



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis del desempeño de redes alámbricas e inalámbricas
utilizando enrutadores con tecnología MPLS**

AUTOR:

León Santacruz, Tomas Kleber

Componente práctico del examen complejo previo a la
obtención del título de **INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

17 de Marzo del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **León Santacruz, Tomas Kleber** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

REVISOR

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 17 del mes de Marzo del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **León Santacruz, Tomas Kleber**

DECLARÓ QUE:

El **componente práctico del examen complejo, “Análisis del desempeño de redes alámbricas e inalámbricas utilizando enrutadores con tecnología MPLS”** 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, a los 17 del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR

LEÓN SANTACRUZ, TOMAS KLEBER



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

AUTORIZACIÓN

Yo, **León Santacruz, Tomas Kleber**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, “Análisis del desempeño de redes alámbricas e inalámbricas utilizando enrutadores con tecnología MPLS”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR

LEÓN SANTACRUZ, TOMAS KLEBER

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento [León Tomas Final.docx](#) (D26346527)

Presentado 2017-03-12 20:16 (-05:00)

Presentado por fernandopm23@hotmail.com

Recibido edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje Revisión Componente Práctico Tomas León [Mostrar el mensaje completo](#)

0% de esta aprox. 17 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 0 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

+	Categoría	Enlace/nombre de archivo	
+		TT-EDWIN-PINARGOTE-FINAL-2016.docx	<input type="checkbox"/>
+	>	http://www.rediris.es/difusion/publicacione...	<input type="checkbox"/>
+		https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000...	<input type="checkbox"/>
+		http://www.tdx.cat/handle/10803/5977	<input type="checkbox"/>
+		http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle...	<input type="checkbox"/>

Reiniciar Exportar Compartir

0 Advertencia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA

DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Análisis del desempeño de redes alámbricas e
inalámbricas utilizando enrutadores con tecnología MPLS

AUTOR: León Santacruz, Tomas Kleber

Componente práctico del examen complejo

previo a la obtención del grado

de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

REVISOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DEDICATORIA

A Dios, siempre es bueno empezar agradeciendo al creador, en este caso, por las bendiciones recibidas a lo largo de toda la carrera universitaria, ya que pese a todas las adversidades siempre me dio fuerzas para seguir adelante.

A mi madre, Rosa Santacruz (QEPD), definitivamente fue el pilar fundamental a lo largo de toda mi vida y obviamente en mi carrera universitaria, ya que fue quien en vida me impulsó a seguirla y me enseñó a persistir y ser constante hasta lograr el objetivo y en su ausencia fue esa motivación que me inspiró a continuar hasta conseguir la meta, que hoy se ve plasmada gracias al esfuerzo y sacrificio que supo impartirme, este logro es especialmente tuyo por creer en mis capacidades.

EL AUTOR

LEÓN SANTACRUZ, TOMAS KLEBER

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento en primer lugar a Dios por permitirme culminar mis estudios

A mi madre, Rosa Santacruz (QEPD), porque fue mi apoyo y me motivó, además de que siempre creyó en mis capacidades. A mis primos Andy y Alexis Alvarado, mis tías Antonieta y Laura Santacruz por ser un gran apoyo en momentos difíciles, y a todos los integrantes de mi familia que directa o indirectamente fueron parte de este logro por motivarme para poder terminar la carrera.

A mis amigos Juan Carlos Salazar y Vanessa Ibarra por estar conmigo en momentos difíciles y apoyarme siempre que lo necesité; a los docentes de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, en especial a dos docentes, M. Sc. Fernando Palacios Meléndez y M. Sc. Manuel Romero Paz.

A mis grandes compañeros y amigos en las aulas Mario Carrera y Jennifer Vélez con quienes compartimos buenos y malos momentos y fueron una parte importante en este proceso.

EL AUTOR

LEÓN SANTACRUZ, TOMAS KLEBER



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____
LUIS SILVIO CORDOVA RIVADENEIRA
REVISOR

f. _____
MANUEL DE JESUS ROMERO PAZ
DECANO

f. _____
EDWIN FERNANDO PALACIOS MELÉNDEZ
COORDINADOR DE TITULACIÓN

Índice General

Índice de Figuras	XI
Resumen	XII
CAPÍTULO 1: Descripción del Trabajo de Titulación.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Definición del problema.....	3
1.3. Justificación del problema.....	3
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Metodología de investigación.....	4
CAPÍTULO 2: Fundamentación Teórica.....	6
2.1. Enrutamiento IP.....	6
2.2. Funcionalidad del enrutamiento IP.....	6
2.2.1. No hay mejor servicio.....	8
2.2.2. Clase de servicio (CoS).....	8
2.2.3. Escalabilidad.....	9
2.2.4. Recuperación de una ruta IP.....	9
2.3. Descripción general de MPLS.....	9
2.3.1. Encabezado o cabecera de MPLS.....	10
2.3.2. Etiquetado de MPLS.....	10
2.3.3. Funcionalidad de MPLS.....	11
2.4. Componentes del modelo de ingeniería de tráfico de MPLS.....	13
2.5. Ingeniería de tráfico en redes MPLS.....	13
2.6. Protocolos de señalización de MPLS.....	14
2.6.1. Protocolo de Distribución de Etiquetas (LDP).....	14
2.6.2. Protocolo de reservación de recursos (RSVP).....	15

2.7.	Reenvío de paquetes IP.	16
2.7.1.	Mecanismo convencional de reenvío de paquetes IP	16
2.7.2.	Reenvío de paquetes en MPLS	19
2.8.	Formato de etiqueta MPLS.....	22
CAPÍTULO 3: Simulación y resultados obtenidos.		25
3.1.	Configuración preliminar del sistema.....	25
3.2.	Configuración general del sistema.	26
3.3.	Desempeño de la red MPLS utilizando routers de diversidad.....	27
3.3.1.	Rendimiento del router de diversidad MPLS.	28
3.3.2.	Tasa de pérdidas de tramas.	31
3.3.3.	Latencia del enrutador MPLS.....	33
3.3.4.	Tráfico en ráfaga.....	35
CAPÍTULO 4: Conclusiones y Recomendaciones.		38
4.1.	Conclusiones.....	38
4.2.	Recomendaciones.....	38
Bibliografía		39

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Enrutamiento IP en una red sencilla.	7
Figura 2. 2: Encabezado MPLS de 32 bits.	10
Figura 2. 3: Etiquetado de MPLS.	10
Figura 2. 4: Etiquetado de MPLS.	11
Figura 2. 5: Mecanismo de reenvío de MPLS.	12
Figura 2. 6: Ingeniería de tráfico MPLS.	14
Figura 2. 7: Ingeniería de tráfico para el protocolo de reservación de recursos.	15
Figura 2. 8: Diagrama de MPLS (L2 aquí significa la capa de enlace).	21
Figura 2. 9: Formato de la entrada de la pila de etiquetas de compensación.	23

Capítulo 3

Figura 3. 1: Esquemático de configuración preliminar de la red.	25
Figura 3. 2: Esquemático de la configuración general de la red inalámbrica de banda ancha.	27
Figura 3. 3: Rendimiento del router MPLS en función del tamaño de trama.	29
Figura 3. 4: Rendimiento del router MPLS en función de la carga ofrecida.	30
Figura 3. 5: Tasa de pérdida de tramas del router MPLS en función de la carga ofrecida.	33
Figura 3. 6: Latencia del enrutador MPLS como una función de la longitud de cola de paquetes.	35
Figura 3. 7: Intervalos de tráfico en ráfaga como función del tamaño de trama del enrutador MPLS.	37

Resumen

Para el desarrollo del componente práctico del examen comprensivo, se escogió la tecnología MPLS, siendo esta una de las tecnologías de redes de datos más innovadoras que emergen desde el surgimiento de Internet, ya sean en protocolos Ipv4 o Ipv6. En la fundamentación teórica, se destaca a MPLS como un simple mecanismo de indexación llamado "etiqueta", que reemplazaría al tradicional reenvío de paquetes IP. La etiqueta describe cómo se debe manejar el paquete dentro de la red y, por lo tanto, asigna el paquete a una clase de equivalencia de reenvío (FEC). Se diseñaron escenarios de simulación para el análisis del desempeño de las redes LAN y WLAN mediante el uso de enrutadores con tecnología MPLS. Durante las pruebas realizadas a cada una de las simulaciones, se evidenció que cada escenario de simulación funcionara correctamente. Finalmente, se pudo evidenciar que el desempeño de los enrutadores con tecnología MPLS sobre redes LAN y WLAN son eficientes.

Palabras claves: **LAN, WLAN, FEC, ETIQUETA, MPLS, ENRUTADORES.**

CAPÍTULO 1: Descripción del Trabajo de Titulación

1.1. Introducción.

En la actualidad los medios de transmisión más utilizados son la fibra óptica e inalámbrico. A pesar de que el presente componente práctico del examen complejo no se analiza la fibra óptica, las comunicaciones inalámbricas no podrían existir sin la presencia de redes ópticas, ya sean éstas activas (Active Optical Networks, AON) o pasivas (Passive Optical Network, PON).

Las redes inalámbricas son muy utilizadas en ambientes residenciales, campus universitarios, centros comerciales, aeropuertos, entre otras. Los dispositivos electrónicos que se utilizan la comunicación Wi-Fi son los teléfonos inteligentes (smartphones), computadoras portátiles, computadoras personales en hogares y oficinas, tablets o Ipad's, entre otras.

La mayoría de empresas utilizan redes alámbricas e inalámbricas, como redes híbridas de comunicación en una red empresarial. La importancia de este tipo de redes y de las que se mencionaron, no se realizan pruebas o test de rendimiento de los enrutadores o routers con capacidad de diversidad. Se requieren para estas pruebas de equipos de medición con costos muy altos, y una herramienta apropiada para realizar las métricas de las redes en mención, se utilizan plataformas de simulación de redes de comunicaciones.

1.2. Definición del problema.

Escasa investigación de pruebas reales o mediante simulaciones de redes inalámbricas utilizando enrutadores con tecnología MPLS (Multiprotocolo de conmutación de etiquetas). MPLS es un mecanismo para la transportación de información en redes de comunicaciones alámbricas e inalámbricas, pero los costos para implementar y realizar mediciones de rendimiento resultan ser muy costosas. Por lo tanto, surge la necesidad de realizar el análisis del desempeño de redes alámbricas e inalámbricas utilizando enrutadores MPLS con capacidad de diversidad.

