EVALUACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN UNA RED MPLS PARA APLICACIONES MULTICAST SOBRE EL PROTOCOLO RSVP-TE

Ing. GERMÁN MACÍAS MUÑOZ

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INFORMACION Y LAS COMUNICACIONES
ENFASIS TELEINFORMÁTICA
BOGOTÁ 2015

EVALUACIÓN DE LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS EN UNA RED MPLS PARA APLICACIONES MULTICAST SOBRE EL PROTOCOLO RSVP-TE

Ing. GERMÁN MACÍAS MUÑOZ

PROYECTO DE TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES

DIRECTOR:
Ing. Elvis E. Gaona G. MsC.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA INFORMACION Y LAS COMUNICACIONES
ENFASIS TELEINFORMÁTICA
BOGOTÁ 2015

TABLA DE CONTENIDO

		pág.
INTRODUCCIÓN		10
1.	PROBLEMA	11
2.	JUSTIFICACIÓN	13
3.	OBJETIVOS	15
3.1	OBJETIVO GENERAL	15
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
4.	MARCO REFERENCIAL	16
4.1	MARCO CONCEPTUAL	16
4.1.1	Multiprotocol Label Switching (MPLS)	16
4.1.2	CR-LDP	17
4.1.3	Ancho de banda	18
4.1.4	Tráfico	19
4.1.5	Congestión	19
4.1.6	Protocolos de señalización	19
4.1.7	User Datagram Protocol (UDP)	20
4.1.8	IPV4	20
4.1.9	Internet Protocol (IP)	21
4.1.10	Escalabilidad	21
4.1.11	Red de datos	22
4.1.11.1	Topología de red	22
4.1.12	Multicast	23
4.1.13	IntServ	24
4.1.14	DiffServ	24
4.1.15	QoS	25
4.2	MARCO TEÓRICO	25
4.2.1	Funcionamiento de una red MPLS	25
4.2.2	Cabecera MPLS	26
4.2.3	Protocolo RSVP	28

4.2.4 Balanceo de carga 29
4.2.5 Ingeniería de Tráfico 30
4.3 ANTECEDENTES 31
4.3.1 Orígenes MPLS 31
4.3.2 Evolución de la ingeniería de tráfico 31
4.4 ESTADO DEL ARTE 32
5. LIMITACIONES Y ALCANCES 37
5.1 LIMITACIONES 37
5.2 ALCANCES 37
6. DISEÑO METODOLÓGICO 38
6.1 METODOLOGÍA 38
6.1.1 Fases de procedimiento 38
6.2 INTRUMENTOS 39
7. DESARROLLO 40
7.1 DISEÑO DE LA TOPOLOGÍA 40
7.2 CONTRUCIÓN Y SIMULACIÓN DE LA RED 44
7.2.1 Configuración de los Usuarios 44
7.2.2 Configuración de los Enrutadores: 45
7.2.3 Conexiones 47
7.2.4 Etiquetado 47
7.2.5 Datos para analizar 48
7.3 PROTOCOLO RSVP-TE SOBRE OMNET++ 51
7.4 ANÁLISIS DE LA TRAZA 52
7.5 ANÁLISIS GRÁFICO EN MATLAB 53
7.6 Plan de pruebas 54
8. Pruebas y resultados 54
8.1 RECURSOS 54
8.2 BITÁCORA DE PRUEBAS 55
8.2.1 Escenario 1: Diez nodos 55
8.2.1.1 Objetivo 55

8.2.1.2 Parámetros de configuración 55
8.2.1.3 Resultados esperados 56
8.2.1.4 Resultados obtenidos 56
8.2.1.5 Retardo por cada enlace 60
8.2.1.6 Paquetes perdidos 61
8.2.1.7 Análisis de los resultados 62
8.2.2 Escenario 2: Treinta nodos 64
8.2.2.1 Objetivo 64
8.2.2.2 Parámetros de configuración 64
8.2.2.3 Resultados esperados 65
8.2.2.4 Resultados obtenidos 65
8.2.2.5 Retardo por cada enlace 68
8.2.2.6 Paquetes perdidos 69
8.2.2.7 Análisis de los resultados 70
8.2.3 Escenario 3: Cincuenta nodos 72
8.2.3.1 Objetivo 72
8.2.3.2 Parámetros de configuración 72
8.2.3.3 Resultados esperados 72
8.2.3.4 Resultados obtenidos 73
8.2.3.5 Retardo por cada enlace 76
8.2.3.6 Paquetes perdidos 77
8.2.3.7 Análisis de los resultados 78
9. CONCLUSIONES 81
10. RECOMENDACIONES 83
GLOSARIO 84
BIBLIOGRAFÍA 88
ANEXO A 100
ANEXO C 107

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1. Medidas de Calidad de QoS 25
Tabla 2. Administración de mensajes 43
Tabla 3. Configuración de parámetros físicos de Usuario 44
Tabla 4. Configuración de direccionamiento lógico de Usuario 45
Tabla 5. Configuración de direccionamiento lógico de Enrutadores 46
Tabla 6. Definición de tablas de enrutamiento 46
Tabla 7.Configuración de conexiones 47
Tabla 8. Configuración de etiqueta en MPLS en OMNet++ 47
Tabla 9. Datos a analizar 48
Tabla 10 Configuración del paquete 52
Tabla 11. Parámetros globales 54
Tabla 12. Parámetros de escenario 1 55
Tabla 13. Estado de los enlaces LDP 56
Tabla 14. Estado de los enlaces RSVP-TE 57
Tabla 15. Comparación de Eficiencia 58
Tabla 16. Tiempos de retardo por Enlace 60
Tabla 17. Paquetes perdidos LDP 61
Tabla 18. Paquetes Perdidos RSVP-TE 62
Tabla 19. Parámetros de escenario 2 64
Tabla 20. Estado de los enlaces LDP (30 Usuarios) 65
Tabla 21. Estado de los enlaces con RSVP-TE (30 Usuarios) 66
Tabla 22. Comparación de eficiencia (30 Usuarios) 66
Tabla 23. Tiempos de Retardo por cada Enlace 68
Tabla 24. Paquetes perdidos LDP (30 Usuarios) 69
Tabla 25. Paquetes Perdidos RSVP-TE (30 Usuarios) 70
Tabla 26. Parámetros de escenario 3 72
Tabla 27. Estado de los enlaces LDP (50 Usuarios) 73

