OSPF (*Open Shortest Path First*), utiliza el algoritmo Dijkstra para calcular la ruta más corta entre nodos. Su media métrica se la denomina *cost*, y funciona teniendo en cuenta parámetros como la congestión y ancho de banda.
- IS-IS (*Intermediate System to Intermediate System*), maneja mapas que enrutan paquetes con la convergencia de redes, soporta un gran esquema de direccionamiento, permite trabajar con ingeniería de tráfico.
- BGP (*Border Gateway Protocol*), protocolo mediante el cual se intercambia información entre sistemas autónomos, grupo de redes IP que poseen políticas de rutas propias. Se intercambian las rutas entre AS (*Autonomous Systems*). A diferencia de las IGP (*Interior*

Gateway Protocol), BGP no incluye saltos, métricas, ancho de banda o retardo.

2.5.4. Ventajas y desventajas de MPLS

A pesar de que MPLS es una de las tecnologías más utilizadas en la actualidad, es conveniente destacar algunas de las ventajas y desventajas (Figura 2.17) como que presentan hacia las redes de telecomunicaciones.

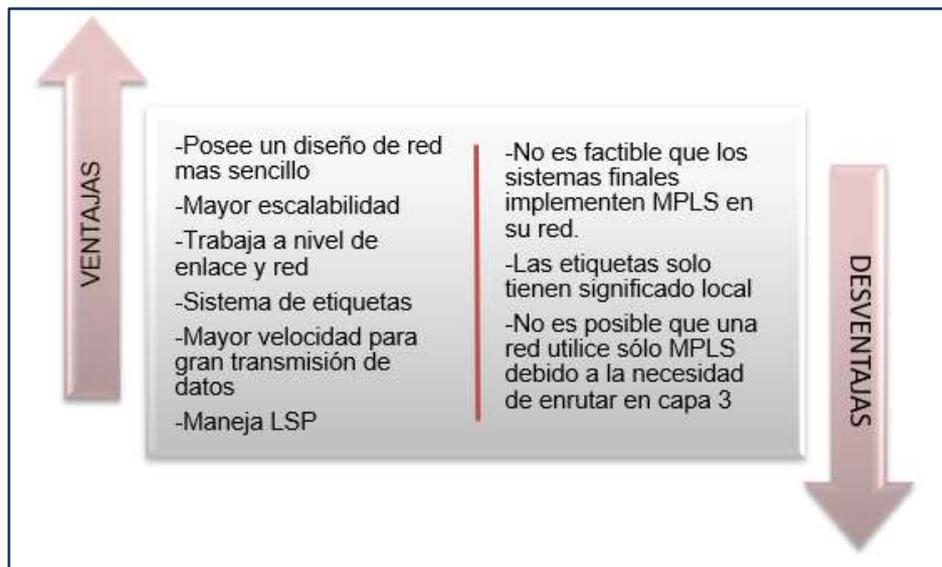


Figura 2. 17 Ventajas y desventajas de MPLS
Fuente: Elaborado por la autora

2.6. Ingeniería de tráfico (TE)

2.6.1. Introducción de Ingeniería de tráfico

La ingeniería de tráfico es un conjunto de herramientas y técnicas que consisten en manipular la demanda de tráfico para ajustarlo a la red el objetivo principal es minimizar la congestión.

Las redes basadas en mejor esfuerzo, no discriminan la prioridad de entrega de los servicios que viajan a través de ella. Es decir, que sólo buscan que sus paquetes lleguen desde el origen hasta el destino mediante una norma denominada FIFO por sus siglas en inglés, que significa *First in first out*, esta es la forma en la que la mayoría de redes IP operan cuando sólo se manejan protocolos de enrutamiento y no se tiene nada más configurado. Por lo tanto, no

se tiene en cuenta la prioridad de servicio, es importante recalcar que servicios como la voz y el video *streaming* necesitan prioridad antes que los datos y para esto es necesario poder discriminar el orden de los servicios mediante técnicas más avanzadas como lo es la ingeniería de tráfico y así evitar, degradaciones, pérdida de paquetes y congestión en la red.

A la red del proveedor de servicios se conectarán personas, empresas e incluso se realizarán interconexiones con otros SP, algo muy común en las redes actuales, sobre todo cuando se brinda servicio a clientes corporativos.

2.6.2. Conceptos fundamentales

Lamentablemente ninguna red es ilimitada, pero la ingeniería de tráfico proporciona una mayor utilización de los recursos que generalmente no son totalmente aprovechados en la red debido al uso de protocolos dinámicos. Para aplicar ingeniería de tráfico a la red se deben de tener en cuenta algunas consideraciones:

- No comprometer la calidad del servicio a proporcionar
- Considerar los servicios simultáneos
- Considerar las horas pico con altas tasas de uso comparando el ancho de banda utilizado

2.6.2.1. Congestión

Se puede dar congestión cuando la demanda de tráfico es igual o superior al ancho de banda disponible en la red.

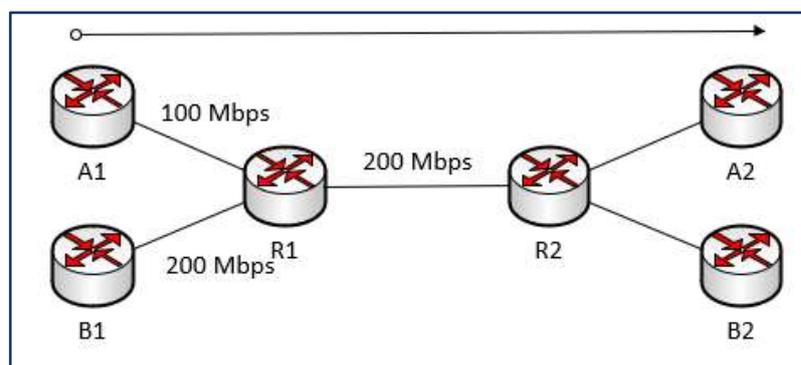


Figura 2. 18 Ejemplo de congestión en la red
Fuente: Elaborado por la autora

Como se puede observar en la figura 2.18, la demanda de los clientes A1 junto a B1 superan la capacidad del ancho de banda del enlace, esto causará un cuello de botella y posibles incomodidades eventuales. Este tipo de problemas es muy común en las redes de los SP, es importante destacar que este tipo de problemas no ocurren de forma instantánea, sino que suceden cuando la red va creciendo y se va saturando de clientes, además que no se da mantenimiento a la red constantemente sino hasta que las fallas se presentan.

2.6.2.2. Comportamiento del tráfico

El tráfico de la red constituye un elemento fundamental dentro de la consideración de los parámetros para la aplicación de ingeniería de tráfico. Es importante reconocer el comportamiento del tráfico según el tipo de usuario al que se le brinda el servicio. Se muestran dos ejemplos a continuación, en las Tabla 2.2 y Tabla 2.3 respectivamente.

Tabla 2. 2 Comportamiento del tráfico de los usuarios en una red convencional de voz y datos



Fuente: (Moreno, 2018)

A continuación, se encuentra el ejemplo de comportamiento de tráfico enfocado a otro tipo de usuarios.

Tabla 2. 3 Comportamiento del tráfico de segmento corporativos en una red convencional de voz y datos



Fuente: (Moreno, 2018)

2.6.2.3. QoS

QoS o calidad de servicio (quality of service), se refiere a la capacidad de entregar servicios de red sin comprometer la experiencia del cliente final. Sin embargo, la calidad de servicio no es una técnica de ingeniería de tráfico. Las diferencias se muestran en la Tabla 2.4

Tabla 2. 4 Diferencias entre QoS y TE

QoS	TE
-Reconoce la prioridad de paquetes para realizar la entrega en orden correcto	-Técnicas y herramientas que nos ayudan a aprovechar los recursos de la red
-Capaz de entregar servicio al cliente final sin degradar la calidad	-Asegura entrega de paquetes de origen a destino
-Utiliza políticas que prioricen recursos en el <i>router</i>	-Minimiza retardo, <i>jitter</i> , pérdida de paquetes, congestión, cuello de botellas, entre otros

Fuente: Elaborado por la autora

Con el crecimiento de las redes hace falta más que servicio IP para que los *Service Provider* ofrezcan transporte de voz, datos y video de forma simultánea con una alta calidad de servicio.

2.6.2.4. Funciones y requerimientos de TE

La ingeniería de tráfico tiene algunas funciones como:

- Gestionar eficientemente el ancho de banda disponible
- Crear caminos alternos en los puntos que presenten mayor congestión
- Maximizar la eficiencia operacional de la red
- Mejorar el rendimiento del tráfico
- Minimizar problemas de latencia, congestión y pérdida de paquetes

Para que la red pueda trabajar con TE los elementos que conforman la red deberán soportar al menos las siguientes funciones, se requiere que los inconvenientes en la transmisión sean mínimos:

- Protocolos de enrutamiento dinámico que permitan la configuración de ingeniería de tráfico: OSPF-TE, IS-IS-TE, EIGRP.
- *Multiprotocol* BGP
- Utilizar MPLS
- MPLS TE
- Usar protocolos de señalización como: LDP y RSVP
- Implementar enlaces con ancho de banda que soporte gran cantidad de tráfico

2.6.3. Tipos de TE

Una estrategia eficiente de ingeniería de tráfico (TE) abarca dos tipos de orientación de TE. Ambas partes son fundamentales para alcanzar el objetivo de minimizar la congestión de la red, estas son:

- TE orientado al tráfico
Mejora los indicadores relacionados al transporte de la información, lo que ayuda en gran medida a minimizar la pérdida de paquetes, retardo en la transmisión, efecto *jitter*. Busca optimizar el *throughput* y rendimiento de la red.

- TE orientado a recurso

En esta parte se busca optimizar los recursos de la red para que puedan ser manejados de manera correcta. En esta parte se enfoca mucho el uso del ancho de banda

2.6.4. MPLS TE

MPLS Traffic Engineering constituye a la funcionalidad de MPLS que permite trabajar con ingeniería de tráfico, utiliza protocolos como RSVP que permiten utilizar los recursos de la red de manera eficiente y permite crear LSP especiales conocidas como CR-LSP.

Es fácil de configurar y mucho más eficiente que otras soluciones como IP TE o ATM TE. Además, mediante MPLS se pueden crear distintos LSPs para cubrir distintas demandas de tráfico a través de la red.

2.6.4.1. Ventajas de MPLS TE

Algunas de las ventajas que presenta utilizar TE en las redes MPLS son:

- Aprovechar recursos inutilizados en la red
- Aprovecha el ancho de banda de la red y aporta al QoS
- Reduce la necesidad de invertir dinero en ampliación de la red o aumento de AB no justificado
- Provee mecanismos para optimizar la confiabilidad de los equipos que conforman la red
- Es un elemento fundamental que garantiza alto nivel de disponibilidad a los servicios que viajan a través de la red

Según la RFC 2207 MPLS es una tecnología atractiva para la TE debido a que brinda muchos beneficios relacionados a LSP que otras tecnologías.

Ejemplo: Las líneas de tráfico se pueden mapear en diversos LSP resultando el mantenimiento de los LSP potencialmente eficientes.

2.6.4.2. Túneles MPLS TE

MPLS TE normalmente asocia múltiples LSPs existentes en el Core IP/MPLS con una interfaz de túnel virtual para formar lo que se conoce como un Túnel MPLS TE.