1.3. Justificación del problema.

Muy pocos trabajos de investigación que se encontraron en la fase inicial, fueron relacionados con el modelado de redes utilizando plataformas de simulación, tales como, MatLab, Simulink, OMNeT, entre otras. Finalmente, las redes a través de los escenarios de simulación de una red alámbrica e inalámbricas se pueden obtener las métricas para el desempeño de redes con enrutadores MPLS con capacidad de diversidad.

1.4. Objetivos

A continuación, se muestran, tanto el objetivo General y Vicepresidente.

1.4.1. Objetivo General.

Analizar el desempeño de red alámbricas e inalámbricas utilizando enrutadores MPLS con capacidad de diversidad.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Describir los fundamentos teóricos del protocolo de conmutación de etiquetas (MPLS).
- Realizar el diseño de los escenarios de simulación para redes alámbricas e inalámbricas utilizando tecnología de enrutadores MPLS.
- Evaluar las métricas obtenidas en las métricas del desempeño de las dos redes propuestas en el componente práctico.

1.5. Hipótesis.

El diseño de la red alámbrica e inalámbrica utilizando enrutadores MPLS con diversidad de capacidades, permitirá realizar las métricas del rendimiento de la red, y a su vez, servirá de ayuda didáctica de futuras investigaciones o de posibles trabajos de titulación.

1.6. Metodología de investigación.

La metodología de investigación que se utiliza es propia, pero considerando los siguientes tipos de investigación descriptiva, explicativa y exploratoria definidas por Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, (2010). La investigación descriptiva consiste en describir los aspectos fundamentales de las comunicaciones alámbricas e inalámbricas utilizando enrutadores MPLS. Mientras, que es explicativa, porque permite explicar cómo diseñar la red alámbrica e inalámbrica.

La metodología del diseño de la simulación de redes utilizando enrutadores MPLS con diversidad de capacidades, es propia. Y el enfoque de investigación es cuantitativo.

CAPÍTULO 2: Fundamentación Teórica

2.1. Enrutamiento IP.

El enrutamiento IP es capaz de identificar enlaces de red y enviar datos al destino. El ancho de banda disponible total de la red se comparte entre todos los usuarios de la red sin asignar ancho de banda para un usuario o servicio específico. Para enviar datos a través de diferentes rutas, el enrutamiento IP utiliza protocolos como el camino más corto primero (*Open Shortest Path First, OSPF*) y el protocolo de información de enrutamiento (*Routing Information Protocol, RIP*). Estos protocolos transmiten datos basados en la información contenida en las tablas de enrutamiento presentes en los routers.

2.2. Funcionalidad del enrutamiento IP.

En una red IP, un enrutador selecciona el siguiente enrutador para el destino de los paquetes basado en su tabla de enrutamiento. Cada enrutador en la ruta replica el mismo proceso utilizando su tabla de enrutamiento hasta que el paquete alcanza su destino. El enrutamiento IP se muestra en la figura 2.1, donde la subred asociada con cada enrutador cae bajo la súper red (subred principal) 10.5.0.0/16. Si el host con dirección IP 10.5.11.4 desea acceder al servidor web 10.5.12.1, enviará su paquete en la ruta hacia el enrutador conectado a través del enrutador R1 o a través de los enrutadores R1 y R2.

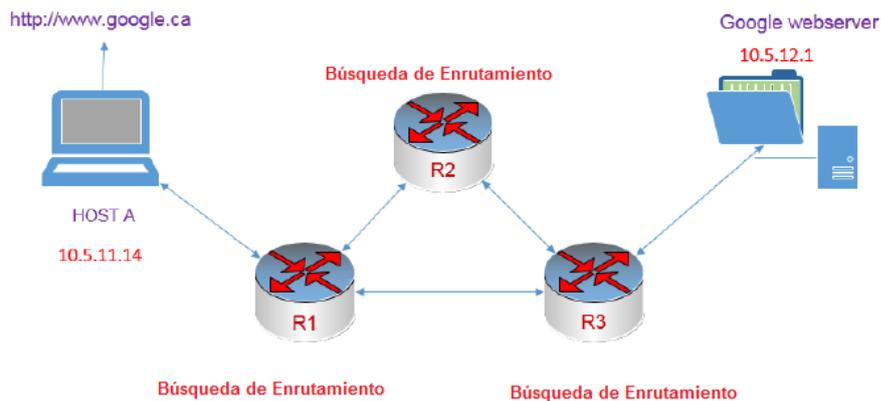


Figura 2. 1: Enrutamiento IP en una red sencilla.
Fuente: (Zapata M., 2012)

Cada enrutador comprobará la dirección de destino del paquete en su tabla de enrutamiento. La tabla de enrutamiento mantiene información sobre las direcciones de la red interconectada y la ruta que se seguirá para enviar datos hacia el destino. La decisión de enrutamiento se basa en la ruta más corta disponible para el destino (OSPF). Los protocolos utilizados para el enrutamiento IP son el protocolo de la pasarela externa (*Border Gateway Protocol, BGP*), sistema intermedio a intermedio (*Intermediate System to Intermediate System, IS-IS*), OSPF y RIP.

Por ejemplo, RIP realiza un seguimiento del enrutador más cercano para cada dirección de destino y es adecuado para redes más pequeñas. Mientras, que OSPF realiza un seguimiento completo de la base de datos topológica de todas las conexiones en la red local y es adecuado para redes más grandes. El Internet se divide en sistemas autónomos (*Autonomous Systems, AS*). Un AS es un grupo de enrutadores que están bajo el control de una sola

administración, es decir, que ellos intercambian información de enrutamiento utilizando un protocolo de enrutamiento.

2.2.1. No hay mejor servicio.

En el enrutamiento IP para redes residenciales y comerciales, no es posible lograr una mejor calidad de servicio al pagar una tarifa más alta al proveedor de servicios de Internet (Internet Service Provider, ISP). Mientras que las redes más pequeñas pueden no requerir un mejor servicio, en el caso de redes más grandes una pérdida de datos puede resultar en una interrupción de la red.

2.2.2. Clase de servicio (CoS).

La clase de servicio (CoS) se refiere a la capacidad de una red para identificar entre diferentes tipos de datos. El enrutamiento IP no distingue entre diferentes tipos de tráfico de datos y todos los datos son tratados de manera similar. El soporte de CoS se basa en la fuente o el servicio es imposible y, por lo tanto, resulta en la congestión.

El multiprotocolo de conmutación de etiquetas (*Multi-Protocol Label Switching, MPLS*) resuelve este problema utilizando clase de equivalencia directa (*Forward Equivalence Class, FEC*). El enrutamiento basado en destinos no proporciona un mecanismo para equilibrar la carga a través de caminos desiguales.

2.2.3. Escalabilidad.

En el enrutamiento IP, se combinan los procesos de búsqueda de rutas y de reenvío. El proceso de búsqueda de rutas toma más tiempo debido al tamaño creciente de la tabla de enrutamiento y es inversamente proporcional a la velocidad del enlace de red, lo que implica que no es escalable. Para lo cual, MPLS resuelve este problema separando dos planos: (a) plano de control: responsable del proceso de búsqueda de ruta, mientras que el, (b) plano de datos realiza el reenvío del tráfico de red.

2.2.4. Recuperación de una ruta IP

El tamaño creciente de Internet hace que sea vulnerable a fallos de enlace de red. Por lo tanto, existe la necesidad de idear un método para la recuperación rápida. Cuando falla un enlace entre dos enrutadores, la recuperación de la ruta IP depende principalmente de tres factores, que son: (a) cantidad de tiempo para detectar el fallo de la red, (b) pasar información de enlaces rotos a través de la red, y (c) calcular nuevas tablas de enrutamiento.

2.3. Descripción general de MPLS.

El multiprotocolo de conmutación de etiquetas, conocido como MPLS fue introducido por el grupo de trabajo de ingeniería de internet (*Internet Engineering Task Force, IETF*) para hacer que Internet sea escalable, rápido y adaptable a nuevos mecanismos de enrutamiento, y a la vez que sea manejable. MPLS utiliza la ingeniería de tráfico (*Traffic Engineering, TE*) para

compartir la carga de la red entre enlaces de ruta desiguales. En MPLS, los paquetes se encapsulan por primera vez en el router de entrada asignando etiquetas y luego se envían en rutas con etiquetas cambiadas. En el router de salida, la etiqueta se quita y el paquete se entrega al destino. Por tanto, MPLS a menudo se llama la tecnología de capa 2.5. Permite la fácil construcción de rutas explícitas para una fuente específica o un servicio.

2.3.1. Encabezado o cabecera de MPLS.

El encabezado MPLS de 32 bits consta de los siguientes campos de: etiqueta, experimental (EXP), pila (S) y tiempo de vida (TTL). En la figura 2.2 se muestran los campos presentes en la cabecera MPLS, donde, la etiqueta de 20 bits, experimental de 3 bits, la pila (Stack, S) de 1 bit y TTL de 8 bits.



Figura 2. 2: Encabezado MPLS de 32 bits.

Fuente: (Torres C. & Ortega S., 2012)

2.3.2. Etiquetado de MPLS.

La etiqueta MPLS se inserta entre los encabezados de capa 2 y capa 3. En la figura 2.3 se muestra la ubicación de la etiqueta MPLS.

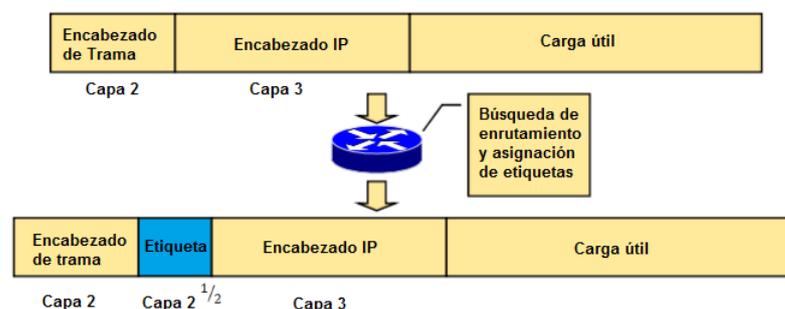


Figura 2. 3: Etiquetado de MPLS.