Tabla 28. Estado de los enlaces con RSVP-TE (50 Usuarios) 74
Tabla 29. Comparación de eficiencia (50 Usuarios) 74
Tabla 30. Tiempos de Retardo por cada Enlace 76
Tabla 31. Paquetes perdidos LDP (50 Usuarios) 77
Tabla 32. Paquetes Perdidos RSVP-TE (50 Usuarios) 78
Tabla 34. Resultados de las pruebas 1 y 2 101
Tabla 35. Resultado de las pruebas 3 y 4 102
Tabla 36. Clase MPLS 103
Tabla 37. Clase LDP 103
Tabla 38. Clase RSVP-TE 104
Tabla 39. Código para analizar el enlace 1 104
Tabla 40. Graficar en forma de barras 105
Tabla 41. Grafica polar 106

LISTA DE FIGURAS

pág.

Figura 1. Red MPLS 16
Figura 2. Ancho de banda 18
Figura 3. Encabezado IPv4 21
Figura 4. Topología Estrella 23
Figura 5. Distribución Multicast 23
Figura 6. Dominio de Diffserv 25
Figura 7. Proceso de etiqueta MPLS 26
Figura 8. Cabecera MPLS 27
Figura 9. Mensajes que envía RSVP-TE 28
Figura 10. Envió de mensajes en la red 29
Figura 11. Ingeniería de tráfico 30
Figura 12. Interfaz gráfica del editor de red NED 40
Figura 13. Diseño red MPLS de Diez usuarios 41
Figura 14. Diseño red MPLS de treinta usuarios 42
Figura 15. Diseño red MPLS de cincuenta usuarios 43
Figura 16. Simulación red MPLS de diez usuarios 49
Figura 17. Red MPLS de treinta usuarios 50
Figura 18. Red MPLS de cincuenta usuarios 50
Figura 19. Modulo RSVP-TE en OMNet++ 51
Figura 20. Ejemplo de gráfica de Estabilidad Polar 53
Figura 21. Balanceo de carga con RSVP-TE 58
Figura 22. Balanceo de carga sin RSVP-TE 59
Figura 23. Comparación Figura 21 y Figura 22 60
Figura 24. Comparación Retardo por Enlace 61
Figura 25. Balanceo de carga con RSVP-TE 67
Figura 26. Balanceo de carga sin RSVP-TE 67
Figura 27. Comparación Figura 25 y Figura 26 68

Figura 28. Comparación Retardo por Enlace 69
Figura 29. Balanceo de carga con RSVP-TE 75
Figura 30. Balanceo de carga sin RSVP-TE 75
Figura 31. Comparación Figura 29 y Figura 30 76
Figura 32. Comparación Retardo por Enlace 77
Figura 33. Topología dos usuarios y dos nodos 100
Figura 34. Prueba de RSVP-TE 102
Figura 35. Omnet++ 108
Figura 36. Comando final para la ejecución de simulador Omnet++ 109
Figura 37. Configuración de las librerías de OMNet++ 110
Figura 38. Importación del módulo inet al simulador 111
Figura 39. Inet en OMNet++ 111

INTRODUCCIÓN

En el año 2000 se propuso una nueva arquitectura de red denominada MPLS (Multiprotocol label switching),(García Girón, 2009) pensada para solucionar muchos problemas de, en su entonces, actual servicio de internet donde se involucraba la calidad de servicio y la ingeniería de tráfico, entre otros. Gracias a MPLS se pueden afrontar problemas como la compatibilidad con los protocolos de capa de enlace, ingeniería de tráfico y QoS, o la capacidad de proporcionar un envío rápido de la información, inclusive la capacidad de definir VPNs (Virtual Private Network) de una mejor forma. Por lo anterior surgió la necesidad de disponer una evaluación de las redes que soportan la tecnología MPLS y los protocolos que esta tecnología usa para poder resolver los problemas de compatibilidad con los protocolos de capa de enlace, ingeniería de tráfico y QoS.

El crecimiento actual de Internet al igual que la popularidad de MPLS en cuanto a la capacidad de lograr integrar voz, vídeo y datos en un solo camino, ofrece ahora la disposición de la calidad de servicio (QoS) así como la escalabilidad de la red, desarrollando un trabajo de Ingeniería de Tráfico (TE), el cual intenta optimizar las características de las redes, a través de tres actividades integradas: medición del tráfico, modelado de la red, y selección de mecanismos para el control del tráfico.

La necesidad de conocer el comportamiento del tráfico es indispensable para predecir el comportamiento de la red, modificando parámetros que permitan optimizar el uso de los recursos. La evaluación de la asignación de recursos permite conocer el comportamiento del tráfico en cada enlace determinando el rendimiento y calidad del servicio de la red. El presente trabajo busca encontrar las ventajas y desventajas del protocolo RSVP-TE cuando trabaja en una red MPLS con aplicaciones de tipo Multicast.

Los resultados de los escenarios simulados con calidad de servicio y sin calidad de servicio son analizados con herramientas tipo MATLAB, donde se toma en cuenta parámetros importantes como: la congestión de cada enlace, el ancho de banda de cada uno de los enlaces y de que forma el protocolo administra los enlaces para un óptimo balanceo de carga.