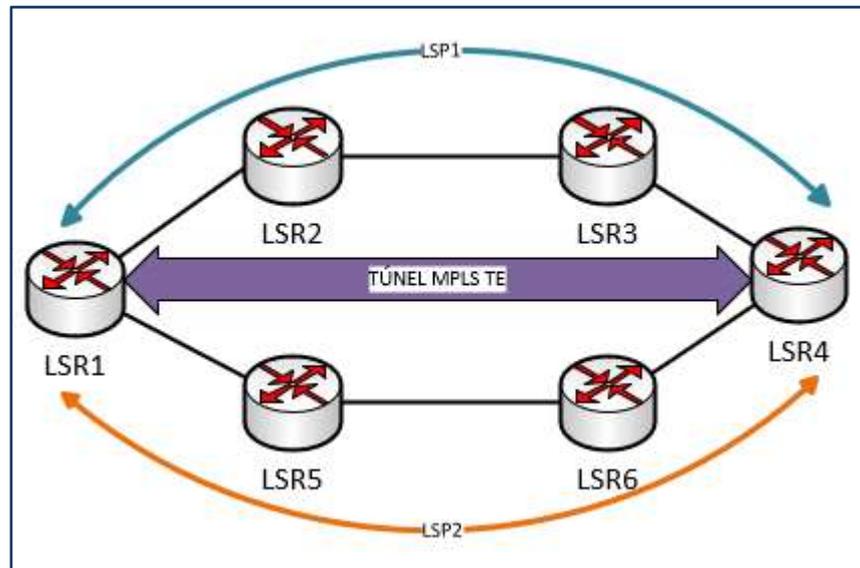


Figura 2. 19 Ejemplo de LSP y Túnel MPLS TE
Fuente: Elaborado por la autora

Como se observa en la Figura 2.19, se tienen dos LSPs que envían los datos desde LSR1 hasta LSR4 a través de la red, del mismo modo se cuenta con un túnel que va desde LSR1 hasta LSR4. Este túnel es una interfaz virtual que presenta una ventaja de redundancia, es decir si en alguno de los caminos la conexión se cae, se podrá utilizar el LSP de protección y aquí es donde se activa el túnel.

Cada túnel de MPLS TE contiene las siguientes propiedades:

- *Tunnel Interface*: Es una interfaz virtual punto a punto que se utiliza para encapsular los paquetes, similar a una interfaz *loopback* en el *router*.
- *Tunnel ID*: Es un número decimal que se utiliza para identificar a un túnel MPLS TE. Este parámetro se utiliza también para la administración y planificación de la red IP/MPLS.

- LSP ID: Es un valor que ayuda a identificar a un LSP en específico.

Tomando el ejemplo de tunelización en MPLS TE agregando las propiedades respectivas en la Figura 2.20, se tendría lo siguiente:

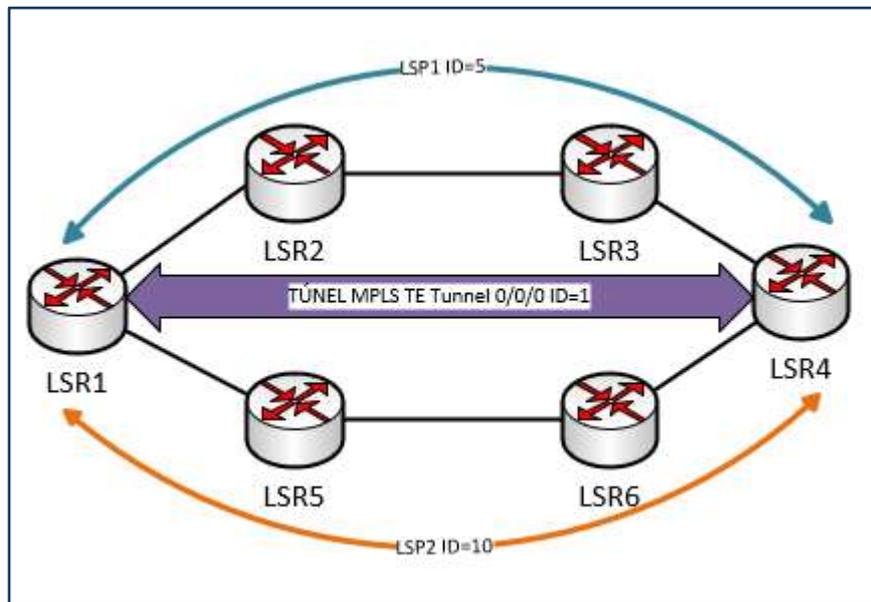


Figura 2. 20 Propiedades de LSP y Túnel MPLS TE
Fuente: Elaborado por la autora

Donde:

- Tunnel Interface: 0/0/0
- Tunnel ID=1
- LSP primario=5
- LSP secundario=10

2.6.4.3. Atributos de los enlaces

MPLS TE posee mecanismos para identificar el uso de ancho de banda (AB), costo de las rutas y confiabilidad de los enlaces, esto se logra con los siguientes atributos:

- **Total Link Bandwidth:** Ancho de banda del enlace
- **Maximun Reservable Banwidth:** Es el ancho de banda máximo que un enlace puede reservar para un túnel MPLS TE
- **TE Metric:** Costo de un enlace TE. Sirve para controlar el cálculo de las rutas basadas en MPLS TE. Por defecto se utiliza la métrica del IGP (OSPF o IS-IS)

- **SRLG (Share Risk Link Group):** Conjunto de enlaces que comparten los recursos físicos
- **Link Administratively Group:** Sirve para identificar los atributos de un enlace

2.6.5. Confiabilidad de MPLS TE

Generalmente el uso de TE en la red se remonta a grandes redes con una gran cantidad de tráfico, es decir que para redes pequeñas que no pertenezcan a proveedores de servicios o redes que presenten un tráfico homogéneo no se tendrá la necesidad de administrar la red en gran escala aplicando técnicas de TE.

2.6.6. CSPF

Si un CR-LSP (Constraint-Based Routing Label Swithed Path) necesita satisfacer una demanda de tráfico de 80 Mbps, entonces CSPF (Constraint Shortest Path First) se encargará de construir la ruta desde un I-LSR hasta un E-LSR utilizando aquellos tramos cuyo ancho de banda sea mayor o igual a lo requerido siempre y cuando se encuentren disponibles. Además, tengan el menor costo posible.

Aunque los LSRs realicen un algoritmo complejo para determinar el mejor camino para un CR-LSP, desde el punto de vista práctico del administrador de la red, simplemente se eliminarán aquellos tramos que no cumplan con las condiciones mínimas de ancho de banda, eligiendo únicamente aquellos tramos que tengan menor costo desde el origen (I-LSR) hasta el destino (E-LSR).

Es importante señalar que CSPF puede utilizar incluso otros parámetros más avanzados para determinar el mejor camino para un CR-LSP desde un I-LSR hasta un E-LSR.

Este algoritmo siempre se utilizará en MPLS TE y no tiene ningún tipo de aplicación fuera de la red del proveedor de servicios.

2.6.7. RSVP

RSVP (*Resource Reservation Protocol*) es un protocolo de señalización diseñado para garantizar la reserva de recursos de red necesarios para el tráfico de servicios de voz, datos y video que viajan a través de una red de Telecomunicaciones. Inicialmente fue desarrollado para ser utilizado para servicios integrados de Internet.

En una red que utiliza RSVP como protocolo de señalización y gestión de recursos, cada *router* mantiene comunicación con sus vecinos directamente conectados.

En una red basada en IP/MPLS, para crear un CR-LSP con un ancho de banda mínimo requerido para ir desde un *Ingress LSR* hasta un *Egress LSR*, se establecen una serie de pasos necesarios para asegurar la reserva de recursos de ancho de banda necesarios a lo largo del CR-LSP.

Esta solicitud es iniciada por el *Ingress LSR* quien va envía un mensaje de tipo *Path* a su LSR vecino. Al llegar el mensaje, este LSR vecino verifica si tiene los recursos necesarios y los prepara para ser posiblemente asignados a lo largo del CR-LSP. Luego este LSR de tránsito actualiza el mensaje de tipo *Path* y lo envía al siguiente salto. El proceso se repite hasta que el mensaje llega al *Egress LSR* quien también verifica que se tienen los recursos necesarios a lo largo del camino, de ser correcto se envía un mensaje de tipo *Reservation* en dirección contraria, es decir, sentido hacia el *Ingress LSR*.

En caso de no contar con los recursos necesarios disponibles, los LSRs enviarán notificaciones de error según sea el caso. En este punto el *Ingress LSR* buscará otra ruta posible mediante otros vecinos con las condiciones mínimas necesarias para reenviar el tráfico del CR-LSP hacia el *Egress LSR* en cuestión.

CAPÍTULO 3

DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

3.1. Evaluación de características de la red

Se utiliza un Core IP/MPLS debido a que: IP representa el protocolo mayor utilizado a nivel mundial, especialmente para Internet y MPLS permite la conmutación de tramas mediante etiquetas, esto genera una menor latencia en el transporte de paquetes, a la vez que permite administrar recursos por medio de ingeniería de tráfico.

Adicional se utilizará el protocolo OSPF como protocolo de enrutamiento debido a su compatibilidad con la ingeniería de tráfico y sus características positivas para evitar la congestión.

Los protocolos relacionados a TE serán configurados en la plataforma y es importante relacionar la teoría estudiada con lo que se procederá a configurar para la simulación.

3.2. Diseño de la topología de la red

Para ejemplificar el uso de los túneles en TE aplicado a un Core IP/MPLS se elaborará una simulación en el que un cliente corporativo desee una UM (Última de milla) de servicio de datos desde la matriz hasta una sucursal. La matriz se encuentra en Alborada y la sucursal en Urdesa, ambas en la Ciudad de Guayaquil. La topología que se utiliza es Hub and Spoke, debido a que si se requieren conectar más sucursales no habría inconvenientes en agregarlas. Se muestra en la Figura 3.1

Se utilizarán 6 *routers* y 2 PCs en donde:

- H-LSR1=LSR_ALBORADA
- LSR INTERMEDIO=LS2 y LSR3
- E-LSR4=LSR_URDESA
- PCs=MATRIZ y SUCURSAL

- R1=MATRIZ CLIENTE
- R2=SUCURSAL CLIENTE

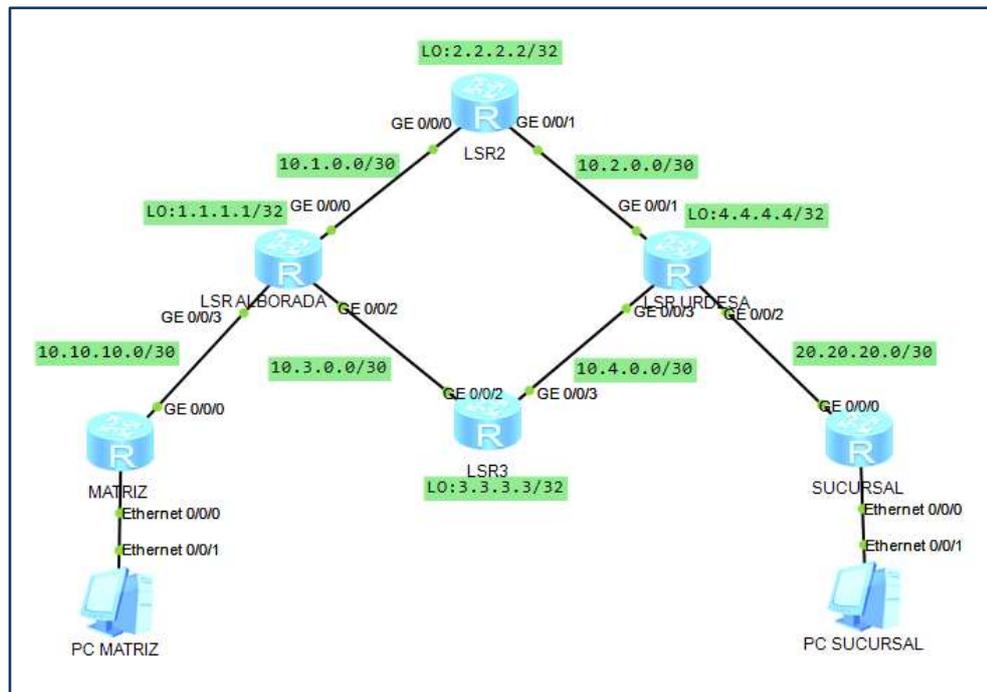


Figura 3. 1 Topología de la red
Fuente: Elaborado por la autora

3.3. Simulación de túneles basados en TE sobre Core IP/MPLS

Para la simulación de túneles se plantean los siguientes objetivos a alcanzar durante las pruebas:

- Comprender el uso de la Ingeniería de tráfico en redes MPLS
- Aprender a configurar túneles a través de un Core IP/MPLS
- Estructurar mediante el emulador una red que permita reservar ancho de banda

3.3.1. Emulador eNSP

eNSP es una plataforma gráfica de simulación de red. Mediante la simulación de equipos de red reales, esta plataforma ayuda a los profesionales y clientes de las TIC a familiarizarse rápidamente con los productos *Huawei Datacom* y comprender/dominar el funcionamiento y la configuración de los productos relacionados, a la vez que se mejora la red de empresas de telecomunicaciones.

Para la instalación se necesita:

- Instalar *Wireshark* 3.0.6
- Instalar *Virtual Box* 5.2.26
- Instalar *WinPCap* 4.1.3
- Descargar eNSP V1.3.00.100 desde link de página Huawei oficial

Las versiones pueden variar de acuerdo a las nuevas versiones de eNSP.

3.3.2. Procedimiento

PASO 1: Creación de la topología

Lo primero que se debe hacer es crear la red en eNSP, para esto se da *click* en New Topo, se encuentra en la parte superior izquierda de la pantalla tal como se muestra a continuación:



Figura 3. 2 Selección de nueva hoja
Fuente: Elaborado por la autora

Se abrirá una hoja nueva donde se podrá realizar la topología que se necesita. Se da *click* en *router* o se arrastra el elemento que se desea agregar hasta la hoja hasta obtener la topología de la red.

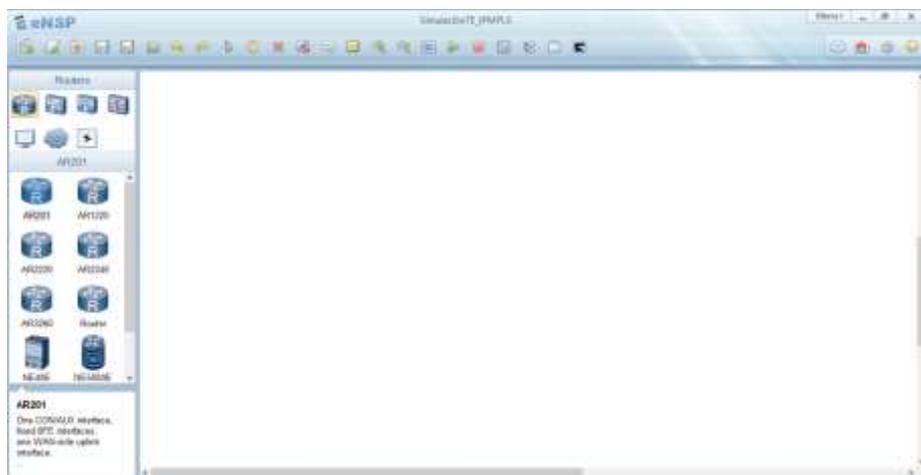


Figura 3. 3 Hoja nueva en eNSP
Fuente: Elaborado por la autora

A su vez se conectará cada elemento con las interfaces respectivas. Se visualizan distintas interfaces, y elementos de red que pertenecen a la marca Huawei.

Se crean las conexiones con la opción *Copper* o *Auto* y los *routers* serán conectado por la interfaz *GE (Gigabit Ethernet)*, mientras que las *PCs* por la interfaz *Ethernet*. Adicional, para activar los elementos se da *click* derecho y *Start*, esperamos a que cargue al 100% y el elemento se torna color celeste.

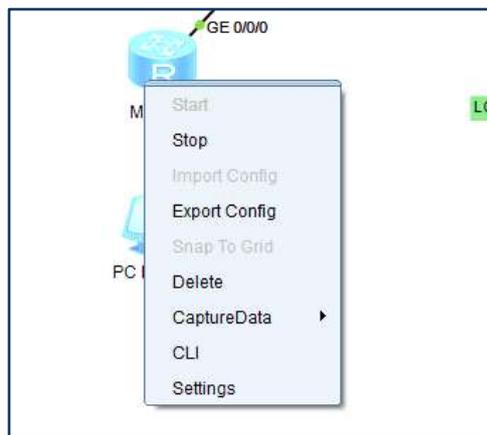


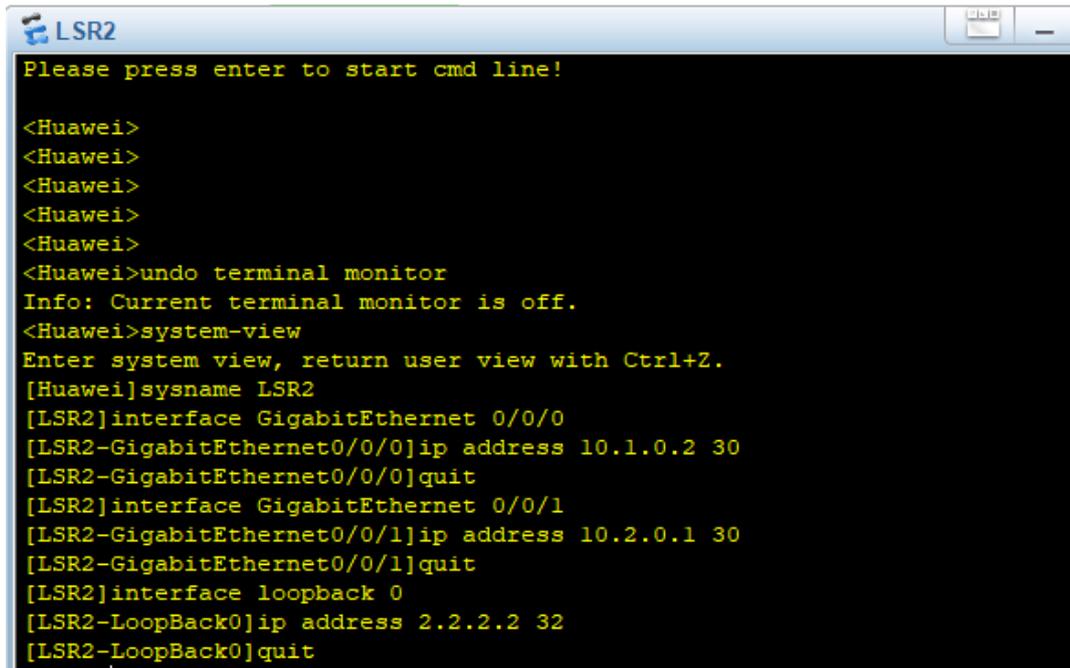
Figura 3. 4 Ventana para inicializar el *router*
Fuente: Elaborado por la autora

PASO 2: Configuración de interfaces en Core IP/MPLS

Las configuraciones se realizarán en el CLI (*Command-Line Interface*). Se realizan en todos los *routers*.

```
LSR ALBORADA
<Huawei>
<Huawei>
<Huawei>undo terminal monitor
Info: Current terminal monitor is off.
<Huawei>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[Huawei]sysname LSR_ALBORADA
[LSR_ALBORADA]sysname LSR_ALBORADA
[LSR_ALBORADA]interface GigabitEthernet 0/0/0
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0] ip address 10.1.0.1 30
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]quit
[LSR_ALBORADA]interface GigabitEthernet 0/0/2
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/2]ip address 10.3.0.1 30
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/2]quit
[LSR_ALBORADA]interface loopback 0
[LSR_ALBORADA-LoopBack0]ip address 1.1.1.1 32
[LSR_ALBORADA-LoopBack0]quit
[LSR_ALBORADA]
```

Figura 3. 5 Configuración de interfaces en LSR_ALBORADA
Fuente: Elaborado por la autora

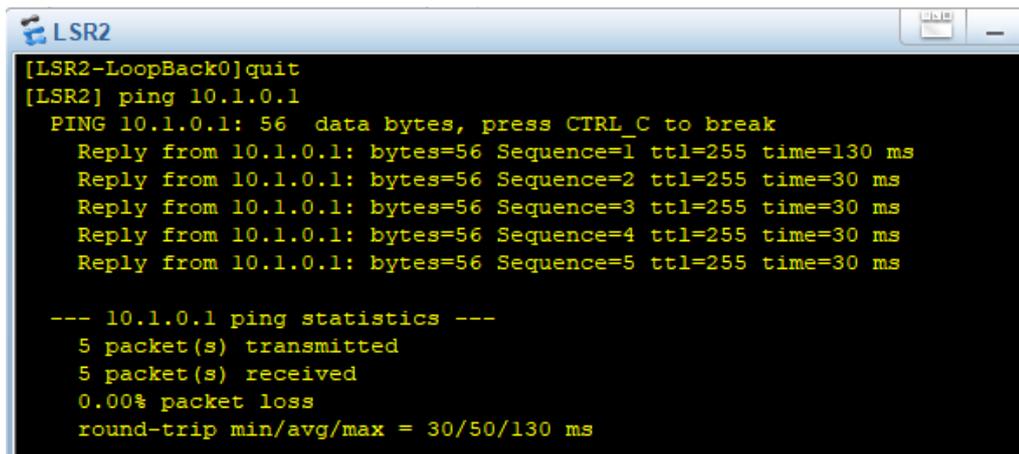


```
LSR2
Please press enter to start cmd line!

<Huawei>
<Huawei>
<Huawei>
<Huawei>
<Huawei>
<Huawei>undo terminal monitor
Info: Current terminal monitor is off.
<Huawei>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[Huawei]sysname LSR2
[LSR2]interface GigabitEthernet 0/0/0
[LSR2-GigabitEthernet0/0/0]ip address 10.1.0.2 30
[LSR2-GigabitEthernet0/0/0]quit
[LSR2]interface GigabitEthernet 0/0/1
[LSR2-GigabitEthernet0/0/1]ip address 10.2.0.1 30
[LSR2-GigabitEthernet0/0/1]quit
[LSR2]interface loopback 0
[LSR2-LoopBack0]ip address 2.2.2.2 32
[LSR2-LoopBack0]quit
```