Fuente: (Torres C. & Ortega S., 2012)

2.3.3. Funcionalidad de MPLS.

El proceso de MPLS es realizado en dos tipos de enrutadores (véase figura 2.4) que son: **(a)** enrutador de etiquetas de borde (*Label Edge Router, LER*), y **(b)** enrutador de conmutación de etiquetas (*Label Switch Router, LSR*).

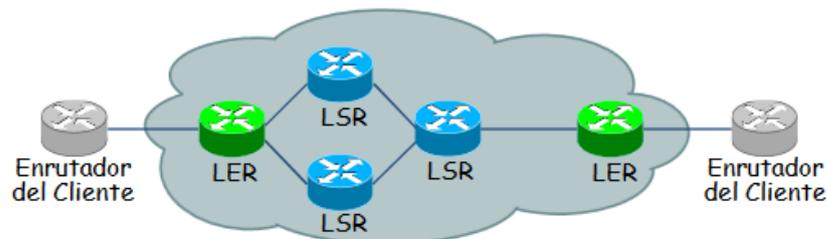


Figura 2. 4: Etiquetado de MPLS.

Fuente: (Salazar Estévez, 2014; Tartanga, 2013)

Por ejemplo, en la figura 2.5 se muestra R1 como el enrutador de etiquetas de borde (LER), que se comporta como enrutador de entrada. Es decir, que R1 funciona en el borde de la red MPLS. Sus interfaces están conectadas a otras redes. Enruta el tráfico y funciona como una interfaz entre la red MPLS y la red IP. Cuando R1 recibe un paquete de otras redes de capa 2, adjunta una etiqueta y envía el paquete actualizado a la red principal de MPLS.

Podemos observar que el paquete toma entonces la ruta denominada LSP, que lleva al router de salida LER R3. Cuando se recibe el paquete, la etiqueta se retira del paquete y el paquete se envía a la red respectiva. LER envía el paquete a la red principal MPLS, que se conoce como router de entrada, mientras que, LER envía el paquete a otra red de destino, que se

conoce como router de salida. Tanto los routers de entrada como de salida participan en el establecimiento de las rutas de conmutación de etiquetas (*Label Switching Path, LSP*) antes del intercambio de paquetes.

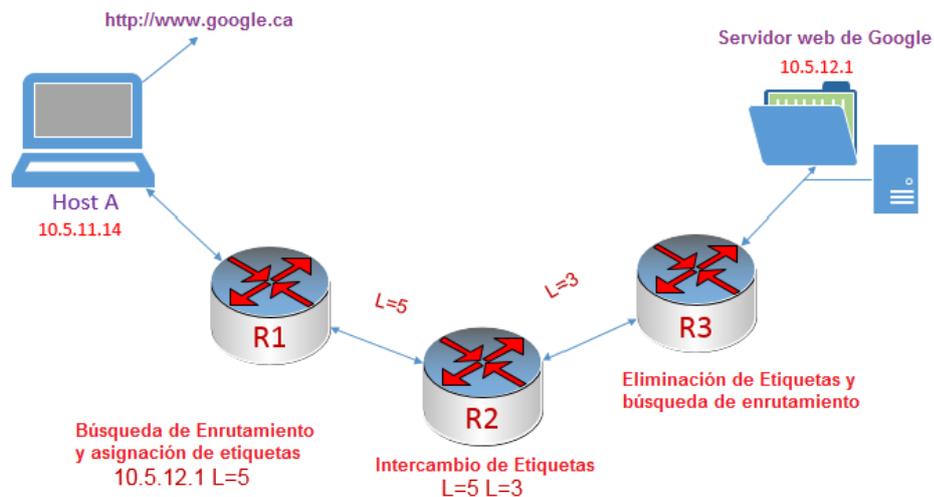


Figura 2. 5: Mecanismo de reenvío de MPLS.
Fuente: (Salazar Estévez, 2014)

LSR intercambia la etiqueta y envía el paquete, lo que contribuyen a establecer los enlaces entre dos routers (LSPs) y el reenvío de paquetes a otros enrutadores MPLS. Los LSRs reciben paquetes de otros LSRs o LERs conectados, analizan sus etiquetas y luego reenvían los paquetes según el contenido de la etiqueta. Todos los routers de la figura 2.5 están configurados para MPLS. Sólo los enrutadores LER realizan una búsqueda de enrutamiento y asignan una etiqueta. Los enrutadores LSR cambian paquetes basados en simples búsquedas de etiquetas e intercambian etiquetas.

Finalmente, R1 y R3 (ver figura 2.5) son enrutadores de borde mientras que R2 es el enrutador de núcleo. Para llegar al servidor web 10.5.12.1 desde R1, este realiza la búsqueda de rutas y asigna una etiqueta L=5 y reenvía los

paquetes mientras que el núcleo R2 realiza la búsqueda de etiquetas y cambia la etiqueta a L=3 y envía el paquete. Finalmente, en el extremo de salida, el enrutador R3 elimina la etiqueta y realiza la búsqueda de rutas y entrega datos al destino.

2.4. Componentes del modelo de ingeniería de tráfico de MPLS.

El modelo de ingeniería de tráfico MPLS se compone de los siguientes componentes básicos:

- Reenvío de paquetes
 - Cambio de etiquetas de MPLS
- Componente de distribución de información
 - Extensión del protocolo de pasarela interior (*Interior Gateway Protocol, IGP*)
- Selección de ruta
 - Calculo de ruta de conmutación de etiquetas (LSP)
- Componente de señalización
 - Protocolos de señalización de MPLS.

2.5. Ingeniería de tráfico en redes MPLS.

En la figura 2.7 se muestra la configuración de la ingeniería de tráfico en redes MPLS, en la que el tráfico puede ser reenviado en base a otros parámetros como QoS, fuente o política de servicio. Todos los routers están configurados con MPLS habilitado y el protocolo de reservación de recursos (*Resource ReserVation Protocol, RSVP*). Los túneles de ingeniería de tráfico de red MPLS son configurados entre el servicio 1 y el sitio B, y entre el servicio

2 y el sitio C. Por lo tanto, se puede lograr la carga compartida a través de caminos desiguales.

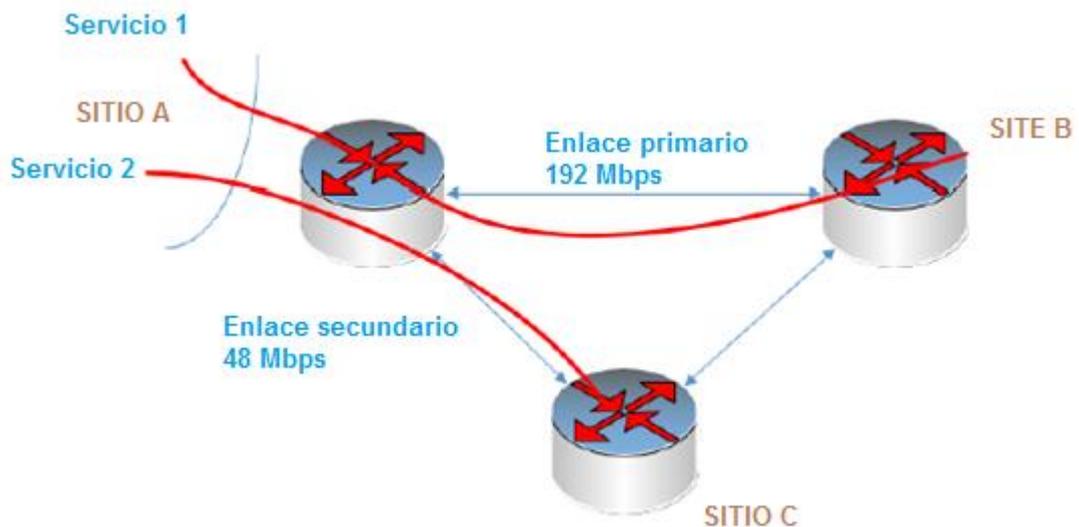


Figura 2. 6: Ingeniería de tráfico MPLS.

Fuente: (Barberá, 2007)

Elaborado por: Autor

2.6. Protocolos de señalización de MPLS.

Los dos principales protocolos de señalización de MPLS son: **(a)** protocolo de distribución de etiquetas, LDP, y **(b)** protocolo de reservación de recursos, RSVP.

2.6.1. Protocolo de Distribución de Etiquetas (LDP).

El protocolo de distribución de etiquetas (LDP) es similar a los protocolos de pasarela interior (IGPs, también similar a OSPF e IS-IS). LDP se ejecuta en la parte superior de una configuración IGP y requiere que este protocolo se configure en todas las interfaces de los routers. Después de configurar LDP en una interfaz, LDP comienza a transmitir y recibir mensajes. LDP envía

mensajes de descubrimiento de LDP a todas las interfaces habilitadas para LDP.

Cuando un enrutador adyacente recibe el mensaje de descubrimiento, establece una sesión de protocolo de control de transmisión (*Transmission Control Protocol, TCP*) con el enrutador de origen. LDP también puede configurar nuevas rutas utilizando mensajes LDP después de un fallo de enlace.

2.6.2. Protocolo de reservación de recursos (RSVP).

El protocolo de reservación de recursos ofrece funciones de ingeniería de tráfico que no están disponibles con señalización LSP. RSVP es un camino unidireccional entre el router de borde de entrada y un router de borde de salida, tal como se ilustra en la figura 2.7. RSVP ofrece la posibilidad de especificar los requisitos de ancho de banda para un LSP.