1. PROBLEMA

En el artículo denominado “CR-LDP como Protocolo de Señalización en Redes de Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo” (Hernández & López, 2011) se realiza un análisis del protocolo de señalización CR-LDP en un modelo de red MPLS, para determinar si este tipo de señalización resulta efectivo en una topología de red propuesta, concluyendo que presenta muchas ventajas sobre el protocolo RSVP-TE, sin embargo el planteamiento y la simulación no se hacen con aplicaciones de tipo multicast, y el análisis es solamente con el protocolo CR-LDP. Más adelante en otro estudio (López, Hernández, & Salcedo, Evaluación del Desempeño en redes de Datos MPLS/IP, 2009) se evalúan comparativamente las ventajas de montar una aplicación de tipo multicast en una red MPLS utilizando el protocolo RSVP-TE, con el funcionamiento de una red de transmisión de data-gramas IP basada en el estándar independiente multienvío en modo denso (PIM-DM).

El artículo “Evaluation of a server-based traffic engineering architecture suitable for large-scale MPLS networks” (Matsui, Kaneda, & Matsuda, 2010), concluye que un modelo de red distribuida hace más ineficiente el uso de los recursos de red, por lo que motiva en este proyecto a buscar un modelo de red distribuido para un análisis y una simulación más real.

Otros trabajos como el de (Donoso, Fabregat, Marzo, & Calle, 2009) y (Rahman, Kabir, Lutfullah, Hassan, & Amin, 2008) buscan analizar los recursos de red con y sin calidad de servicio, pero basados únicamente en el protocolo RSVP. La QoS también será tema a tratar en este proyecto.

Una situación muy particular es la demanda de usuarios dentro de la red de Internet que ha hecho que el crecimiento del tráfico sea descomunal, hecho que interfiere en cuestiones de calidad de servicio; las aplicaciones robustas dentro de los enlaces de las redes requieren en muchas ocasiones más ancho de banda, superando el umbral ofrecido por la red, este tipo de problemas hacen que se creen nuevas tecnologías para la reserva de recursos, como lo es RSVP-TE (Resource Reservation Protocol - Traffic Engineering). Particularmente y en la misma vía se encuentra el tiempo que demora la restauración de un camino que establece el protocolo RSVP, puesto que RSVP-TE está soportado sobre sesiones UDP (User Datagram Protocol), que está orientado a la no conexión; por lo anterior el protocolo RSVP-TE, debe estar evaluando y corrigiendo esta situación (López, Hernández, & O., 2012)

Algunas aplicaciones de tipo multicast como: video conferencias, televisión en vivo, entre otras, prueban a mayor escalabilidad los recursos que la red les ofrece, ahora bien se desea evaluar a profundidad el protocolo de señalización RSVP-TE, para analizar qué sucede con la calidad de servicio dentro de una red, en cuanto a saturación de los enlaces debido a su mínimo ancho de banda y al poco control que se tiene sobre los recursos de la red.

Se plantea entonces un escenario que permita analizar los recursos de una red MPLS como son, entre otros, balanceo de carga, ancho de banda, retardos generados, número de mensajes perdidos, bajo varios escenarios diferentes, buscando definir una topología de red que tenga en cuenta un número determinado de fuentes, para poder analizar datos con diferentes tamaños de paquetes, y donde se pueda mirar el comportamiento y el desempeño de una red simulada, si se varia el número de nodos de la red, y finalmente analizar los datos obtenidos de forma comparativa, mostrando las ventajas y desventajas del protocolo propuesto, así mismo los problemas que surjan dentro de la red MPLS que girarán en torno a la calidad de servicio, la reserva de recursos y al encuentro de rutas seguras para los paquetes; por sí se presenta un fallo dentro de algún enlace. Dado lo anterior, y con toda la información encontrada acerca de este tema, se propone utilizar el protocolo RSVP-TE de servicio para responder a la siguiente pregunta de investigación:

¿Se puede evaluar la distribución de flujos de tráfico generados a partir de una aplicación Multicast, en el protocolo RSVP-TE, en una red MPLS?

2. JUSTIFICACIÓN

La red Internet que ha globalizado muchas “aplicaciones” como la radio, la televisión, los periódicos, etc, ha tenido un crecimiento tanto en número de usuarios, que pasó de 673 millones en el año 2002 a más de 1.500 millones de usuarios[1] en el 2008, como en aplicaciones que funcionan sobre la red. Esta globalización hace no solo que las plataformas sean más robustas, sino que cada día surjan nuevas propuestas sobre las tecnologías y desarrollos actuales, que llevan a investigadores e implementadores a cambiar casi sobre la marcha el funcionamiento y manejo de todo lo concerniente, para que no colapse la red.

Aplicaciones de tipo voz o video por demanda son ahora casi indispensables para un usuario final, y se ha visto como se desarrollan e implementan nuevas arquitecturas, nuevas tecnologías o nuevos protocolos que garanticen optimizar los recursos disponibles en la red, entre esas nuevas apariciones está MPLS que ha venido mejorando problemas como la velocidad de transmisión de datos, la escalabilidad de las redes, la calidad de servicio y ha implementado herramientas de Ingeniería de Tráfico.

Hacer un análisis de estos recursos específicamente en aplicaciones Multicast y bajo el protocolos RSVP-TE, en una red MPLS permitirá para cualquier investigador interesado conocer e identificar el desempeño de este protocolo. Aplicaciones como IPTV que ya se encuentra implementado en algunos lugares del mundo como en USA[2] podrían realizar mejores diseños y mejores controles sobre la red a utilizar.

Conocer las debilidades y fortalezas del protocolo analizado en este proyecto permitirá visualizar los cambios necesarios en los algoritmos a fin de mejorar el desempeño de estos. Con un mejor desempeño de los protocolos directamente se tendrá un mejoramiento de la QoS. Como se espera tener una interpretación comparativa de los recursos asignados en base al protocolo, la investigación arrojará teóricamente las ventajas y desventajas del uso de RSVP-TE, con la aplicación a evaluar.