Figura 3. 6 Configuración de interfaces en LSR2
Fuente: Elaborado por la autora

Se realiza una prueba de ping hacia el Vecino LSR_ALBORADA para constatar que la configuración está correcta:



```
LSR2
[LSR2-LoopBack0]quit
[LSR2] ping 10.1.0.1
  PING 10.1.0.1: 56 data bytes, press CTRL_C to break
    Reply from 10.1.0.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=130 ms
    Reply from 10.1.0.1: bytes=56 Sequence=2 ttl=255 time=30 ms
    Reply from 10.1.0.1: bytes=56 Sequence=3 ttl=255 time=30 ms
    Reply from 10.1.0.1: bytes=56 Sequence=4 ttl=255 time=30 ms
    Reply from 10.1.0.1: bytes=56 Sequence=5 ttl=255 time=30 ms

  --- 10.1.0.1 ping statistics ---
    5 packet(s) transmitted
    5 packet(s) received
    0.00% packet loss
    round-trip min/avg/max = 30/50/130 ms
```

Figura 3. 7 Prueba de ping de LSR_ALBORADA hacia LSR2
Fuente: Elaborado por la autora

A continuación, se realiza la misma configuración en el LSR3, tal como se muestra en la Figura 3.8

```
LSR3
<LSR3>
<LSR3>undo terminal monitor
Info: Current terminal monitor is off.
<LSR3>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR3]sysname LSR3
[LSR3]interface GigabitEthernet 0/0/2
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]ip address 10.3.0.2 30
Error: The specified address conflicts with another address.
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]quit
[LSR3]interface GigabitEthernet 0/0/3
[LSR3-GigabitEthernet0/0/3]ip address 10.4.0.1 30
[LSR3-GigabitEthernet0/0/3]quit
[LSR3]interface loopback 0
[LSR3-LoopBack0]ip address 3.3.3.3 32
```

Figura 3. 8 Configuración de interfaces en LSR3
Fuente: Elaborado por la autora

Se realiza una prueba de ping hacia el vecino LSR_ALBORADA

```
LSR3
[LSR3]ping 10.3.0.1
PING 10.3.0.1: 56 data bytes, press CTRL_C to break
  Reply from 10.3.0.1: bytes=56 Sequence=1 ttl=255 time=80 ms
  Reply from 10.3.0.1: bytes=56 Sequence=2 ttl=255 time=30 ms
  Reply from 10.3.0.1: bytes=56 Sequence=3 ttl=255 time=100 ms
  Reply from 10.3.0.1: bytes=56 Sequence=4 ttl=255 time=40 ms
  Reply from 10.3.0.1: bytes=56 Sequence=5 ttl=255 time=30 ms

--- 10.3.0.1 ping statistics ---
 5 packet(s) transmitted
 5 packet(s) received
 0.00% packet loss
 round-trip min/avg/max = 30/56/100 ms
```

Figura 3. 9 Ping de prueba desde LSR3 hacia LSR_ALBORADA
Fuente: Elaborado por la autora

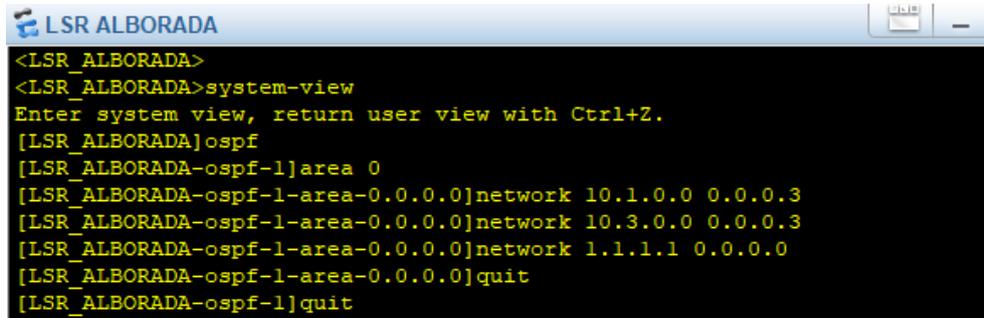
```
LSR URDESA
The device is running!

<Huawei>
<Huawei>
<Huawei>undo terminal monitor
Info: Current terminal monitor is off.
<Huawei>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[Huawei]sysname LSR URDESA
[LSR_URDESA]interface GigabitEthernet 0/0/1
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/1]ip address 10.2.0.2 30
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/1]quit
[LSR_URDESA]interface GigabitEthernet 0/0/3
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/3]ip address 10.4.0.2 30
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/3]quit
[LSR_URDESA]interface loopback 0
[LSR_URDESA-LoopBack0]ip address 4.4.4.4 32
```

Figura 3. 10 Configuración de interfaces en LSR_URDESA
Fuente: Elaborado por la autora

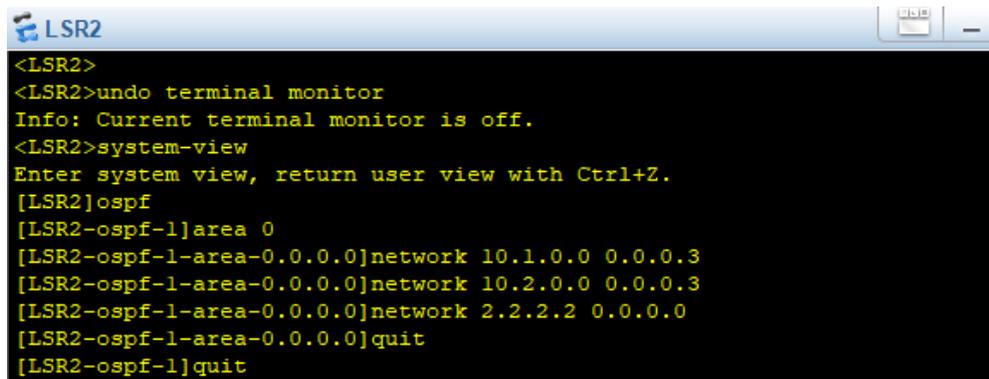
PASO 3: Configuración de protocolos de enrutamiento

Se configurará OSPF en cada uno de los LSR del Core IP/MPLS, no en el cliente. Se debe considerar que la red va acompañada de la *wildcard* y no de la máscara de red.



```
LSR ALBORADA
<LSR_ALBORADA>
<LSR_ALBORADA>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR_ALBORADA]ospf
[LSR_ALBORADA-ospf-1]area 0
[LSR_ALBORADA-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.1.0.0 0.0.0.3
[LSR_ALBORADA-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.3.0.0 0.0.0.3
[LSR_ALBORADA-ospf-1-area-0.0.0.0]network 1.1.1.1 0.0.0.0
[LSR_ALBORADA-ospf-1-area-0.0.0.0]quit
[LSR_ALBORADA-ospf-1]quit
```

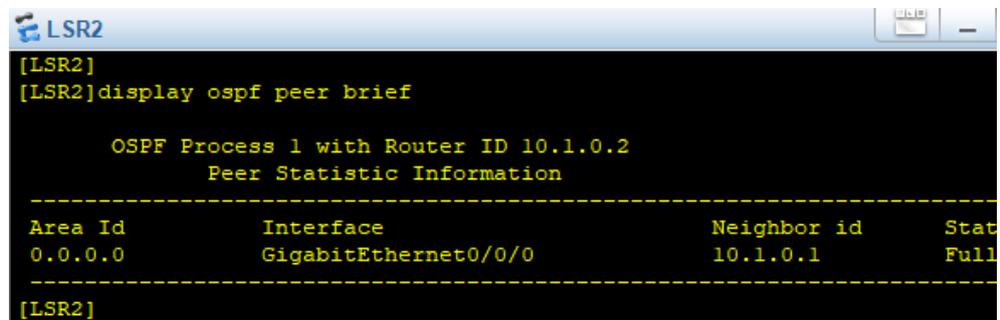
Figura 3. 11 Configuración de OSPF en LSR_ALBORADA
Fuente: Elaborado por la autora



```
LSR2
<LSR2>
<LSR2>undo terminal monitor
Info: Current terminal monitor is off.
<LSR2>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR2]ospf
[LSR2-ospf-1]area 0
[LSR2-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.1.0.0 0.0.0.3
[LSR2-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.2.0.0 0.0.0.3
[LSR2-ospf-1-area-0.0.0.0]network 2.2.2.2 0.0.0.0
[LSR2-ospf-1-area-0.0.0.0]quit
[LSR2-ospf-1]quit
```

Figura 3. 12 Configuración de OSPF en LSR2
Fuente: Elaborado por la autora

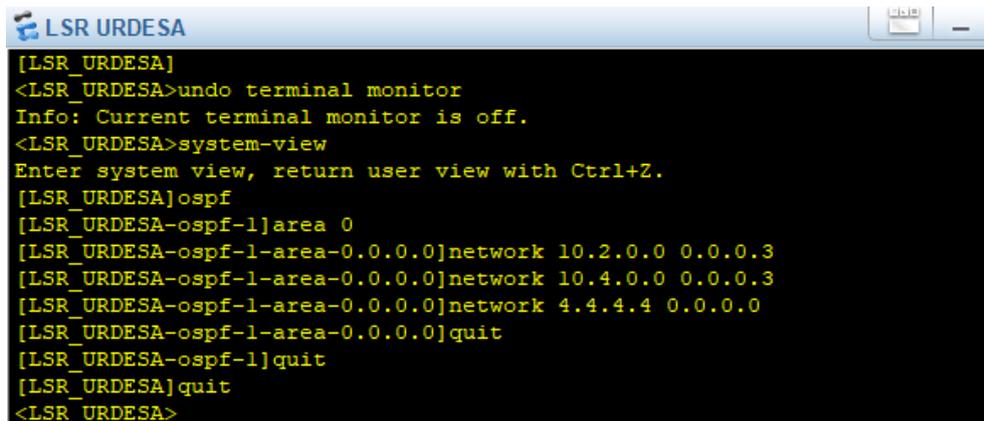
Para ver el estado de las adyacencias formadas se utiliza:



```
LSR2
[LSR2]
[LSR2]display ospf peer brief

      OSPF Process 1 with Router ID 10.1.0.2
      Peer Statistic Information
-----
Area Id      Interface          Neighbor id      Stat
0.0.0.0      GigabitEthernet0/0/0  10.1.0.1        Full
-----
[LSR2]
```