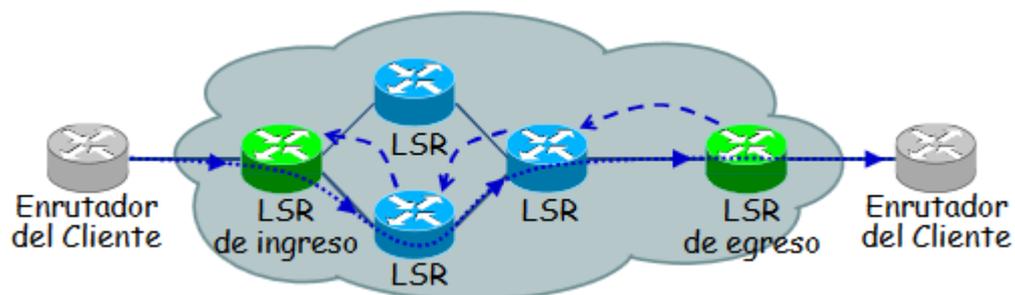


Figura 2. 7: Ingeniería de tráfico para el protocolo de reservación de recursos.
Fuente: (López E. & García Q., 2010)

Después de configurar, el router de borde de ingreso envía un mensaje de ruta de acceso al enrutador de borde de salida. El mensaje de ruta de

acceso contiene la información configurada sobre los recursos necesarios para establecer el LSP. Después de que el enrutador de borde de salida envía un mensaje de reserva, se establece la ruta RSVP. La sesión RSVP termina después de estar inactiva durante 3 minutos y se pierde el LSP.

2.7. Reenvío de paquetes IP.

Para entender por qué MPLS se despliega mientras se utiliza ampliamente la actual arquitectura de protocolo de internet (*Internet Protocol, IP*) con éxito, es esencial revisar el mecanismo convencional de reenvío de paquetes IP.

2.7.1. Mecanismo convencional de reenvío de paquetes IP

Para que los sistemas se comuniquen entre sí, deben ser capaces de identificarse de manera única, para lo cual las direcciones de red lo permiten. Una dirección TCP/IP identifica una interfaz en lugar de un sistema. Normalmente, un host tiene sólo una interfaz única y, a continuación, el sistema y la interfaz son efectivamente uno y el mismo, en otras palabras, la dirección de la interfaz es sinónimo de la dirección del host.

Sin embargo, los enrutadores suelen admitir múltiples interfaces, y cada una de estas interfaces puede tener una dirección de red independiente. Aunque estas direcciones de red separadas pertenecen al mismo enrutador, para lo cual IP distingue entre los dos cuando entrega paquetes. IP define un formato de paquete que contiene una dirección de destino IP, donde cada

dirección es única dentro de toda la red y contiene suficiente información para que la capa de red pueda entregar el paquete al destino final. Para llegar al destino final, un paquete es reenviado de un sistema de origen a un sistema de destino, en una base de salto siguiente, pasando a través de nodos intermedios en la ruta desde la fuente hasta el destino.

En lo que respecta a un nodo individual, los paquetes IP se dividen en dos categorías: aquellos para los cuales el nodo es el destino final y aquellos para los cuales cualquier otro nodo es el destino final. Un nodo determina si es el destino final comparando el campo de dirección de destino IP de un paquete con cada una de sus propias direcciones IP.

Si alguna de las direcciones coincide, entonces el nodo es el destino final del paquete. Todos los paquetes recibidos por un nodo para el cual es el destino final se consumen, es decir, se pasan al protocolo de capa superior indicado por el campo de protocolo IP dentro de la cabecera IP. Cuando un nodo recibe un paquete para el cual no es el destino final, el nodo debe determinar dónde reenviar el paquete para mover el paquete más cerca de su destino final. Esta selección de un salto siguiente para reenviar el paquete se denomina "tomar una decisión de reenvío" o "enrutar un paquete".

Cada nodo toma una decisión de reenvío para cada paquete que es transmitido por el nodo independientemente. Cada nodo IP, ya sea un host o un enrutador, tiene una tabla de enrutamiento IP que se utiliza para tomar una

decisión de reenvío. La regla de "prefijo coincidente más largo", que se indica a continuación, se utiliza para tomar la decisión:

- Si hay una ruta específica del host que coincide exactamente con la dirección de destino IP de un paquete, entonces esta ruta debe utilizarse para reenviar el paquete de preferencia a cualquier ruta de prefijo de red coincidente en la tabla.
- De lo contrario, si hay una ruta de prefijo de red que coincida con la parte de prefijo de red de la dirección de destino IP del paquete, entonces esta ruta debe utilizarse para reenviar el paquete de preferencia a cualquier ruta predeterminada y cualquier ruta de prefijo de red debe reducirse el prefijo de longitud.
- De lo contrario, si hay una o más rutas predeterminadas, una de estas rutas predeterminadas se puede utilizar para reenviar el paquete.

Este mecanismo de reenvío basado en destinos salto a salto trae las siguientes limitaciones al servicio en Internet:

- A medida que el paquete atraviesa la red, el encabezado IP del paquete se analiza en cada nodo para el "prefijo coincidente más grande" para tomar una decisión de reenvío. Esto ciertamente es caro para la CPU e ineficiente. Importa un retraso adicional en cada nodo para cada paquete reenviado.
- Esto implica que los paquetes con el mismo destino que atraviesan el mismo nodo en la red seguirán la misma ruta desde ese nodo. Esto hace que sea difícil para la arquitectura de Internet soportar otros servicios,

tales como proporcionar rutas específicas a fuentes particulares, a servicios particulares en el destino o a una particular clase de servicio (CoS).

Mientras que MPLS está motivado por la "conmutación IP" para acelerar el reenvío de paquetes IP sin cambios a los protocolos de enrutamiento IP existentes, puede ser utilizado en muchas circunstancias diferentes, incluyendo Ingeniería de Tráfico, Servicios Diferenciados (DiffServ) con Calidad de Servicio (QoS) que serán necesarias para muchas aplicaciones nuevas.

2.7.2. Reenvío de paquetes en MPLS

Las definiciones básicas de la clase de equivalencia de reenvío (*Forwarding Equivalent Class, FEC*) y de etiquetas que son importantes en MPLS:

- La clase de equivalencia de reenvío es un grupo de paquetes que son reenviados de la misma manera (por ejemplo, sobre la misma ruta, con el mismo tratamiento de reenvío).
- Etiqueta es un identificador físicamente contiguo de longitud fija corta que se utiliza para identificar una clase de equivalencia de retransmisión, generalmente de importancia local.

En MPLS, todos los paquetes se dividen en un conjunto de clases de equivalencia de reenvío basado en:

- Dirección IP de origen, dirección de destino;
- Protocolo IP;
- Puertos de origen/destino TCP/UDP;
- TTL⁵ o tipo de servicio (TOS);
- Otra información que el paquete tiene, por ejemplo, las interfaces que llegan.

Todos los paquetes que pertenecen a una clase de equivalencia de reenvío particular y que viajan desde un nodo particular seguirán la misma ruta. La clase de equivalencia de reenvío a la que se asigna el paquete entonces se codifica como una etiqueta. Cuando un paquete se envía a su próximo salto, la etiqueta se envía junto con él. Es decir, los paquetes están "etiquetados" antes de que sean reenviados.

La asignación de un paquete particular a una clase de equivalencia de reenvío particular se realiza una sola vez, a medida que el paquete entra en la red. En los saltos siguientes, no hay ningún análisis adicional de la cabecera IP del paquete. Por el contrario, la etiqueta se utiliza como un índice en una tabla que especifica el salto siguiente y una nueva etiqueta. La etiqueta antigua se reemplaza con la nueva etiqueta y el paquete se reenvía a su siguiente salto. La sustitución de la etiqueta antigua por una nueva etiqueta se denomina Intercambio de etiquetas.

Los enrutadores que envían paquetes basados en el intercambio de etiquetas se denominan enrutadores de conmutación de etiquetas (*Label Switching Routers, LSRs*). La ruta a través de uno o más routers de conmutación de etiquetas seguido por un paquete en un FEC particular se denomina rutas conmutadas por etiquetas (*Label Switched Paths, LSPs*).

La etiqueta se quita en el router de salida y el paquete se reenvía basándose en el paquete original. En la figura 2.8 se muestra un ejemplo de reenvío de paquetes con MPLS. Cuando el paquete entra en el dominio MPLS, el encabezado del paquete se analiza en el enrutador de borde LSR1. El paquete se clasifica en una clase de equivalencia de reenvío particular y se le asigna una etiqueta (por ejemplo, 41) de acuerdo con la clase de equivalencia de reenvío a la tabla de vinculación de etiquetas en el router LSR1; entonces el paquete es reenviado al siguiente salto - LSR2, junto con la etiqueta.

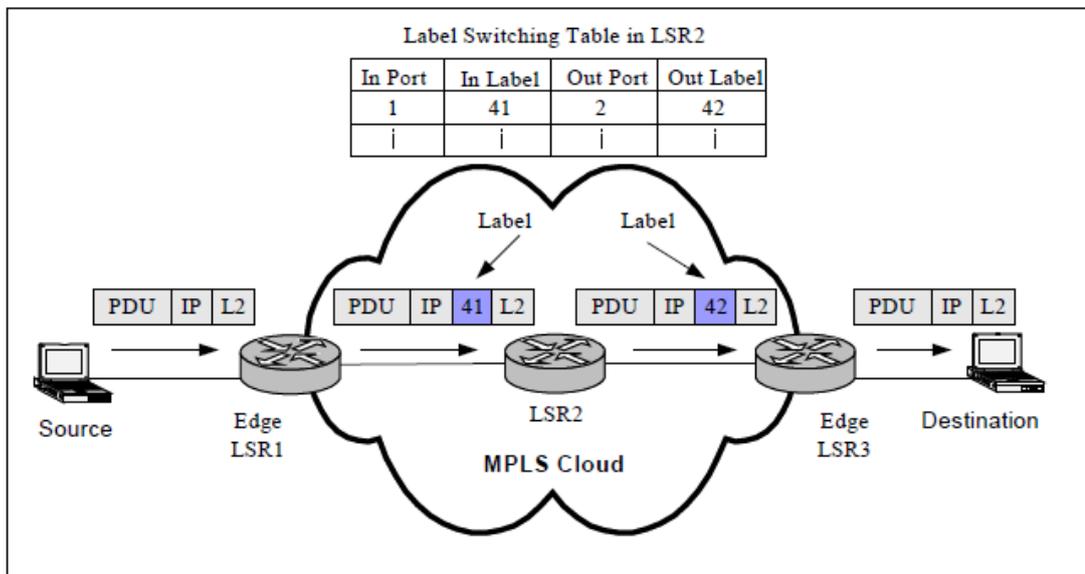


Figura 2. 8: Diagrama de MPLS (L2 aquí significa la capa de enlace).