En general los resultados esperados de este desarrollo permitirán conocer los ajustes necesarios en el funcionamiento del protocolo a fin de hacer una mejor asignación de los recursos en una red MPLS y por ende mejorar los

[1] Fuente: World Development Indicators, http://data.worldbank.org
[2] Netflix, http://www.netflix.com/

niveles en los parámetros de calidad de servicio de las aplicaciones tanto Unicast como Multicast.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la distribución de flujos de tráfico generados a partir de una aplicación Multicast, utilizando el protocolo RSVP-TE en una red MPLS.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtención de los datos para el análisis de recursos en una red MPLS a partir de una simulación.

- Estimar una métrica que permita mejorar el balanceo de carga realizado por el protocolo RSVP-TE.

- Analizar el balanceo de carga, el ancho de banda, los retardos generados, y los mensajes perdidos utilizando el protocolo de señalización propuesto, sobre una aplicación Multicast en una topología de red propuesta.

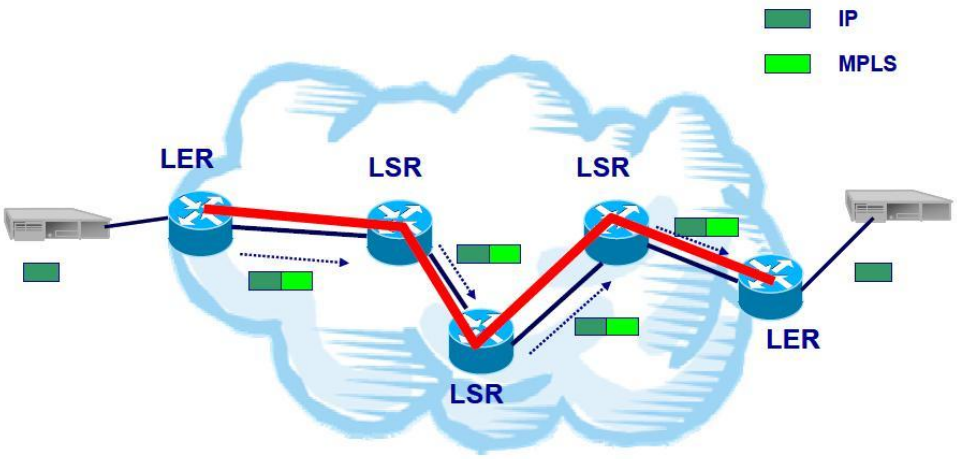
4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONCEPTUAL

4.1.1 Multiprotocol Label Switching (MPLS)

El protocolo MPLS, sigla por “Multiprotocol Label Switching”, fue creado por la IETF[1] y el estándar RFC 3031 (Rosen, Viswanathan, & Callon, 2001), para transportar datos y mejorar parámetros como la velocidad de enrutamiento y el estado de un paquete dentro una red. Unifica el servicio de transporte de datos de voz y de paquetes IP en las redes basadas en circuitos y paquetes; lo anterior mediante un servicio de encapsulado de etiquetas que se mueven a través de una red que lleva su mismo nombre “MPLS”, y que hace la conmutación de etiquetas en los switches de la red. Gracias a sus grandes aplicaciones ha tenido gran acogida a nivel mundial. El principal beneficio es la eliminación de la dependencia en una tecnología en particular, tales como el modo de transferencia asíncrono (ATM), Frame Relay, Red óptica síncrona (SONET) o Ethernet, y eliminar la necesidad de múltiples redes de capa 2 para satisfacer diferentes tipos de tráfico. MPLS pertenece a la familia de las redes de conmutación de paquetes.

Figura 1. Red MPLS



[1] Internet Engineering Task Force, organismo internacional de normalización y estandarización sobre Internet

La entrada a una red MPLS se hace a través de enrutadores que son llamados los LER[1] ó enrutadores de etiqueta de borde, que sirven como interfaces entre la red MPLS y otras redes. Los enrutadores internos dentro de la red MPLS, se conocen con el nombre de LSR[2] ó enrutadores conmutadores de etiquetas y sirven para efectuar la conmutación basados únicamente en las etiquetas. Lo anterior deduce que un LER es igual a un LSR pero con la capacidad de comunicarse con redes al exterior.

Las etiquetas que se insertan en cada LER, son distribuidas mediante el Protocolo de Distribución de Etiquetas (LDP). Este protocolo es el que hace que los enrutadores intercambien información de etiquetas, e inclusive saber el número de etiquetas que son necesarias para este intercambio a fin de alcanzar otro enrutador. Es posible también hacer la distribución de etiquetas usando el protocolo RSVP-TE.(Adrián, Sebastián, & Marcelo, 2005).

4.1.2 CR-LDP[3]

Protocolo de Distribución de Etiquetas Basado en Restricciones (Constraint-Routing Label Distribution Protocol), es una extensión del protocolo LDP, que es uno de los protocolos en la arquitectura MPLS. Las extensiones se usan para ampliar sus capacidades, tales como rutas de acceso de configuración más allá de lo que está disponible para el protocolo de enrutamiento LDP. Por ejemplo, un Label Switched Path (LSP) puede ser configurado sobre la base de las limitaciones de ruta explícita, la calidad de la limitación de los servicios, y otras limitaciones. Basado en restricciones de enrutamiento (CR) es un mecanismo utilizado para cumplir con los requerimientos de ingeniería de tráfico. Estos requerimientos se cumplen mediante la ampliación del LDP para el apoyo de trayectorias de intercambio de rutas por etiqueta basado en restricciones (CR-LSP). Un uso para el CR-LSP es MPLS basada en redes privadas virtuales.

El Protocolo de Distribución de etiquetas Basado en Restricciones está constituido por varios tipos de mensajes:

- Label Request: Realiza una petición para el establecimiento de un nuevo ER- LSP.

[1] Label Edge Router
[2] Label Swichting Router
[3] RFC 3214

- Label Mapping: A medida que llega un mensaje de este tipo a cada nodo, éstos realizan el establecimiento del ER-LSP ajustando las tablas de conmutación.

- Label Notification: Informa de algún evento que haya sucedido en el intercambio de mensajes.