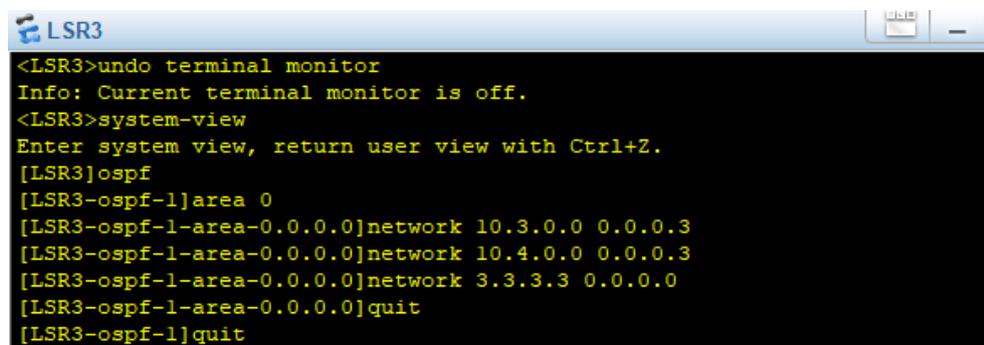
Figura 3. 13 Prueba para observar la adyacencia creada con OSPF
Fuente: Elaborado por la autora



```
[LSR_URDESA]
<LSR_URDESA>undo terminal monitor
Info: Current terminal monitor is off.
<LSR_URDESA>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR_URDESA]ospf
[LSR_URDESA-ospf-1]area 0
[LSR_URDESA-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.2.0.0 0.0.0.3
[LSR_URDESA-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.4.0.0 0.0.0.3
[LSR_URDESA-ospf-1-area-0.0.0.0]network 4.4.4.4 0.0.0.0
[LSR_URDESA-ospf-1-area-0.0.0.0]quit
[LSR_URDESA-ospf-1]quit
[LSR_URDESA]quit
<LSR_URDESA>
```

Figura 3. 14 Configuración de OSPF en LSR_URDESA

Fuente: Elaborado por la autora



```
<LSR3>undo terminal monitor
Info: Current terminal monitor is off.
<LSR3>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR3]ospf
[LSR3-ospf-1]area 0
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.3.0.0 0.0.0.3
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.4.0.0 0.0.0.3
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]network 3.3.3.3 0.0.0.0
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]quit
[LSR3-ospf-1]quit
```

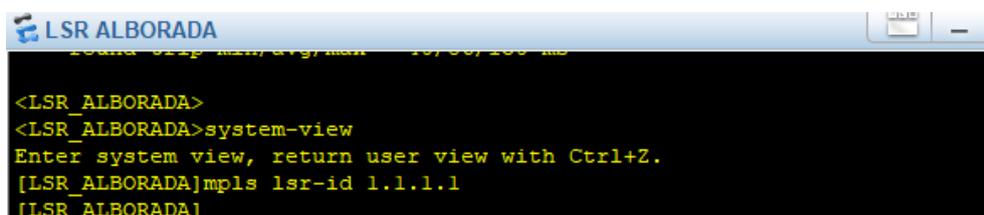
Figura 3. 15 Configuración de OSPF en LSR3

Fuente: Elaborado por la autora

PASO 4: Configuración de MPLS y Túnel MPLS dinámico

Esta configuración se realizará en cada uno de los *routers* del Core

Primero se configura el LSR-ID



```
[LSR_ALBORADA]
<LSR_ALBORADA>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR_ALBORADA]mpls lsr-id 1.1.1.1
[LSR_ALBORADA]
```

Figura 3. 16 Configuración de LSR-ID

Fuente: Elaborado por la autora

Luego se procede a activar MPLS, MPLS TE y RSVP-TE. Este procedimiento se debe realizar en cada uno de los LSR correspondientes, como se muestra en las siguientes figuras:

```
LSR ALBORADA
[LSR_ALBORADA]
[LSR_ALBORADA]mpls
Info: Mpls starting, please wait... OK!
[LSR_ALBORADA-mpls]mpls te
Info: Mpls te starting, please wait... OK!
[LSR_ALBORADA-mpls]mpls rsvp-te
[LSR_ALBORADA-mpls]quit
[LSR_ALBORADA]
[LSR_ALBORADA]
[LSR_ALBORADA]
[LSR_ALBORADA]
[LSR_ALBORADA]
[LSR_ALBORADA]
[LSR_ALBORADA]interface GigabitEthernet 0/0/0
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]mpls
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]mpls te
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]mpls rsvp-te
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]quit
[LSR_ALBORADA]interface GigabitEthernet 0/0/1
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/1]mpls
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/1]mpls te
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/1]mpls rsvp-te
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/1]
```

Figura 3. 17 Activación de MPLS, MPLS-TE y RSVP-TE en LSR_ALBORADA
Fuente: Elaborado por la autora

En el LSR2 se realiza igual, se debe recordar utilizar el comando undo terminal monitor para no recibir notificaciones sobre el estado, debido a que esto puede ocasionar confusión.

```
LSR2
[LSR2]
[LSR2]
[LSR2]
<LSR2>
<LSR2>undo terminal monitor
Info: Current terminal monitor is off.
<LSR2>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR2]mpls lsr-id 2.2.2.2
[LSR2]mpls
Info: Mpls starting, please wait... OK!
[LSR2-mpls]mpls te
Info: Mpls te starting, please wait... OK!
[LSR2-mpls]mpls rsvp-te
[LSR2-mpls]quit
[LSR2]interface GigabitEthernet 0/0/0
[LSR2-GigabitEthernet0/0/0]mpls
[LSR2-GigabitEthernet0/0/0]mpls te
[LSR2-GigabitEthernet0/0/0]mpls rsvp-te
[LSR2-GigabitEthernet0/0/0]quit
[LSR2]interface GigabitEthernet 0/0/1
[LSR2-GigabitEthernet0/0/1]mpls
[LSR2-GigabitEthernet0/0/1]mpls te
[LSR2-GigabitEthernet0/0/1]mpls rsvp-te
[LSR2-GigabitEthernet0/0/1]quit
[LSR2]
```

Figura 3. 18 Activación de MPLS, MPLS-TE y RSVP-TE en LSR2
Fuente: Elaborado por la autora

```
LSR3
<LSR3>
<LSR3>
<LSR3>undo terminal monitor
Info: Current terminal monitor is off.
<LSR3>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR3]mpls lsr-id 3.3.3.3
[LSR3]mpls
Info: Mpls starting, please wait... OK!
[LSR3-mpls]mpls te
Info: Mpls te starting, please wait... OK!
[LSR3-mpls]mpls rsvp-te
[LSR3-mpls]quit
[LSR3]interface GigabitEthernet 0/0/2
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]mpls
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]mpls te
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]mpls rsvp-te
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]quit
[LSR3]interface GigabitEthernet 0/0/3
[LSR3-GigabitEthernet0/0/3]mpls
[LSR3-GigabitEthernet0/0/3]mpls te
[LSR3-GigabitEthernet0/0/3]mpls rsvp-te
[LSR3-GigabitEthernet0/0/3]quit
```

Figura 3. 19 Activación de MPLS, MPLS-TE y RSVP-TE en LSR3
Fuente: Elaborado por la autora

```
LSR URDESA
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR_URDESA]
[LSR_URDESA]mpls lsr-id 4.4.4.4
[LSR_URDESA]mpls
Info: Mpls starting, please wait... OK!
[LSR_URDESA-mpls]mpls te
Info: Mpls te starting, please wait... OK!
[LSR_URDESA-mpls]mpls rsvp-te
[LSR_URDESA-mpls]quit
[LSR_URDESA]interface GigabitEthernet 0/0/1
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/1]mpls
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/1]mpls te
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/1]mpls rsvp-te
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/1]quit
[LSR_URDESA]interface GigabitEthernet 0/0/3
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/3]mpls
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/3]mpls te
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/3]mpls rsvp-te
[LSR_URDESA-GigabitEthernet0/0/3]quit
[LSR_URDESA]
```

Figura 3. 20 Activación de MPLS, MPLS-TE y RSVP-TE en LSR_URDESA
Fuente: Elaborado por la autora

PASO 5: Habilitación de CSPF

Siempre se configura en el *Ingress* LSR, en nuestro caso se configura en LSR_ALBORADA. Se debe recordar que los CR-LSP son unidireccionales por lo que se configura en LSR_ALBORADA y LSR_URDESA si se desea tener en ambas direcciones.

```
LSR ALBORADA
<LSR_ALBORADA>
<LSR_ALBORADA>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR_ALBORADA]mpls
[LSR_ALBORADA-mpls]mpls te cspf
[LSR_ALBORADA-mpls]
```

Figura 3. 21 Comando para habilitar CSPF en LSR_ALBORADA
Fuente: Elaborado por la autora

```
LSR URDESA
[LSR_URDESA]mpls
[LSR_URDESA-mpls]mpls te cspf
[LSR_URDESA-mpls]
[LSR_URDESA-mpls]
```

Figura 3. 22 Comando para habilitar CSPF en LSR_URDESA
Fuente: Elaborado por la autora

PASO 6: Habilitar OSPF-TE

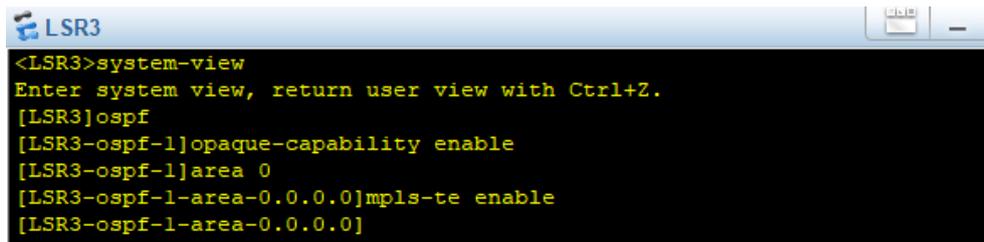
Se ejecuta OSPF-TE en cada LSR, además se permite a la red crear la DB (Database) de Ingeniería de Tráfico.

```
LSR ALBORADA
[LSR_ALBORADA-mpls]ospf
[LSR_ALBORADA-ospf-1]opaque-capability
Error:Incomplete command found at '^' position.
[LSR_ALBORADA-ospf-1]opaque-capability enable
[LSR_ALBORADA-ospf-1] area 0
[LSR_ALBORADA-ospf-1-area-0.0.0.0]mpls te enable
Error: Unrecognized command found at '^' position.
[LSR_ALBORADA-ospf-1-area-0.0.0.0]mpls-te enable
[LSR_ALBORADA-ospf-1-area-0.0.0.0]
```

Figura 3. 23 Comando para habilitar OSPF-TE en LSR_ALBORADA
Fuente: Elaborado por la autora

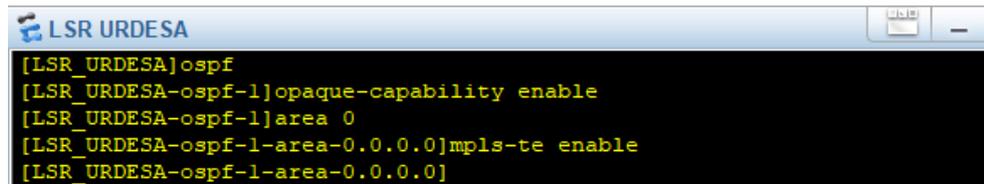
```
LSR2
<LSR2>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR2]
[LSR2]
[LSR2]
[LSR2]
[LSR2]ospf
[LSR2-ospf-1]opaque-capability enable
[LSR2-ospf-1]area 0
[LSR2-ospf-1-area-0.0.0.0]mpls-te enable
[LSR2-ospf-1-area-0.0.0.0]
```

Figura 3. 24 Comando para habilitar OSPF-TE en LSR_ALBORADA
Fuente: Elaborado por la autora



```
LSR3
<LSR3>system-view
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR3]ospf
[LSR3-ospf-1]opaque-capability enable
[LSR3-ospf-1]area 0
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]mpls-te enable
[LSR3-ospf-1-area-0.0.0.0]
```