Fuente: (Hundessa Gonfa, 2003)

Se puede observar que LSR2 examina la etiqueta de paquetes entrantes y determina una nueva etiqueta de salida (por ejemplo, 42) y el salto siguiente. El paquete se reenvía de nuevo al siguiente lector de saltos LSR3. La etiqueta se elimina en LSR3 y es reenviada al destino final del paquete por el reenvío de paquetes convencional.

2.8. Formato de etiqueta MPLS

Un formato de etiqueta específico no es obligatorio porque MPLS está destinado a trabajar sobre cualquier protocolo de capa 2. En su lugar, la codificación de la etiqueta se basa estrictamente en el acuerdo mutuo entre dos routers de conmutación de etiquetas vecino y tiene significado sólo en el enlace particular entre ellos.

Un formato es una etiqueta que se inserta entre la capa 2 y los encabezados IP como una pequeña etiqueta de compensación. Una etiqueta de compensación consta de un valor de etiqueta de 20 bits, campo experimental de 3 bits, indicador de fondo de pila de 1 bit y tiempo de vida de 8 bits (véase la figura 2.9) para evitar el bucle accidental. Los paquetes pueden tener insertado varias etiquetas que se representa como una secuencia de entradas de pila de etiquetas.

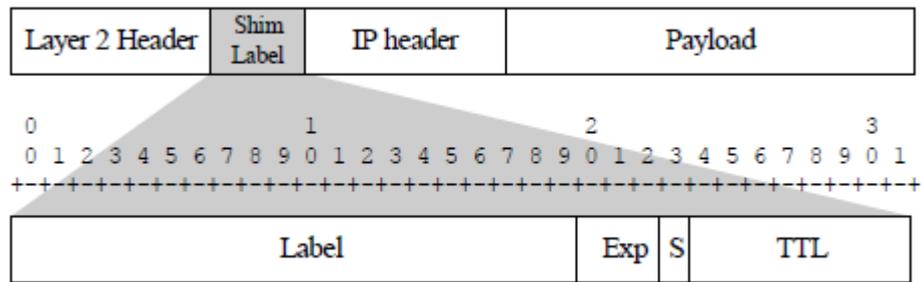


Figura 2. 9: Formato de la entrada de la pila de etiquetas de compensación.
Fuente: (Hundessa Gonfa, 2003)

Cada entrada de la pila de etiquetas se desglosa en los siguientes campos:

1. Parte inferior de la pila (S): este bit se establece en “1” para la última entrada (es decir, para la parte inferior de la pila) en la pila de etiquetas y “0” para todas las demás entradas de pila de etiquetas.
2. Tiempo de Vivir (TTL): este campo de 8 bits se utiliza para codificar un valor de tiempo de vida.
3. Uso del experimento (Exp): este campo de 3 bits está reservado para uso experimental, es decir, que se refiere como clase de servicio.
4. Valor de etiqueta (Label): este campo de 20 bits lleva el valor real de la etiqueta. Cuando se recibe un paquete etiquetado, el valor de la etiqueta en la parte superior de la pila de etiquetas es examinado por el enrutador de conmutación de etiquetas para determinar el siguiente salto y la etiqueta saliente. Hay varios valores de etiqueta reservados, que son:
 - a. Etiqueta 0: un valor de ‘0’ representa la “etiqueta IP NULL explícita”. Sólo es válido en la parte inferior de la pila de etiquetas. Un paquete

con la etiqueta de salida 0 debe ser extraído y reenviado en base a la cabecera IPv4 (mediante el reenvío convencional).

- b. Etiqueta 1: un valor de '1' se reserva para la "etiqueta de alerta de enrutador".
- c. Etiqueta 2: un valor de '2' representa la "etiqueta IPv6 NULL explícita". Su significado y procesamiento es el mismo que el de la etiqueta 0, excepto que el reenvío se basa en el encabezado IPv6.
- d. Etiqueta 3: un valor de '3' representa la "etiqueta NULL implícita". Cuando un router de conmutación de etiquetas reemplaza la etiqueta en la parte superior de la pila con una nueva etiqueta, pero la nueva etiqueta es "NULL implícita", el enrutador hará estallar la pila en lugar de hacer la sustitución.
- e. Los valores de etiquetas 4 - 15 están reservados.

CAPÍTULO 3: Simulación y resultados obtenidos.

3.1. Configuración preliminar del sistema.

Se establece el sistema preliminar para la implementación y medición de la propuesta de servicios nómadas y diversidad de rutas con MPLS en un entorno de red cableada. En la figura 3.1 se ilustra esta configuración de hardware. La red consta de un conmutador ATM, tres enrutadores MPLS con capacidad de diversidad y cinco máquinas de usuario. Las máquinas de usuario se encuentran en tres sitios locales separados que pertenecen a dominios IP diferentes. De los tres sitios de usuario, dos se configuran con máquinas de usuario como agentes de movilidad para soportar el acceso nómada en el sistema.

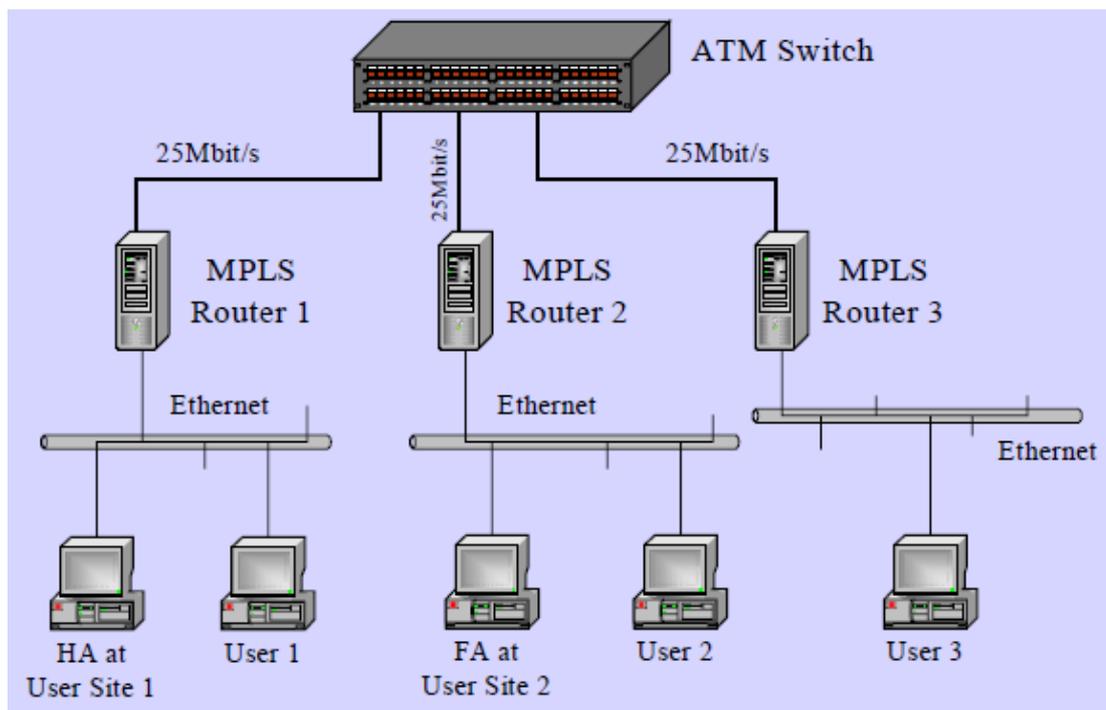


Figura 3. 1: Esquemático de configuración preliminar de la red.
Elaborado por: Autor

La red está en una topología en estrella con enrutadores físicamente conectados al conmutador ATM, pero lógicamente los enrutadores están conectados entre sí. Dentro de un sitio de usuario local, la red local está en una topología de bus con conexiones Ethernet más baratas para el enrutador y muchos usuarios. ATM y Ethernet se eligen para representar las soluciones de red actualmente disponibles.

Las mismas PCs se utilizan para las máquinas de usuario y enrutadores en la configuración de red preliminar. Todo el procesamiento incluyendo el cambio de etiqueta de diversidad de rutas, la fusión de flujo sombra e integración de soporte nómada con MPLS se realiza en el software que se ejecuta en la capa de aplicación del sistema Linux. Aparte de los NIC, no se utiliza ningún hardware específico.

3.2. Configuración general del sistema.

En la figura 3.2 se muestra un sistema de diversidad de rutas de prueba configurado para una red inalámbrica de banda ancha general. El sistema es muy similar a la configuración preliminar mostrada en la figura 3.1, excepto el enlace inalámbrico y los equipos correspondientes. El sistema consiste en un conmutador ATM, enrutadores MPLS con diversidad de capacidades, máquinas de usuario, para conexiones inalámbricas.

La red principal es una red ATM que incluye el conmutador ATM, R3, R4 y R5 en una topología en estrella física. Los sitios de usuario están situados

en el intervalo de cobertura de RF de sus estaciones base respectivas, mientras que el sitio de usuario 1 está situado en la zona solapada de la estación base 1 y la estación base 2 para el experimento de diversidad de rutas. Los enlaces de RF L1u, L1u', L1d y L1d' ilustran la capacidad del sitio de usuario 1 que será capaz de acceder a la estación base 1 y 2.