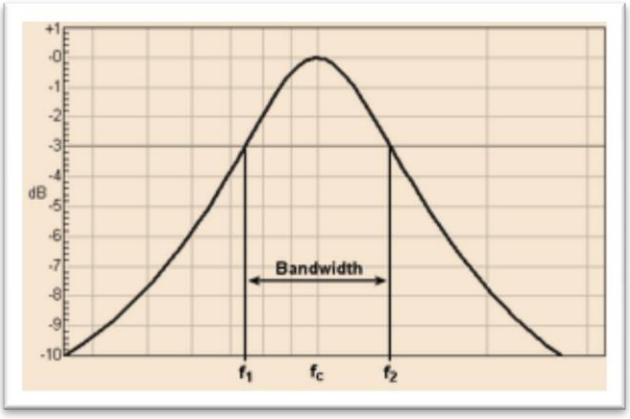
- Label Error: Indica la existencia de algún tipo de error en el intercambio de mensajes CR-LDP.

- Label Release: Indica la liberación de un LSP establecido.

4.1.3 Ancho de banda

En señales analógicas, el ancho de banda es la diferencia que existe entre dos frecuencias, en donde se concentra la mayor parte de una señal, y en torno a una frecuencia central. Sin embargo en redes de comunicaciones, este ancho de banda se refiere más bien a la tasa de bits que pueden pasar a través de un camino de comunicación en un momento dado, normalmente medido en segundos. Cuanto mayor sea el ancho de banda, más datos podrán circular por este camino por segundo (RNDS, 2011).

Figura 2. Ancho de banda



(RNDS, 2011)

4.1.4 Tráfico

El tráfico es una medida que no posee dimensiones y está dada en Erlangs, para determinar la demanda que los usuarios de una red de comunicaciones imponen sobre los recursos de la misma. Para efectuar los estándares relacionados con el tráfico, se realizan modelos matemáticos del comportamiento de los usuarios, como tiempos de arribos o tiempos de llegada a servidores, tiempo de atención, tiempo en ser atendido y tiempo en por ejemplo en el servidor.

El tráfico de Internet es complejo, la carga ofrecida entre pares origen-destino es típicamente desconocida, asimismo, la distribución del tráfico IP usualmente fluctúa ampliamente a través del tiempo, esto introduce una gran complejidad a la ingeniería de tráfico sin alivianar las demandas de los clientes por una performance de comunicación predecible. (Alzate M. , 2009).

4.1.5 Congestión

La congestión sucede cuando la demanda de usuarios dentro de un enlace de red, es superior a la capacidad para la cual fue programado el enlace. Lo anterior genera pérdida de paquetes y lentitud a la vez, haciendo que se deteriore la calidad del servicio y colocando alarmas, si existiere un gestor de la red.

Hay varias causas de congestión, las más importantes sucede cuando un servidor atiende a los usuarios a una tasa menor a la velocidad que los paquetes tienen cuando arriban a algún nodo; el retardo que existe en cada cola hace que los paquetes sean atendidos a menor velocidad por lo tanto se acumulan en la llegada. Otra posible falla está en el tipo de teoría de colas que se utilizó al momento de dimensionar una red pues pudo ser equivoco para la cantidad de tráfico que se manejaría por la red en su transición máxima de datos.(Padilla, 2008).

4.1.6 Protocolos de señalización

Los protocolos de señalización son estándares creados para ofrecer orden a los distintos servicios que ofrecen las redes de telecomunicaciones, servicios como control de admisión, interconexión con otras redes, intercambio de capacidades y solucionar problemas de direccionamiento; dado que las transmisiones Multicast y Unicast son diferentes, sólo los protocolos

diseñados para Multicast pueden ser usados efectivamente con este. La mayoría de los protocolos de aplicaciones existentes que usan Multicast lo hacen sobre UDP.

Otras aplicaciones, sobre todo aquellas que tienen que transmitir contenidos multimedia, lo hacen usando el protocolo RTP; además del protocolo RSVP, para reservar el ancho de banda necesario para la distribución del contenido. La distribución en una red local está controlada por el protocolo IGMP (en una red IPv4) y por MLD (en una red IPv6). Dentro de un dominio de enrutamiento se usa el protocolo PIM y entre dominios se debe usar algún protocolo de enrutamiento Multicast entre dominios como el MBGP.

Se pueden encontrar muchos errores si un paquete destinado a una dirección Unicast es encaminado accidentalmente a una dirección Multicast. Concretamente se ha usado el envío de paquetes ICMP a una dirección Multicast como una forma de conseguir la amplificación de paquetes a través de un Ataque de denegación de servicio. (Soto, Larrabeiti, & Moreno, s.f.).

4.1.7 User Datagram Protocol (UDP)

El UDP es un protocolo orientado a la no conexión, quiere decir que el usuario receptor no envía mensajes aclarando que se ha recibido con éxito o no las tramas enviadas por el usuario emisor y no se tienen en cuenta problemas como: fallos de secuencia, retrasos, pérdidas de mensaje y duplicación.

Deja que el control de los datos transmitidos quede a cargo de la aplicación que se está beneficiando de sus servicios, UDP se basa en IP y se encuentra ubicado en una sencilla interfaz entre la capa de re y la capa de aplicación de acuerdo al modelo OSI.(Mathon, 2003).

4.1.8 IPV4

El IPV4 es un protocolo de Internet versión cuatro es la primera versión que se implementa a gran escala ya que usa direcciones de 32 bits, gracias a ese tamaño de la cabecera se pueden generar $\mathbf{2^{32}}$ direcciones únicas, dedicadas a redes de área local, pero contiene las direcciones suficientes para realizar el direccionamiento dentro de la red MPLS. En la Figura 3. Encabezado IPv4se muestra el encabezado de esta versión (Antelin & Dordoigne, 2007).