Figura 3. 25 Comando para habilitar OSPF-TE en LSR_ALBORADA
Fuente: Elaborado por la autora



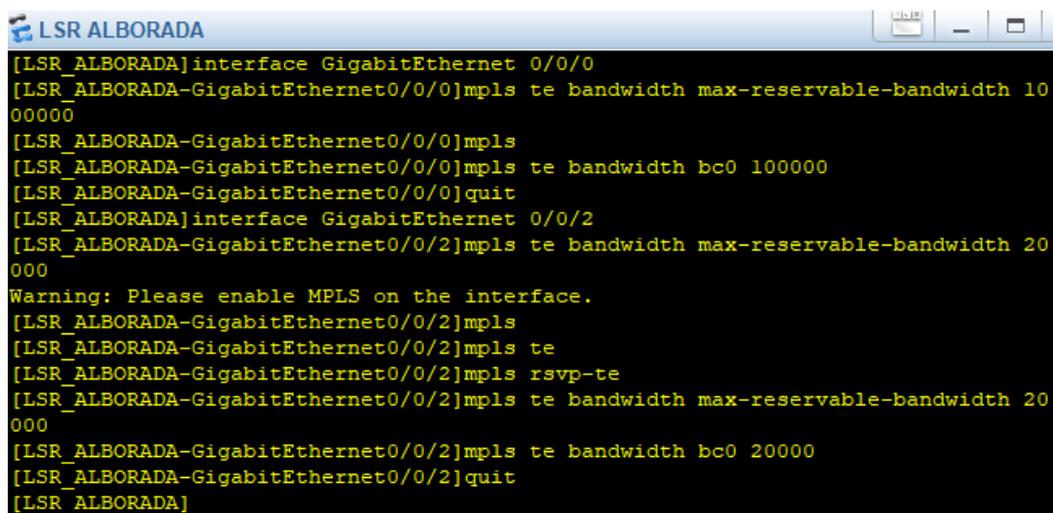
```
LSR URDESA
[LSR_URDESA]ospf
[LSR_URDESA-ospf-1]opaque-capability enable
[LSR_URDESA-ospf-1]area 0
[LSR_URDESA-ospf-1-area-0.0.0.0]mpls-te enable
[LSR_URDESA-ospf-1-area-0.0.0.0]
```

Figura 3. 26 Comando para habilitar OSPF-TE en LSR_ALBORADA
Fuente: Elaborado por la autora

PASO 7: Reserva de ancho de banda

Se restringe ancho de banda para que pueda pasar el CR-LSP (100000 kbps y 20000 kbps), es decir, primero se reserva y luego se asigna.

No se reserva en LSR_URDESA, debido a que el Túnel a realizarse en unidireccional; Se puede reservar siempre que se desee enviar desde sucursal a matriz.



```
LSR ALBORADA
[LSR_ALBORADA]interface GigabitEthernet 0/0/0
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]mpls te bandwidth max-reservable-bandwidth 100000
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]mpls
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]mpls te bandwidth bc0 100000
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]quit
[LSR_ALBORADA]interface GigabitEthernet 0/0/2
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/2]mpls te bandwidth max-reservable-bandwidth 20000
Warning: Please enable MPLS on the interface.
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/2]mpls
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/2]mpls te
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/2]mpls rsvp-te
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/2]mpls te bandwidth max-reservable-bandwidth 20000
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/2]mpls te bandwidth bc0 20000
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/2]quit
[LSR_ALBORADA]
```

Figura 3. 27 Reserva de ancho de banda en LSR_ALBORADA
Fuente: Elaborado por la autora

```
LSR2
[LSR2]interface GigabitEthernet 0/0/0
[LSR2-GigabitEthernet0/0/0]mpls te bandwidth max-reservable-bandwidth 100000
[LSR2-GigabitEthernet0/0/0]mpls te bandwidth bc0 100000
[LSR2-GigabitEthernet0/0/0]quit
[LSR2]interface GigabitEthernet 0/0/1
[LSR2-GigabitEthernet0/0/1]mpls te bandwidth max-reservable-bandwidth 100000
[LSR2-GigabitEthernet0/0/1]mpls te bandwidth bc0 100000
```

Figura 3. 28 Reserva de ancho de banda para LSR2

Fuente: Elaborado por la autora

```
LSR3
[LSR3]interface GigabitEthernet 0/0/2
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]mpls te bandwidth max-reservable-bandwidth 20000
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]mpls te bandwidth bc0 20000
[LSR3-GigabitEthernet0/0/2]quit
[LSR3]interface GigabitEthernet 0/0/3
[LSR3-GigabitEthernet0/0/3]mpls te bandwidth max-reservable-bandwidth 20000
[LSR3-GigabitEthernet0/0/3]mpls te bandwidth bc0 20000
```

Figura 3. 29 Reserva de ancho de banda en LSR3

Fuente: Elaborado por la autora

PASO 8: Creación del Túnel

Para la creación del túnel se debe tener en cuenta lo siguiente:

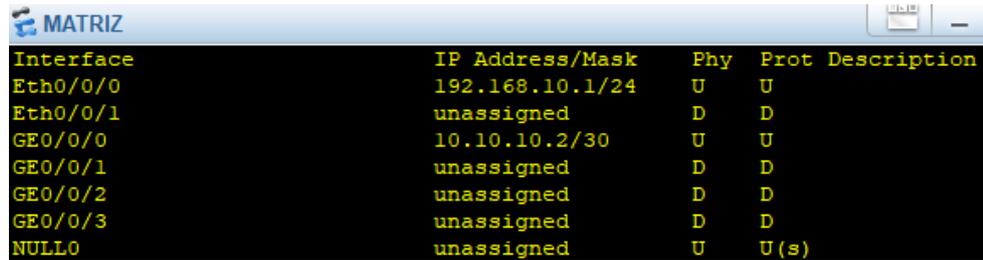
- El túnel es una entidad lógica que necesita una IP, pero no es recomendable usar una IP física así que se le asignará la misma IP que la *Loopback 0*.
- Se asigna el protocolo MPLS TE
- El túnel irá desde la LSR_ALBORADA hasta la LSR_URDESA, por lo tanto, serán asignadas como origen y destino respectivamente
- Se debe asignar un ID al túnel (número del 1-1024)
- Se asigna protocolo de señalización
- Por último, se coloca el AB restringido especificando el CT (*Class Type*)

```
LSR ALBORADA
<LSR_ALBORADA>
<LSR_ALBORADA>undo terminal monitor
Info: Current terminal monitor is off.
<LSR_ALBORADA>sys
Enter system view, return user view with Ctrl+Z.
[LSR_ALBORADA]interface tunnel 0/0/0
[LSR_ALBORADA-Tunnel0/0/0]ip address unnumbered interface loopback 0
[LSR_ALBORADA-Tunnel0/0/0]tunnel-protocol mpls te
Info: Relevant configurations on this interface are deleted.
[LSR_ALBORADA-Tunnel0/0/0]destination 4.4.4.4
[LSR_ALBORADA-Tunnel0/0/0]mpls te tunnel-id 100
[LSR_ALBORADA-Tunnel0/0/0]mpls te signal-protocol rsvp-te
[LSR_ALBORADA-Tunnel0/0/0]mpls te bandwidth CT0 60000
[LSR_ALBORADA-Tunnel0/0/0]mpls te commit
```

Figura 3. 30 Creación de tunnel-id 100

Fuente: Elaborado por la autora

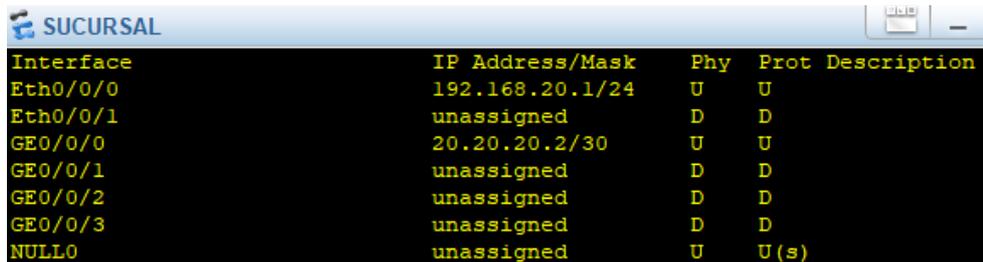
PASO 9: Configurar las interfaces de los *routers* MATRIZ y SUCURSAL



Interface	IP Address/Mask	Phy	Prot	Description
Eth0/0/0	192.168.10.1/24	U	U	
Eth0/0/1	unassigned	D	D	
GE0/0/0	10.10.10.2/30	U	U	
GE0/0/1	unassigned	D	D	
GE0/0/2	unassigned	D	D	
GE0/0/3	unassigned	D	D	
NULL0	unassigned	U	U(s)	

Figura 3. 31 Configuración de interfaces en MATRIZ

Fuente: Elaborado por la autora



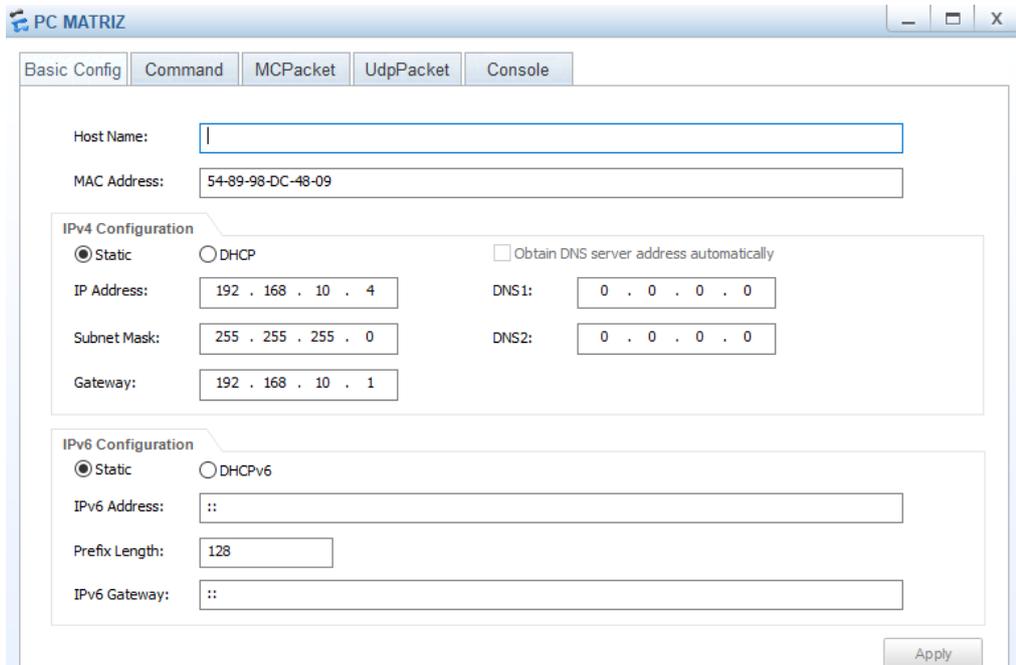
Interface	IP Address/Mask	Phy	Prot	Description
Eth0/0/0	192.168.20.1/24	U	U	
Eth0/0/1	unassigned	D	D	
GE0/0/0	20.20.20.2/30	U	U	
GE0/0/1	unassigned	D	D	
GE0/0/2	unassigned	D	D	
GE0/0/3	unassigned	D	D	
NULL0	unassigned	U	U(s)	

Figura 3. 32 Configuración de interfaces en SUCURSAL

Fuente: Elaborado por la autora

PASO 10: Configuración de las PCs

Colocar IP, Subnet mask, IP Gateway para cada PC.