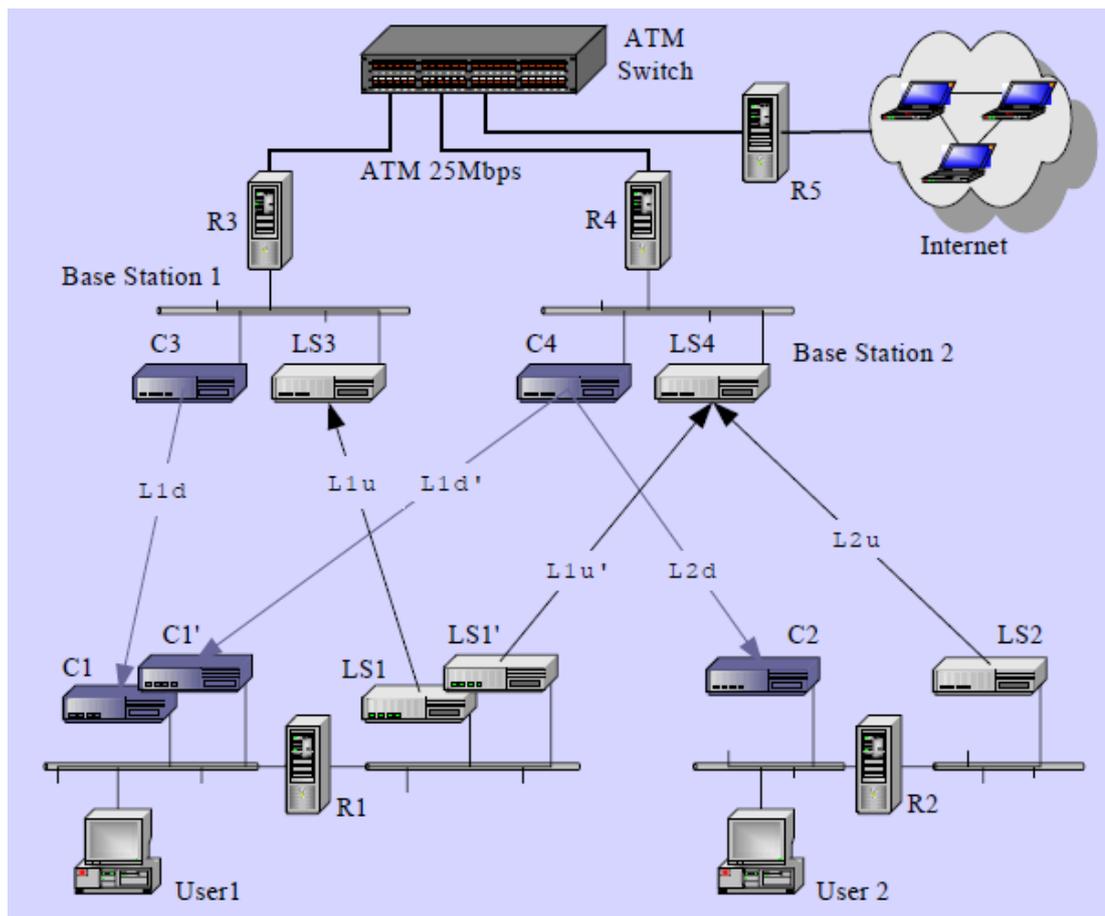


Figura 3. 2: Esquemático de la configuración general de la red inalámbrica de banda ancha.

Elaborado por: Autor

3.3. Desempeño de la red MPLS utilizando routers de diversidad.

Los experimentos descritos en esta sección tienen como objetivo comparar el router de diversidad MPLS establecido y demostrar la capacidad

de reducir la pérdida de tramas utilizando el esquema de fusión de flujo de sombra propuesto.

3.3.1. Rendimiento del router de diversidad MPLS.

El rendimiento del enrutador de diversidad MPLS es la velocidad máxima a la que ninguno de los fotogramas ofrecidos se deja caer por el enrutador.

- a) Procedimiento: enviar un número específico de tramas (fotogramas) a una velocidad específica a través del enrutador de diversidad MPLS y luego contar las tramas que son transmitidos por el enrutador. Si el recuento de las tramas transmitidas es menor que el recuento de tramas ofrecidas, entonces, se reduce la velocidad de la corriente ofrecida y se vuelve a ejecutar la prueba.
- b) Parámetros: los parámetros siguientes son constantes en la prueba de rendimiento y en otras pruebas comparativas de rendimiento:
 - El ancho de banda entre el enrutador y la red principal es de 2Mbps. Esto está de acuerdo con la configuración de la plataforma de prueba y el requisito del enlace de retorno MF-TDMA del sistema de prueba.
 - La duración de cada prueba de ejecución es 120s.
 - El tráfico ofrecido es paquetes de protocolos de datagrama de usuario (User Datagram Protocol, UDP) en velocidad de bits constante.
 - Los tamaños de trama utilizados en la prueba son 78, 128, 256, 512, 768, 1024, 1280, 1518 octetos, los mismos que recomienda la RFC 2544 en el caso de conexión Ethernet.

En la figura 3.3 se muestra el rendimiento del enrutador de diversidad MPLS en unidades de tramas/seg cuando se compara con el procedimiento de prueba y los parámetros descritos anteriormente. Muestra que el rendimiento para tamaños de trama más pequeños derivó más de la velocidad de fotogramas teórica, mientras que con el aumento del tamaño de trama el rendimiento se aproxima al rendimiento teórico (específicamente después del tamaño de trama 512).

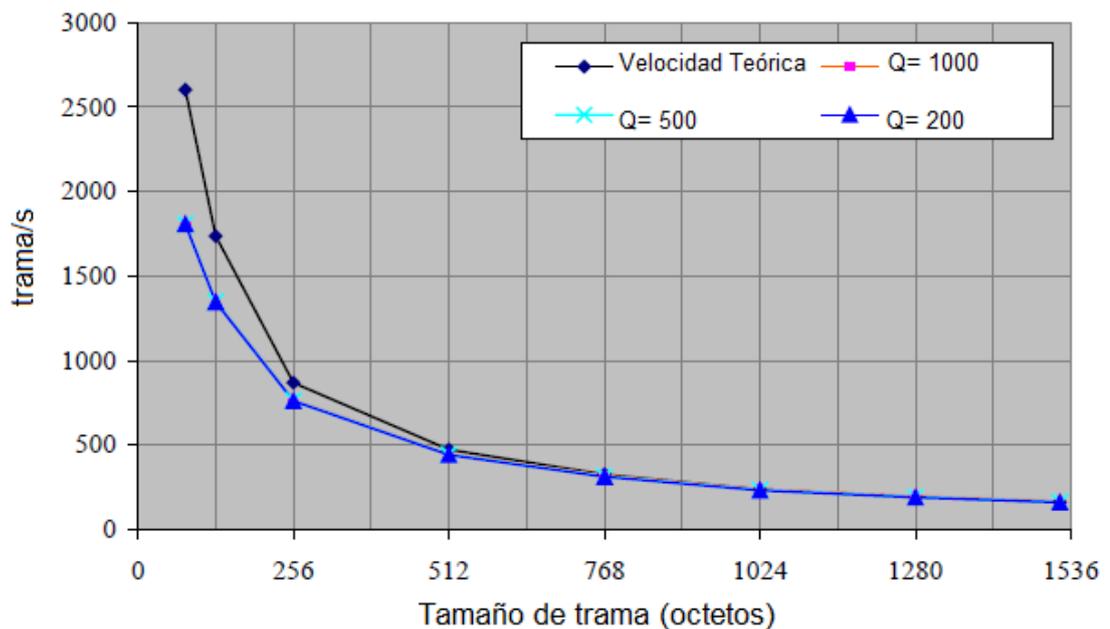


Figura 3. 3: Rendimiento del router MPLS en función del tamaño de trama.
Elaborado por: Autor

Esto se debe a que cuanto más pequeño es el tamaño de trama, entonces proporcionalmente más tramas llegarán al enrutador para ser procesadas y transmitidas para una determinada tasa de tráfico dentro de un cierto período de tiempo, lo que genera cargas de procesamiento pesadas en el enrutador. En consecuencia, el tamaño de cuadro más pequeño no pudo alcanzar la velocidad de fotogramas esperada.

Obsérvese que el rendimiento se prueba para tres longitudes de cola diferentes 1000, 500 y 200, respectivamente, las tres curvas se superponen. El gráfico también muestra que no hay diferencia significativa en el rendimiento entre diferentes estrategias de longitud de cola. La longitud de la cola es el número total de paquetes en cola en el enrutador que se va a procesar.

En la figura 3.4 se muestra el rendimiento del enrutador de diversidad MPLS como una función de la carga ofrecida, que se mide para el tamaño de fotogramas 256, 512 y 1024 octetos. La curva marrón es el rendimiento teórico versus la carga ofrecida. El procedimiento de medición se describe como: se envía fotogramas del router MPLS a un porcentaje específico de la velocidad máxima (2 Mbps) y cuenta los fotogramas transmitidos por el enrutador. La carga ofrecida oscila siempre entre 10% y 200% a un 10% de aumento.

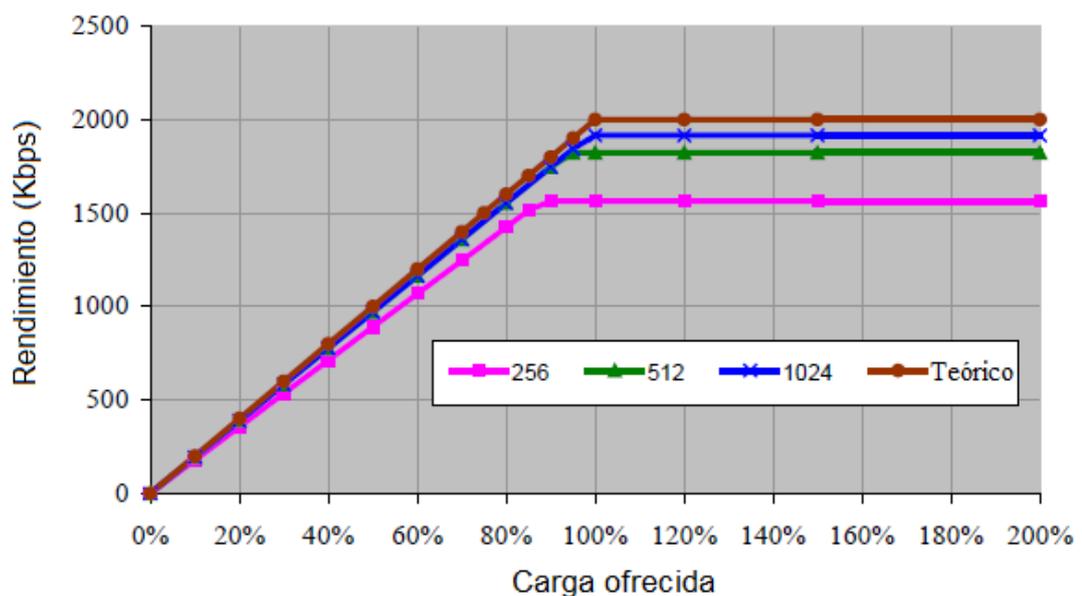


Figura 3. 4: Rendimiento del router MPLS en función de la carga ofrecida.
Elaborado por: Autor

Como la tasa ofrecida alcanza el rendimiento máximo, se necesita una granularidad más fina para determinar el valor absoluto. La duración de cada ejecución es de 120 segundos. La prueba se repite para diferentes tamaños de trama con la longitud 1000 de la cola del enrutador.