Figura 3. Encabezado IPv4

0-3	4-7	8-15	16-18	19-31
Versión	Tamaño Cabecera	Tipo de Servicio	Longitud Total	
Identificador			Indicadores	Posición de Fragmento
Checksum Cabecera				
Dirección IP de Origen				
Dirección IP de Destino				
Opciones				Relleno

Fernández (2008)

4.1.9 Internet Protocol (IP)

El IP es un protocolo de internet ofrece los medios necesarios para la transmisión de bloques de datos llamados datagramas desde el nodo de origen hasta el nodo de destino que son host que se identifican con un número de longitud fija; es el encargado de la división y el posterior ensamble de los grandes datagramas para su transmisión en una trama más pequeña.

Una dirección IP es un número que identifica de manera lógica a una interfaz de un dispositivo (habitualmente una computadora), dentro de una red que utilice el protocolo de Internet (IP), dicha interfaz se encuentra ubicada en el nivel 3 del modelo de referencia OSI. Esta dirección es un número que no se ha de confundir con la dirección MAC ya que éste es número físico y es asignado a la tarjeta o dispositivo de red (viene impuesta por el fabricante), mientras que la dirección IP se puede cambiar.(Belzarena, 2009).

4.1.10 Escalabilidad

La escalabilidad es una propiedad que se debe incluir en el diseño de un sistema, ya que los sistemas tienden a extender el margen de operaciones. Simplemente se adiciona carga a la red y ella debe administrar los recursos para ofrecer una estabilidad lineal en la capacidad del servicio; ahora bien un sistema es escalable en la medida en que solo necesite adicionar recursos, en lugar de modificar las aplicaciones, que en muchos de los casos puede ser más tedioso para la gestión de la red.

Aunque el rendimiento marca una diferencia a la hora de determinar el número de usuarios que puede admitir una aplicación, la escalabilidad y el rendimiento son dos entidades diferentes. De hecho, las labores de rendimiento pueden ser opuestas a veces a las de escalabilidad. (Barceló, 2008).

4.1.11 Red de datos

La red de datos es un conjunto de dispositivos generalmente computadores, unidos entre sí a través de medios de transmisión, por los cuales viajan datos a gran velocidad, con la intención de compartir información, recursos y ofrecer servicios requeridos por los usuarios; debe estar regida por algún estándar como TCP/IP que se basa en el modelo OSI(Joskowicz, 2008).

4.1.11.1 Topología de red

La topología de red es la manera lógica de ubicar los host en una red para comunicarse dentro de un medio físico tomando en cuenta la arquitectura del espacio donde se ubica la red. Se encuentran diferentes tipos de topologías dentro de las cuales las siguientes tres son las más usadas:

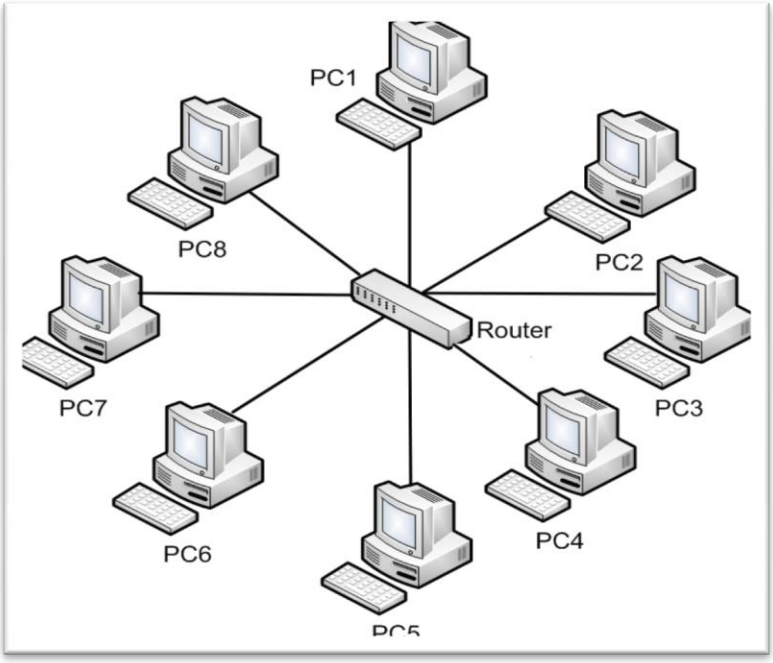
- Topología Broadcast, tiene un diseño desordenado puesto que cada host envía información a los demás sin tener un control de esto, se usa un sistema donde el primero que tiene tráfico es el primero que transmite, un ejemplo que se puede citar es la red Ethernet (Gil, Pomares, & Candelas, 2010).

- Topología Token Passing, busca tener un control de acceso al medio, de modo que crea un testigo el cual recorre la red de manera ordenada numerando los host, cuando el testigo se encuentra en un host que contiene información para transmitir el testigo tenga prioridad para dejar comunicar y realizar su proceso de comunicación sin que otro interfiera y cuando el host donde esta ubicado el testigo no posee información sigue con el siguiente pero sin perder la prioridad (Gil, Pomares, & Candelas, 2010).

- Topología Estrella, en esta los host están conectados directamente a un enrutador central y todas las comunicaciones se deben hacer necesariamente a través de éste punto central de la red, además los host

no están directamente conectados entre sí, como se muestra en la Figura 4. Topología Estrella

Figura 4. Topología Estrella

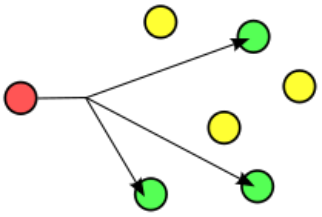


(Gil Vázquez & Pomares Baeza, 2010)

4.1.12 Multicast

El multicast es el envío de información en una red a múltiples receptores de forma simultánea como se muestra en la Figura 5, un emisor envía un mensaje y son varios los receptores que reciben el mismo. Multicast está orientado hacia aplicaciones del tipo "uno para muchos" y "muchos para muchos".