PC MATRIZ

Basic Config | Command | MCPacket | UdpPacket | Console

Host Name:

MAC Address: 54-89-98-DC-48-09

IPv4 Configuration

Static DHCP Obtain DNS server address automatically

IP Address: DNS1:

Subnet Mask: DNS2:

Gateway:

IPv6 Configuration

Static DHCPv6

IPv6 Address:

Prefix Length:

IPv6 Gateway:

Apply

Figura 3. 33 Configuración de PC MATRIZ

Fuente: Elaborado por la autora

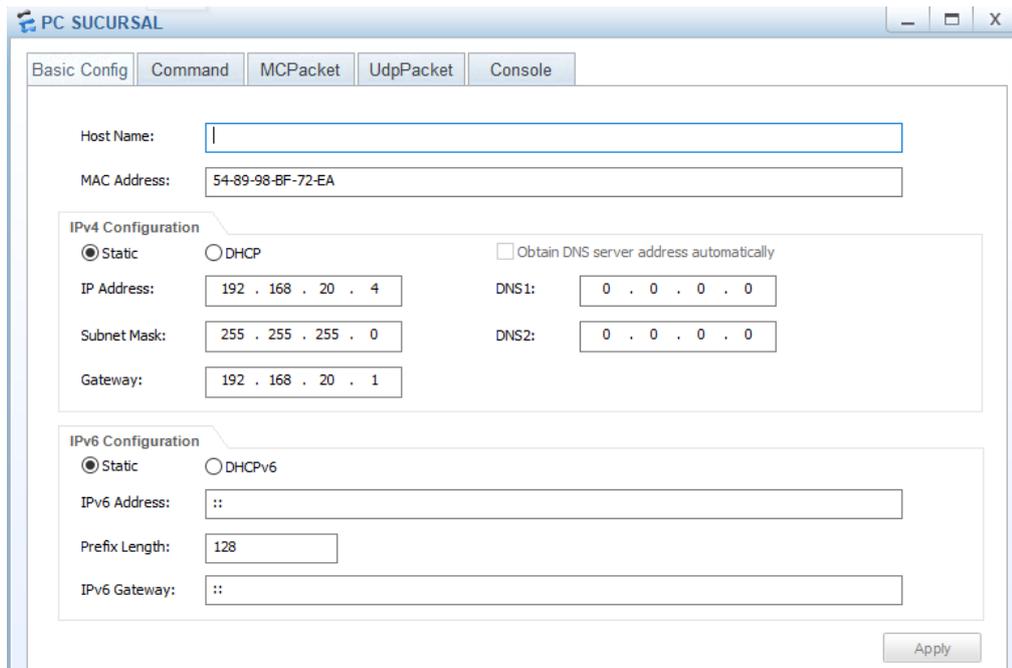


Figura 3. 34 Configuración de PC SUCURSAL
Fuente: Elaborado por la autora

3.4. Resultados obtenidos en simulación

Se hace una prueba para saber que el túnel está UP.

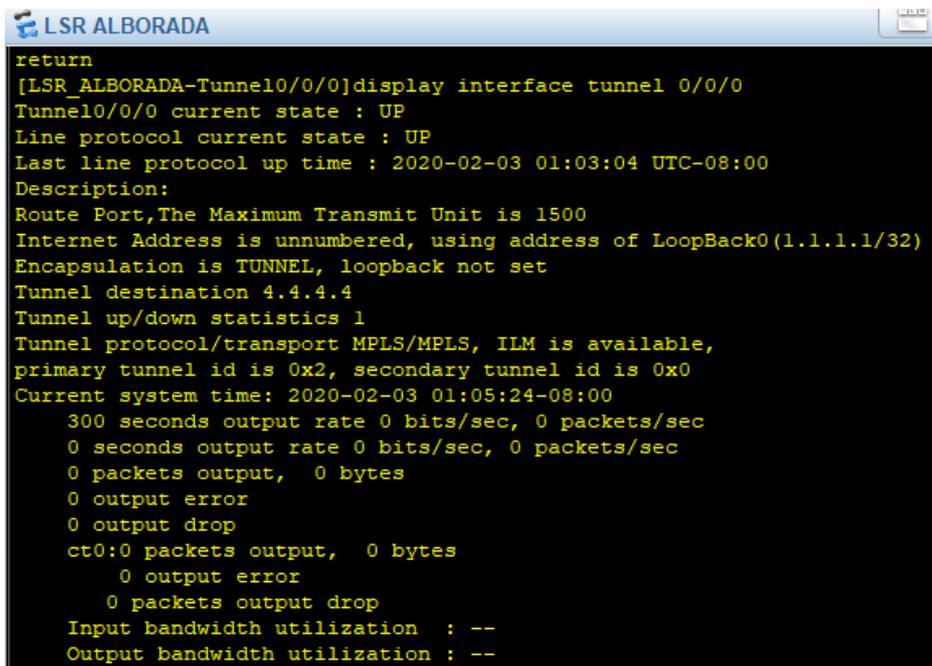


Figura 3. 35 Observación de estado de tunnel
Fuente: Elaborado por la autora

Para probar el CR-LSP en la configuración

```

LSR ALBORADA
[LSR_ALBORADA-Tunnel0/0/0]quit
[LSR_ALBORADA]ping lsp te tunnel 0/0/0
  LSP PING FEC: TE TUNNEL IPV4 SESSION QUERY Tunnel0/0/0 : 100 data bytes, press CTRL_C to break
  Reply from 4.4.4.4: bytes=100 Sequence=1 time=300 ms
  Reply from 4.4.4.4: bytes=100 Sequence=2 time=60 ms
  Reply from 4.4.4.4: bytes=100 Sequence=3 time=120 ms
  Reply from 4.4.4.4: bytes=100 Sequence=4 time=110 ms
  Reply from 4.4.4.4: bytes=100 Sequence=5 time=110 ms

--- FEC: TE TUNNEL IPV4 SESSION QUERY Tunnel0/0/0 ping statistics ---
  5 packet(s) transmitted
  5 packet(s) received
  0.00% packet loss
  round-trip min/avg/max = 60/140/300 ms
  
```

Figura 3. 36 Prueba de ping para corroborar información del path
Fuente: Elaborado por la autora

Se elabora un *tracert* para ver hacia que camino decide ir.

```

LSR ALBORADA
[LSR_ALBORADA]tracert lsp te tunnel 0/0/0
  LSP Trace Route FEC: TE TUNNEL IPV4 SESSION QUERY Tunnel0/0/0 , press CTRL_C to break.
  TTL  Replier          Time    Type    Downstream
  0
  1    10.1.0.2           110 ms Transit 10.2.0.2/[3 ]
  2    4.4.4.4            90 ms  Egress
  
```

Figura 3. 37 Prueba de tracert
Fuente: Elaborado por la autora

```

LSR ALBORADA
[LSR_ALBORADA]display ip routing-table
Route Flags: R - relay, D - download to fib
-----
Routing Tables: Public
  Destinations : 12      Routes : 13

Destination/Mask    Proto  Pre  Cost    Flags NextHop         Interface
-----
1.1.1.1/32          Direct  0    0        D  127.0.0.1         LoopBack0
2.2.2.2/32          OSPF   10    1        D  10.1.0.2          GigabitEthernet
0/0/0
3.3.3.3/32          OSPF   10    1        D  10.3.0.2          GigabitEthernet
0/0/2
4.4.4.4/32          OSPF   10    2        D  10.3.0.2          GigabitEthernet
0/0/2
                    OSPF   10    2        D  10.1.0.2          GigabitEthernet
0/0/0
10.1.0.0/30         Direct  0    0        D  10.1.0.1          GigabitEthernet
0/0/0
10.1.0.1/32         Direct  0    0        D  127.0.0.1         GigabitEthernet
0/0/0
10.2.0.0/30         OSPF   10    2        D  10.1.0.2          GigabitEthernet
0/0/0
10.3.0.0/30         Direct  0    0        D  10.3.0.1          GigabitEthernet
0/0/2
10.3.0.1/32         Direct  0    0        D  127.0.0.1         GigabitEthernet
0/0/2
10.4.0.0/30         OSPF   10    2        D  10.3.0.2          GigabitEthernet
0/0/2
127.0.0.0/8         Direct  0    0        D  127.0.0.1         InLoopBack0
127.0.0.1/32        Direct  0    0        D  127.0.0.1         InLoopBack0
  
```

Figura 3. 38 Tabla de enrutamiento de LSR_ALBORADA
Fuente: Elaborado por la autora

Se le agrega un costo de 20, para tener en cuenta que, aunque se aumente el costo se seguirá eligiendo el LSP superior debido a su reserva de ancho de banda y a la demanda que se asignó. Esto ocurrirá a nivel de MPLS TE.

```

LSR ALBORADA
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]tracert lsp te tunnel 0/0/0
LSP Trace Route FEC: TE TUNNEL IPV4 SESSION QUERY Tunnel0/0/0 , press CTRL_C to break.
TTL  Replier          Time    Type    Downstream
0           10.1.0.2         60 ms  Ingress 10.1.0.2/[1024 ]
1           4.4.4.4          60 ms  Transit 10.2.0.2/[3 ]
2           4.4.4.4
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]

```

Figura 3. 39 Agregación de costo en el path
Fuente: Elaborado por la autora

Esto sucede porque a pesar de que tenga mayor costo en realidad es ese camino es el que tiene AB suficiente como para transmitir el paquete en el *Tunnel*/MPLS TE del CR-LSP de 60Mbs.