De la misma figura 3.4, se observa que, para tamaños de trama variables, el enrutador puede procesar diferentes cantidades de tráfico ofrecido. Como se puede ver, cuanto más pequeño sea el tamaño de la trama, más rápido se alcanzará el punto de procesamiento máximo. Un parámetro de trabajo seguro para el router MPLS, es la carga ofrecida para no ser más del 75% de la velocidad máxima del enlace del backbone.

3.3.2. Tasa de pérdidas de tramas.

La tasa de pérdida de trama del enrutador de diversidad MPLS se define como el porcentaje de tramas bajo carga (constante) que no se reenviaron debido a la falta de recursos. Puede utilizarse para informar sobre el rendimiento del enrutador de diversidad MPLS en el estado sobrecargado. Su procedimiento de medición es el siguiente: se envía un número específico de fotogramas a una velocidad específica a través del enrutador MPLS y contar las tramas que son transmitidas por el enrutador MPLS. La tasa de pérdida de tramas se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{Conteo_{input} - Conteo_{output}}{Conteo_{input}} \times 100$$

La primera prueba se ejecuta para la velocidad de tramas (fotogramas) que corresponde al 100% de la velocidad máxima del enlace desde el enrutador hasta la red principal. Se repite el procedimiento para la tasa que corresponde al 90% de la tasa máxima utilizada y luego para el 80% de esta tasa. La velocidad máxima es de 2 Mbps en esta prueba. Esta secuencia se continúa (en la reducción de 10% de intervalos) hasta que haya dos ensayos sucesivos en los que no se pierden fotogramas. La granularidad máxima de los ensayos debe ser del 10% de la velocidad máxima, y también se utiliza una granularidad más fina en algún punto de rotura. La duración de cada ejecución es de al menos 200 segundos. La unidad de tasa de pérdida de paquetes es el porcentaje de tramas ofrecidas que se descartan.

En la figura 3.5 se muestra el rendimiento de la tasa de pérdida de trama del enrutador MPLS para diferentes tamaños de trama. A partir de esto se hacen las siguientes inferencias:

- a) Cuando la carga ofrecida es baja, el enrutador es capaz de reenviar todos los marcos ofrecidos; por lo tanto, la tasa de pérdida de trama es cero. Esto sigue siendo cierto cuando la carga ofrecida es inferior al 75% de la velocidad máxima probada para todos los tamaños de trama probados. Esto quiere decir que no hay pérdida de trama cuando la utilización de recursos del enrutador es menor al 75%.
- b) Con la carga ofrecida aumentando, el recurso de enrutador se utiliza más plenamente y las tramas que no son reenviados por el enrutador se perderán.

- c) Para una cierta carga ofrecida, cuanto mayor sea el tamaño de trama, menor será la tasa de pérdida de trama, es decir, los recursos de enrutador se utilizarán más eficientemente cuando los tamaños de tramas sean medianamente grandes.

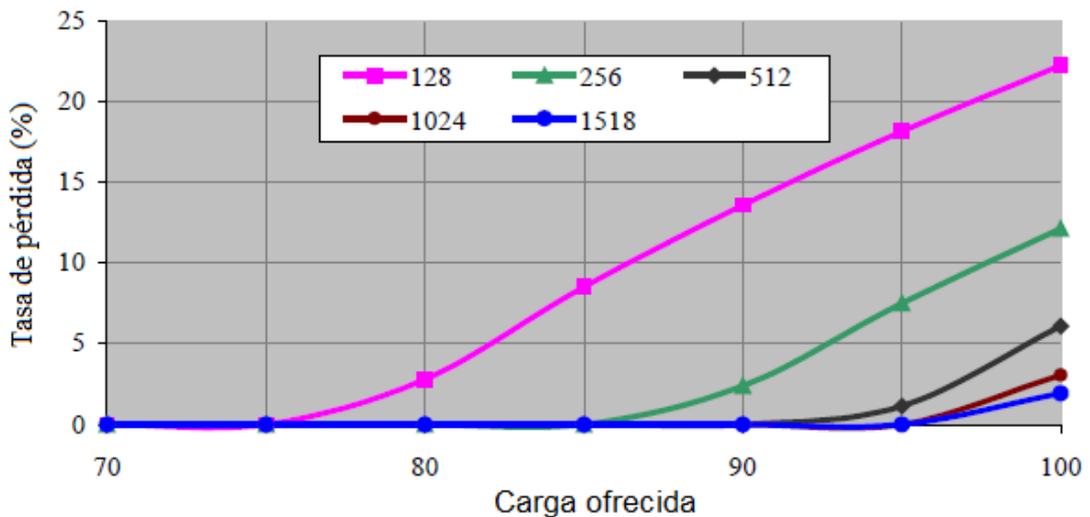


Figura 3. 5: Tasa de pérdida de tramas del router MPLS en función de la carga ofrecida.

Elaborado por: Autor

3.3.3. Latencia del enrutador MPLS

La latencia en el router MPLS mide el intervalo de tiempo que comienza con una trama que llega al puerto de entrada del enrutador de diversidad MPLS y termina cuando la trama se envía al puerto de salida del enrutador. Para medir la latencia, se utiliza el método de McQuaid & Bradner, (1999) recomendado en RFC 2544. El procedimiento y los parámetros se enumeran como sigue:

- a) En primer lugar, se determina el rendimiento del enrutador en cada uno de los tamaños de trama probados. A continuación, envíe una secuencia de fotogramas a un tamaño de fotograma determinado a

través del enrutador a la velocidad de rendimiento determinada a un destino específico. Cada trama tiene una marca de tiempo de recepción y una marca de tiempo de envío. Cada trama también tiene un número de secuencia utilizado como número de identificación.

- b) El flujo tiene una duración de 120 segundos para cada tamaño de trama probado. El número de tramas enviados dentro de esta duración depende del tamaño de la trama, por ejemplo, el número de tramas enviados es 217008 para el tamaño de la trama de 78 octetos y 19632 para el tamaño de la trama de 1518.
- c) Se transmite una trama de identificación después de 60 segundos y se registra el tiempo de recepción de esta trama por el enrutador (marca de tiempo A). Se registra el tiempo en el que se envía la trama de identificación al puerto de salida (marca de tiempo B).
- d) La latencia es la marca de tiempo B menos la marca de tiempo A para el tamaño de trama especificado. La prueba se repite al menos 20 veces, siendo el valor informado el promedio de los valores registrados.

En la figura 3.6 se muestra el resultado de la latencia medida del enrutador MPLS, que se obtiene cuando el enrutador está configurado con longitud de cola 100, 200, 500 y 1000 y el flujo de prueba utilizado es el protocolo UDP en la velocidad de tramas del rendimiento del enrutador. también, se muestra que la latencia aumenta de manera constante a medida que aumenta la longitud de la cola. Como dispositivo de almacenamiento y retransmisión, el enrutador MPLS pone en cola las tramas que no se reenvían

cuando las tramas alcanzan el enrutador con una velocidad de transferencia. El número de tramas en cola en la parte frontal de la trama etiquetada determina cuánto tiempo tendrá que esperar la trama marcada para ser reenviado. Este tiempo de espera es el componente principal de la latencia del enrutador MPLS y es proporcional a la longitud de la cola y al tamaño de la trama.

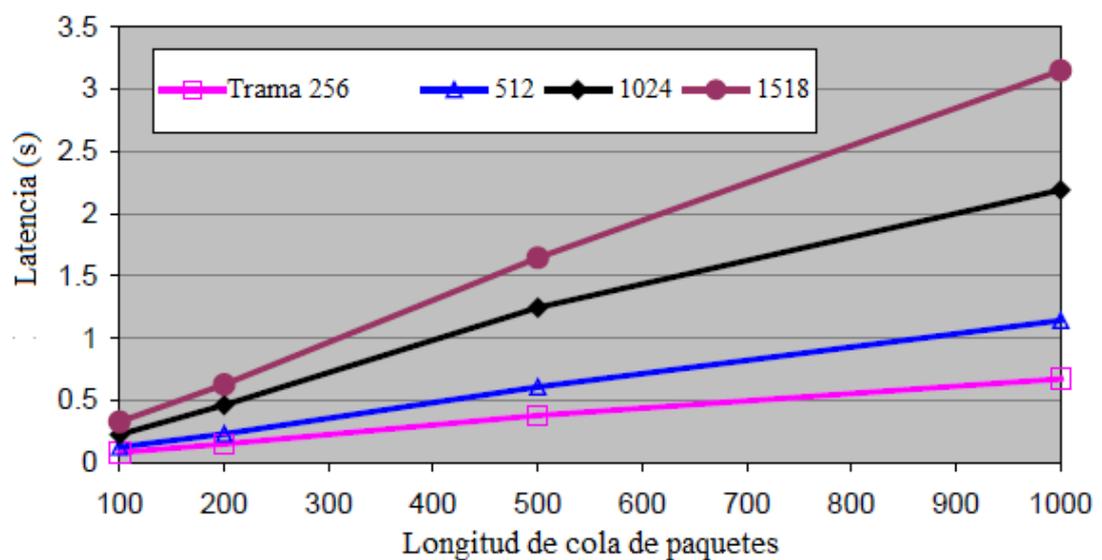


Figura 3. 6: Latencia del enrutador MPLS como una función de la longitud de cola de paquetes.

Elaborado por: Autor

3.3.4. Tráfico en ráfaga.

Es conveniente medir el rendimiento del enrutador de diversidad MPLS bajo carga de estado estacionario, pero esta es una manera poco realista de medir el funcionamiento del enrutador, ya que el tráfico de red real normalmente consiste en ráfagas de tramas. El tamaño de una ráfaga es el número de tramas dentro de la ráfaga. Las tramas dentro de la ráfaga se transmiten con el espacio mínimo entre tramas.