A nivel de enrutamiento escogerá el camino de menor costo, en este caso, el camino inferior.

```

LSR ALBORADA
[LSR_ALBORADA]interface GigabitEthernet 0/0/0
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]ospf cost 20
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]tracert 4.4.4.4

traceroute to 4.4.4.4(4.4.4.4), max hops: 30 ,packet length: 40,press CTRL_C to break

 1 10.3.0.2 80 ms 50 ms 60 ms
 2 10.4.0.2 140 ms 90 ms 100 ms
[LSR_ALBORADA-GigabitEthernet0/0/0]

```

Figura 3. 40 Prueba de enrutamiento
Fuente: Elaborado por la autora

Para ver la configuración TE

```

LSR ALBORADA
[LSR_ALBORADA]display mpls te cspf tedb all
^
Error: Unrecognized command found at '^' position.
[LSR_ALBORADA]display mpls te cspf tedb all
Maximum Nodes Supported: 128 Current Total Node Number: 4
Maximum Links Supported: 256 Current Total Link Number: 8
Maximum SRLGs supported: 5120 Current Total SRLG Number: 0
ID Router-ID IGP Process-ID Area Link-Count
1 1.1.1.1 OSPF 1 0 2
2 2.2.2.2 OSPF 1 0 2
3 3.3.3.3 OSPF 1 0 2
4 4.4.4.4 OSPF 1 0 2
[LSR_ALBORADA]

```

Figura 3. 41 Observación de las configuraciones de TE
Fuente: Elaborado por la autora

```

[LSR_ALBORADA]display mpls te tunnel verbose
No                : 1
Tunnel-Name       : Tunnel0/0/0
Tunnel Interface Name : Tunnel0/0/0
TunnelIndex       : 0          LSP Index       : 2048
Session ID        : 100        LSP ID        : 1
Lsr Role          : Ingress    Lsp Type      : Primary
Ingress LSR ID   : 1.1.1.1
Egress LSR ID    : 4.4.4.4
In-Interface     : -
Out-Interface    : GE0/0/0
Sign-Protocol     : RSVP TE    Resv Style    : SE
IncludeAnyAff    : 0x0        ExcludeAnyAff : 0x0
IncludeAllAff    : 0x0
LspConstraint     : -
ER-Hop Table Index : -          AR-Hop Table Index: -
C-Hop Table Index : 0
PrevTunnelIndexInSession: -      NextTunnelIndexInSession: -
PSB Handle        : 1024
Created Time      : 2020-02-03 01:03:04-08:00

```

Figura 3. 42 Información del túnel
Fuente: Elaborado por la autora

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Comprender los fundamentos teóricos que engloba la ingeniería de tráfico permite que se tenga una percepción más amplia de la importancia de la administración, asignación y optimización de los recursos de la red.
- Crear túneles basados en ingeniería de tráfico sobre una red MPLS permite tener una visión de la red más profunda, en donde la interacción con los datos de los usuarios nos enriquece con conocimiento sobre el transporte de información.
- Emular Ingeniería de tráfico a través de eNSP nos ha permitido observar que gestionar la red no es fácil, sin embargo, con los recursos que se disponen (aplicaciones, protocolos, estándares) facilitan la implementación de distintas configuraciones, alcanzando el propósito que se requiere.
- Los resultados obtenidos en la simulación han sido satisfactorios, debido a que nos permiten observar cómo funciona la red de los proveedores de servicio y cómo gestionar la red a través de ingeniería de tráfico en el Core IP/MPLS.

Recomendaciones

- Es importante tomar en cuenta los requerimientos adjuntados en anexos para evitar problemas con la configuración en eNSP y que el archivo final se corrompa.
- Para un correcto uso de eNSP se debe colocar el comando save en cada configuración y adicional guardar en el ícono.
- La versión recomendada para VirtualBox es la 5.2.26.
- Si se desea configurar varios túneles a través de la red, se debe configurar siempre en el I-LSR que marca el inicio del túnel
- Se debe tener conocimiento de los protocolos de ingeniería de tráfico que funcionan para reservar recursos en la red.
- Realizar una lista de comandos, así al momento de configurar el trabajo se puede agilizar.

Bibliografía

02-ProtocolosOSI.pdf. (s. f.). Recuperado 8 de diciembre de 2019, de

<http://www.tyr.unlu.edu.ar/pub/02-ProtocolosOSI.pdf>

582.pdf. (s. f.). Recuperado 8 de diciembre de 2019, de

<https://www.tlmat.unican.es/siteadmin/submaterials/582.pdf>

Adj_modela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf. (s. f.-a). Recuperado 24 de noviembre de 2019, de

http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_modela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf

Adj_modela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf. (s. f.-b). Recuperado 24 de noviembre de 2019, de

http://www.imarpe.pe/imarpe/archivos/articulos/imarpe/oceanografia/adj_modela_pa-5-145-tam-2008-investig.pdf

Allauca, C. J. T. (2004). *ESTUDIO DE LOS PRINCIPALES MEDIOS DE TRANSMISIÓN UTILIZADOS EN REDES Y COMUNICACIONES*. Instituto Superior Tecnológico Aeronáutico.

Boquera, M. C. E. (2003). *Servicios avanzados de telecomunicación*. Ediciones Díaz de Santos.

Capitulo2_rev0.pdf. (s. f.). Recuperado 8 de diciembre de 2019, de

https://www.uv.es/rosado/courses/sid/Capitulo2_rev0.pdf

COMPARACIÓN ENTRE EL MODELO OSI Y EL MODELO TCP/IP. (2017, marzo 1).

Interpolados. <https://interpolados.wordpress.com/2017/03/01/comparacion-entre-el-modelo-osi-y-el-modelo-tcpip/>

González, M. (2011, septiembre 29). *Internet Observatory, estadísticas del tráfico de Internet a tiempo real*. Xataka Móvil.

<https://www.xatakamovil.com/conectividad/internet-observatory-estadisticas-del-trafico-de-internet-a-tiempo-real>

Gr14-MPLSEnLinux.pdf. (s. f.). Recuperado 8 de diciembre de 2019, de

https://www.tlm.unavarra.es/~daniel/docencia/rba/rba06_07/trabajos/resumenes/gr14-MPLSEnLinux.pdf

Iglesias, J. L. (2004). *Evolución de los servicios y las redes de transporte de las operadoras*. 6.

Incera, J., Cartas, R., & Cairó, O. (2007). *Redes Digitales: Presente y Futuro* (Técnico LRAV 10507; p. 50). <http://allman.rhon.itam.mx/~jincera/IntroRedesDigitales.pdf>

Leguizamón, G. P., Ortega, B., Capmany, J., Cardona, K., & Fajardo, C. S. (2008). *Data networking evolution: Toward an all-IP optical communications platform*. 9.

Moreno, G. (2018). *Infografía: ¿A qué hora hay más usuarios conectados a Internet?*

Statista Infografías. <https://es.statista.com/grafico/13222/a-que-hora-hay-mas-usuarios-conectados-a-internet/>

Moya, J. M. H., & Huidobro, J. M. (2006). *Redes y servicios de telecomunicaciones*. Editorial Paraninfo.

Mpls.pdf. (s. f.). Recuperado 8 de diciembre de 2019, de

<https://www.ramonmillan.com/documentos/mps.pdf>

Osborne, E. D., & Simha, A. (2002). *Traffic engineering with MPLS*. Cisco ; Pearson Education [distributor].

Paneque, R. J. (s. f.). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. 95.

Patiño, H. D., & Pérez, P. A. L.-M. (s. f.). *Construcción de una red MPLS y validación de GNS3 para su simulación*. 76.

Stallings, W. (2004). *Comunicaciones y Redes de Computadores* (Séptima edición).

PEARSON PRENTICE HALL.

https://www.academia.edu/5011511/Comunicaciones_y_Redde_de_Computadores_7ma

[Edici%C3%B3n - William Stallings](#)

V. *REDES DE TELECOMUNICACIONES*. (s. f.). Recuperado 8 de diciembre de 2019, de

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/149/htm/sec_8.htm

Vidal, A. R. F. (2002). *Una panorámica de las telecomunicaciones*. Pearson Educación.

Zotero.exe. (s. f.).

Glosario

AB: Ancho de Banda

AS: Autonomous Systems

ATM: Asynchronous Transfer Mode

BAN: Body Area Network

BGP: Border Gateway protocol

BGP: Border Gateway Protocol

Core: Núcleo de la red

CR-LSP: Constraint-Based Routing Label Swithed Path

CRPF: Constraint Shortest Path First

DWDM: Dense Wavelength Division Multiplexing

EHF: Extremely High frequency

EIGRP: Enhanced Interior Gateway Routing Protocol

E-LSR: Egress LSR

eNSP: Network simulation Platform

ET: Equipo terminal

FEC: Forwarding Equivalence Class

Full mesh: malla completa

Full-dúplex: Dirección en ambos sentidos

GAN: Global Area Network

Half-dúplex: Los sentidos se alternan

IETF: Internet Engineering Task Force

IGP: Interior Gateway Protocol

I-LSR: Ingress LSR

IP: Internet Protocol

IS-IS: Intermediate system to intermediate system

ISO: International Standards Organization

LAN: Local Area Network

Layer: capa

LDP: Label Distribution Protocol

LOS: line of sight, línea de vista

LSP: Label-Switched Paths

LSR: Label Switch router

MAN: Metropolitan Area Network

MPLS: Multiprotocol layer switching
NE: Network engineering
OSI: Open System Interconnection
OSPF: Open shortest path first
PAN: Personal Area Network
PVC: Circuitos Virtuales Permanentes
QoS: calidad de ser
RIP: Routing information Protocol
RSVP: Resource Preservation Protocol
RSVP: Resource Reservation Protocol
SDH/SONET: Synchronous Digital Hierarchy /Synchronous Optical Network
SP: Service Providers
Stamux: Statistic Multiplexing
TCP: Protocolo de control de la transmisión
TDP: Tag Distribution Protocol
TE: ingeniería de tráfico o traffic engineering
UBR: Unspecific Bit Rate
UDP: Protocolo de datagrama de usuario
VCC: Virtual Canal Connection
VLF: Very low frequency
VPN: virtual private networks
WAN: Wide Area Network

Anexos

eNSP

Características técnicas mínimas:

Windows 10

Procesador: Intel(R) Core (TM) i5-4210U CPU @ 1.70GHz 2.40 GHz

TIPO de sistema: Sistema operativo de 64ts, procesador x64

Recomendable:

Windows 10

Procesador: Intel(R) Core (TM) i7-7500U CPU @ 2.70GHz 290 GHz

Memoria instalada (RAM): 12,0 GB (11,9 GB utilizable)

Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits, procesador x64



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Alvarado Rocafuerte, Hailis Johely** con C.C: # 091933966-3 autora del Trabajo de Titulación: Simulación de túneles basados en ingeniería de tráfico sobre Core IP/MPLS usando el emulador eNSP, previo a la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 2 de marzo del 2020

f. _____

Nombre: Alvarado Rocafuerte, Hailis Johely

C.C: 091933966-3

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Simulación de túneles basados en ingeniería de tráfico sobre Core IP/MPLS usando el emulador eNSP.		
AUTOR(ES)	M. Sc. Ruilova Aguirre, María Luzmila		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. EDWIN F. PALACIOS MELÉNDEZ		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	2 de marzo del 2020	No. DE PÁGINAS:	66
ÁREAS TEMÁTICAS:	Networking, Telemática, Redes		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	GESTIÓN, ANCHO DE BANDA, FALLAS, TRÁFICO, TE, RECURSOS		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>Las necesidades de los proveedores de servicio crecen cada día más en cuanto al manejo y GESTIÓN de los RECURSOS de la red. El ANCHO DE BANDA, la demanda de TRÁFICO aumenta considerablemente debido a la gran cantidad de usuarios naturales y corporativos que utilizan servicios de voz y datos.</p> <p>Para satisfacer esta demanda los SP deben desarrollar estrategias efectivas de TE que permitan prevenir posibles cuellos de botella, latencias, pérdida de paquete, saturación y que ayuden a establecer recursos para posibles FALLAS en la red.</p> <p>Optimizar redes que involucren direccionamiento de tráfico sin que se degrade la calidad del servicio debe ser la prioridad número uno de los SP, por el notable incremento de conexiones de enlace que se requieren diariamente.</p> <p>Mediante una simulación en eNSP se configurará MPLS TE en un Core IP/MPLS donde se enrutará tráfico y se observará cómo evitar los problemas más comunes que presentan las redes con gran sobrecarga de información y tráfico.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593995989132	E-mail: hailis.alvarado@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			