El objetivo de la prueba de ráfagas es determinar el intervalo mínimo entre ráfagas que el router MPLS puede procesar sin pérdidas de tramas. Durante cada prueba, el tamaño de la ráfaga se mantiene constante y el intervalo entre ráfagas varia. La duración de la ráfaga es de al menos 2 segundos. La prueba se ejecuta con tamaño de ráfaga 16, 32 y 64 tramas. Para generar tráfico de ráfaga con un tamaño de ráfaga especificado en esta prueba, se elige un paquete UDP grande y se corta en marcos pequeños. El resultado se observa en la tabla 3.1 y en promedio de 20 pruebas. El gráfico del intervalo de ráfagas también se muestra en la figura 3.7.

Tabla 3. 1: Rendimiento del intervalo de tráfico en ráfaga del router MPLS.

Tamaño de tramas (Octetos)	Tamaño de ráfaga 16		Tamaño de ráfaga 32		Tamaño de ráfaga 64	
	Intervalo de ráfaga (ms) Promedio	Desv. Est.	Intervalo de ráfaga (ms) Promedio	Desv. Est.	Intervalo de ráfaga (ms) Promedio	Desv. Est.
128	11.35	0.03	17.66	0.04	36.12	0.04
256	13.36	0.03	25.86	0.03	54.78	0.13
512	17.26	0.03	34.33	0.05	70.12	0.14
1024	21.77	0.06	41.66	0.07	91.74	0.22
1518	22.79	0.03	41.93	0.10	----

Elaborado por: Autor

El resultado indica que, para un tamaño de trama dado, el intervalo de ráfaga aumenta a medida que el tamaño de ráfaga aumenta. El aumento es casi proporcional al tamaño de la ráfaga. Las tramas de ráfaga tienen que estar en cola en el enrutador antes de que puedan ser procesados y enviados por el router MPLS. Cuando el enrutador es totalmente utilizado, ningún bloque de ráfaga nuevo podrá ser aceptado y procesado sin pérdida de trama hasta que un bloque de ráfaga completo deja el enrutador completamente.

Se necesita más tiempo para procesar y reenviar un bloque de ráfaga con un tamaño de ráfaga más grande y por lo tanto el intervalo entre dos bloques de ráfaga consecutivos es más largo. Las curvas de la figura 3.7 muestran que, para un tamaño de ráfaga dado, los intervalos de ráfaga aumentan más en el extremo de tamaño de cuadro pequeño que en el de tamaño de cuadro grande. En realidad, después de que el tamaño del fotograma es mayor que 1024 octetos, los intervalos de ráfaga aumentan un poco. Esto quiere decir que nuestro router MPLS es más sensible al tráfico de ráfaga de tamaño pequeño.

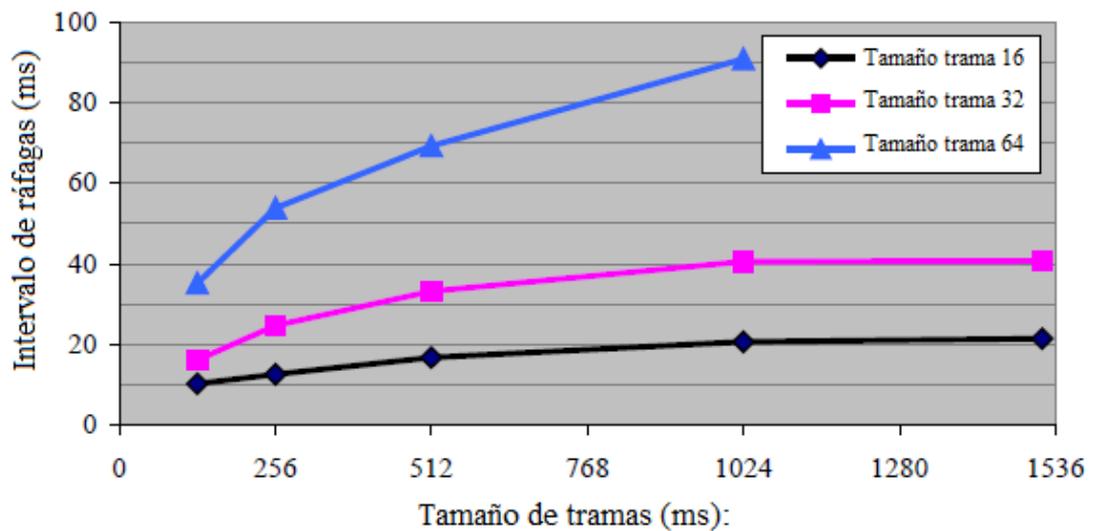


Figura 3. 7: Intervalos de tráfico en ráfaga como función del tamaño de trama del enrutador MPLS.

Elaborado por: Autor

CAPÍTULO 4: Conclusiones y Recomendaciones.

4.1. Conclusiones.

- En la descripción general de MPLS, se describe el formato de etiqueta y el mecanismo de conmutación de etiquetas. Comparado con el reenvío convencional de paquetes IP, se muestra cómo MPLS reenvía un paquete con el enlace de clase de equivalencia de reenvío y el intercambio de etiquetas.
- MPLS tiene muchas ventajas sobre el envío convencional de paquetes IP, sus aplicaciones típicas incluyen ingeniería de tráfico, calidad de servicio de apoyo, fusión de flujo y túneles de tráfico.
- El análisis realizado a los resultados obtenidos en el capítulo 3, muestran que el enrutador MPLS es más sensible al tráfico de ráfaga de tamaño pequeño.

4.2. Recomendaciones.

- Realizar un análisis comparativo de redes MANETs y VANETs a través de enrutadores con tecnología MPLS.
- Enfocar a los estudiantes de la Carrera de Telecomunicaciones al desarrollo de modelos de simulación de redes de comunicaciones utilizando diferentes plataformas.

Bibliografía

- Barberá, J. (2007). MPLS: Una arquitectura de backbone para la Internet del siglo XXI [Publicaciones]. Recuperado el 12 de marzo de 2017, a partir de <http://www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/53/enfoque1.html>
- Canale, E., Risso, C., & Robledo, F. (2014). Optimal design of an IP/MPLS over DWDM network. *Pesquisa Operacional*, 34(1), 3–30. <https://doi.org/10.1590/S0101-74382014000100002>
- García, R. C., Salcedo, O. J., López, D. A., & Pedraza, L. F. (2014). EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL SERVICIO PARA VOZ SOBRE PROTOCOLO DE INTERNET (VoIP) EN REDES WIMAX SOBRE AMBIENTES IP/MPLS. *Información tecnológica*, 25(2), 24–38. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000200004>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación* (5a ed). México, D.F: McGraw-Hill.
- Hundessa Gonfa, L. (2003). *Enhanced Fast Rerouting Mechanisms for Protected Traffic in MPLS Networks*. Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado a partir de <http://www.tdx.cat/handle/10803/5977>
- López E., A. M., & García Q., N. (2010). Simulación de tráfico en redes inalámbricas mediante NS2. *Scientia et Technica*, 16(44), 155–160.
- Mangal, I., & Bajaj, D. (2014). A Review of Multi-Protocol Label Switching: Protocol for Traffic Engineering on Internet. *International Journal of Computer Trends and Technology*, 11(3), 137–140.
- McQuaid, J., & Bradner, S. (1999). Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices. Recuperado el 9 de marzo de 2017, a partir de <https://tools.ietf.org/html/rfc2544>

- Salazar Estévez, L. (2014). *Estudio de factibilidad de implementación de una red nacional MPLS/Metroethernet de última generación para un proveedor de servicios*. Recuperado a partir de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/9791>
- Shawl, R. Q., Thaker, R., & Singh, J. (2014). A Review: Multi Protocol Label Switching (Mpls). *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4(1), 66–70.
- Tartanga. (2013). Modem analógico, ADSL, CableModem, Frame Relay, Connect-Lan....diferentes soluciones para un mismo objetivo. Recuperado el 12 de marzo de 2017, a partir de <http://fibroptica.blog.tartanga.eus/2013/12/06/1121/>
- Torres C., J., & Ortega S., B. (2012). Análisis, diseño de una red MPLS con IPv6 en las UTICS de la Escuela Politécnica del Ejército. *Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE*, 1–7.
- Zapata M., L. (2012). *Plataforma de experimentación de ataques reales a redes IP utilizando tecnologías de virtualización*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado a partir de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/6055>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **LEÓN SANTACRUZ, TOMAS KLEBER** con C.C: # 0919206326 autor del Trabajo de Titulación: **Análisis del desempeño de redes alámbricas e inalámbricas utilizando enrutadores con tecnología MPLS**, 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, 17 de Marzo de 2017

f. _____

Nombre: LEÓN SANTACRUZ, TOMAS KLEBER

C.C: 0919206326

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE REDES ALÁMBRICAS E INALÁMBRICAS UTILIZANDO ENRUTADORES CON TECNOLOGÍA MPLS		
AUTOR(ES)	LEÓN SANTACRUZ, TOMAS KLEBER		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. EDWIN FERNANDO PALACIOS MELÉNDEZ		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	17 de Marzo de 2017	No. DE PÁGINAS:	51
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas Telemáticos, Sistemas de Comunicación		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	LAN, WLAN, FEC, Etiqueta, MPLS, Enrutadores.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Para el desarrollo del componente práctico del examen comprensivo, se escogió la tecnología MPLS, siendo esta una de las tecnologías de redes de datos más innovadoras que emergen desde el surgimiento de Internet, ya sean en protocolos Ipv4 o Ipv6. En la fundamentación teórica, se destaca a MPLS como un simple mecanismo de indexación llamado "etiqueta", que reemplazaría al tradicional reenvío de paquetes IP. La etiqueta describe cómo se debe manejar el paquete dentro de la red y, por lo tanto, asigna el paquete a una clase de equivalencia de reenvío (FEC). Se diseñaron escenarios de simulación para el análisis del desempeño de las redes LAN y WLAN mediante el uso de enrutadores con tecnología MPLS. Durante las pruebas realizadas a cada una de las simulaciones, se evidenció que cada escenario de simulación funcionara correctamente. Finalmente, se pudo evidenciar que el desempeño de los enrutadores con tecnología MPLS sobre redes LAN y WLAN son eficientes.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-96578416	E-mail: tomas.leon.santacruz@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-68366762		
	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):			