Figura 5. Distribución Multicast



(Wiley & Sons, 2008)

4.1.13 IntServ

El IntServ hace referencia a una arquitectura que tiene como objetivo controlar los recursos necesarios para garantizar calidad de servicio (Qos) en una red de comunicaciones. IntServ funciona de tal manera que realiza una reserva de extremo a extremo de recursos o elementos que conforman la red a nivel de aplicación; dentro de la arquitectura se deben incluir los siguientes servicios integrados: control de admisión, enrutamiento, disciplina del servicio y descarte de paquetes. (Alwayn, 2001)

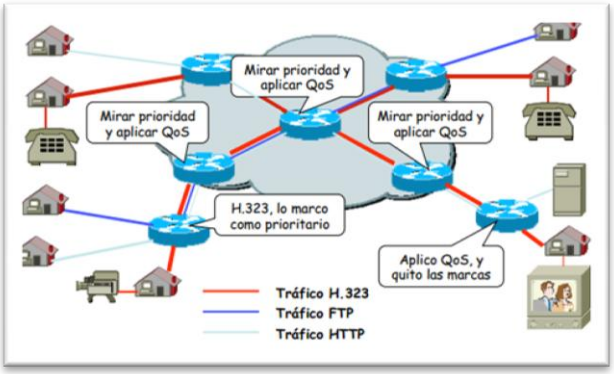
Vale la pena definir el concepto de flujo. Flujo es la cantidad de datos que genera un usuario y estos requieren la misma calidad de servicio. En la versión de IPv4 un flujo estará definido a nivel de transporte por el protocolo utilizado (ya sea TCP o UDP), por sus puertos y por las direcciones IP origen y destino. Dentro de la arquitectura de servicios integrados, podrían distinguirse las siguientes funciones principales: control de admisión, enrutamiento, disciplina del servicio, descarte de paquetes. (Alwayn, 2001)

4.1.14 DiffServ

La IETF ha designado dos formas de implementar QoS en una red IP: servicios integrados (IntServ) y servicios diferenciados (DiffServ). IntServ utiliza el protocolo de señalización de reserva de recursos (RSVP). Las señales entre diferentes hosts a la red vía RSVP, que la calidad de servicio necesita, son debido a los flujos de tráfico que ellos se envían. DiffServ utiliza los bits DiffServ en la cabecera IP para calificar el paquete IP teniendo certeza de la calidad de servicio determinada. Los routers miran estos bits para marcar, la cola, la forma y establecer la prioridad de los paquetes de datos.

La gran ventaja de DiffServ sobre IntServ es que el modelo DiffServ no necesita protocolo de señalización. El modelo IntServ utiliza un protocolo de señalización que se debe ejecutar en los host y en los routers. Si la red tiene muchos miles de flujos, los routers debe mantener la información del estado para cada flujo que pasa a través de él. Este es un problema de escalabilidad grave, por lo que IntServ no ha demostrado ser popular.

Figura 6. Dominio de Diffserv



(Álvarez, 2006)

4.1.15 QoS

El QoS es un conjunto de reglas que rigen los modelos de redes de datos al diseñarlas, para ofrecer un servicio, generando satisfacción tanto emisor como receptor gracias a que cumple con requisitos como baja en latencia, bajo en la fluctuación que se produce en el retraso de ida y vuelta medio o mejor conocido como Jitter (Romero, 2009) algunos parámetros de QoS se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Medidas de Calidad de QoS

Tiempo Volumen de tráfico	Precisión	Robusteza	Contabilidad	Manejabilidad	Seguridad	Categoría de QoS
Latencia	Precisión de direccionamiento	Confianza de manejabilidad	Costo	Monitoreo	Autenticación	Parámetros de QoS
Retraso			Auditabilidad	Control	Confidencia	
Tiempo de recuperación					Seguridad	
Garantía	Tasa de error	Resistencia de supervivencia				

Romero (2009)

4.2 MARCO TEÓRICO

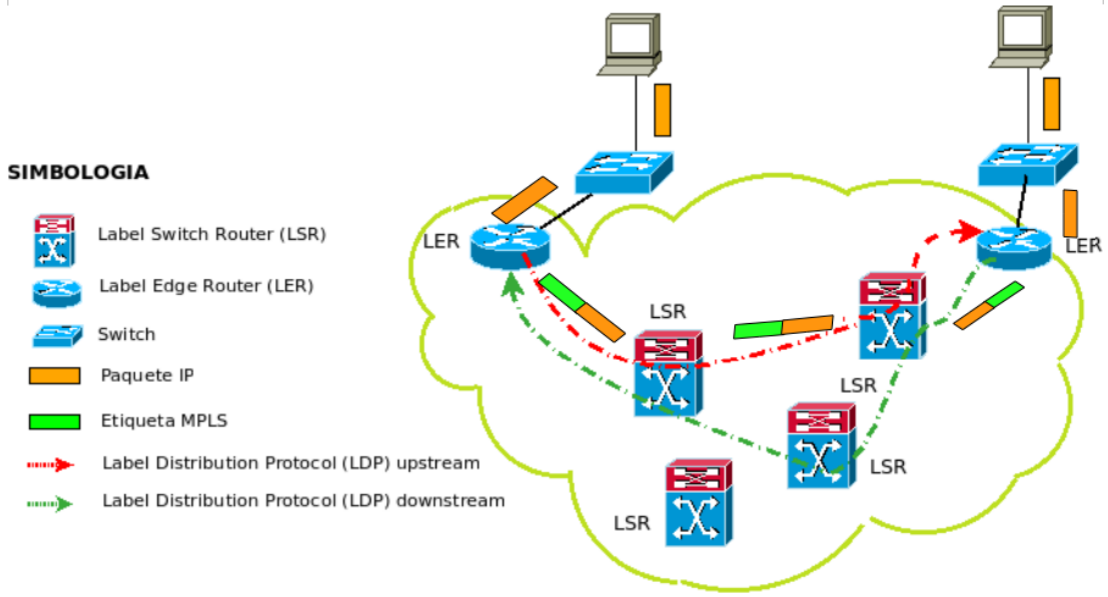
4.2.1 Funcionamiento de una red MPLS

Una red MPLS se compone de mínimo seis componentes elementales LER, LSR, LSP, LDP, RSVP y FEC donde la configuración y la topología creada hace que MPLS pueda ser utilizado como multiprotocolo para variar entre las

capas de RED y ENLACE DE DATOS, a continuación se describe cómo funciona correctamente la red MPLS:

Los LER (Label Edge Routers) son el primer enrutador donde los paquetes de información ingresan y salen, a su vez el LER contienen circuitos virtuales llamados LSP (Label Switched Paths).Estos circuitos virtuales constan de una serie de etiquetas asignadas a los paquetes de información que los diversos enrutadores intermediarios LSR (Label Switching Routers) van intercambiando a lo largo. Las etiquetas utilizadas en el o los caminos a seguir son elegidas utilizando protocolos de distribución de etiquetas dinámicos como LDP (Label Distribution Protocol) y RSVP (Resource Reservation Protocol). FEC (Forwarding Equivalence Class) es la representación de un grupo de paquetes que comparten los mismos requerimientos de renvío. En la Figura 7 se encuentra la ilustración de estos conceptos. Coimbra (2010)

Figura 7. Proceso de etiqueta MPLS



Coimbra (2010)

4.2.2 Cabecera MPLS

La cabecera MPLS de acuerdo con Romeral (2007) es el encabezado que se agrega a cada paquete y es llamado “shimheader”. Dicho encabezado

contiene una o más etiquetas, cada etiqueta consiste en cuatro campos que se especifican en la Figura 8.

Figura 8. Cabecera MPLS

```
 0                   1                   2                   3
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                Label                  | Exp |S|       TTL     | Stack
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
```

Griot, Remersaro, &Tucci (2008)

Label: Identificación de la etiqueta, 20 bits
Exp: Uso experimental o QoS, 3 bits
S: Final Del stack, 1 bit
TTL: Time to Live, 8 bits

- Campo Label o Etiqueta: en base a este campo, los LSR pueden efectuar la conmutación. Esta etiqueta es asignada por el enrutador de borde LER de ingreso según parámetros descritos en el LSA. Son los que cambian la etiqueta a lo largo de su recorrido para poder formar un túnel LSP y la última etiqueta es extraída por el enrutador de borde LER de salida.

- Campo Experimental EXP: Campo para uso experimental, pero actualmente se utiliza para transmitir información sobre la prioridad de los paquetes.

- Campo Stacking: Gracias a este campo, se tienen jerarquías de etiquetas. MPLS tiene la capacidad de etiquetar tráfico MPLS de una red vecina con lo que se forma una pila. Toma el valor 1 para la primera entrada en la pila, y cero para el resto.

- Campo TTL Time to Live: Al igual que en el protocolo IP, este campo sirve como un contador del número de saltos para poder evitar la creación de bucles o loops que se puedan generar en el envío de los paquetes etiquetados. Este campo remplaza al TTL de la cabecera IP durante el viaje del datagrama por la red MPLS y es disminuido en una unidad por cada nodo por el que pasa; si llega a cero en algún LSP, será descartado.

4.2.3 Protocolo RSVP

El protocolo RSVP (Resourse reservation protocol) es un protocolo de redes IP creado con el objetivo de guardar recursos que se necesiten en el transcurso de una comunicación entre dos o varios usuarios, este protocolo permite y perfecciona el uso del ancho de banda de los enlaces y de paso acabando con el congestionamiento que se esta generando en ese instante. (Awduche, Berger, Gan, Srinivasan, & Swallow, 2001)

Como RSVP opera a nivel de redes IP junto a los protocolos de transporte se suele confundir su funcionamiento, RSVP reserva los recursos solicitados por los usuarios o que fueron configurados por el gestor de la red y únicamente envía los mensajes que se muestran en la Figura 9, mensajes como path y resv son importantes en la comunicación ya que son los que la establecen. (Awduche, Berger, Gan, Srinivasan, & Swallow, 2001)

Figura 9. Mensajes que envía RSVP-TE

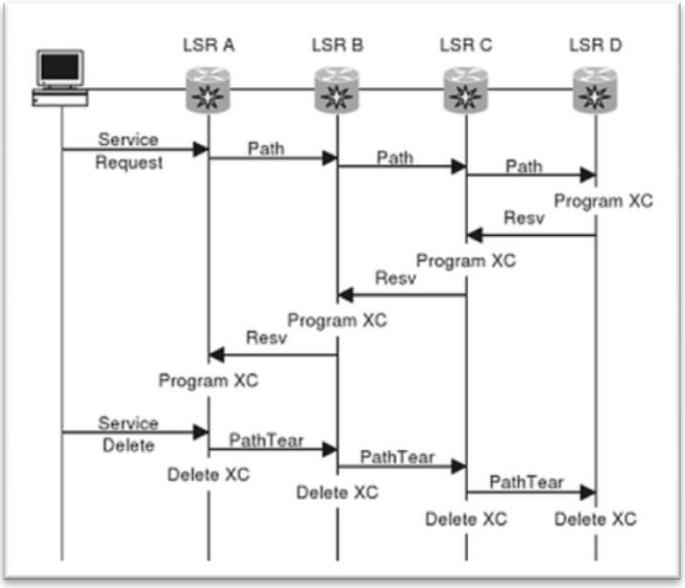
Mensajes						
Path	Resv	ResvConfirm	PathErr	ResvErr	Notify	PathTear

(Romero Ternero, 2009)

La forma de establecer una comunicación de dos o más usuarios utilizando el protocolo RSVP se muestra en la Figura 10, de tal manera que se ingresa a un router de conmutación e inmediatamente se envia un mensaje RSVPpath el cual verifica el estado del enlace y comprobar asi cual el mejor enlace para establecer la comunicación, la respuesta e este mensaje se realiza de tal manera que se envia otro tipo de mensaje RSVPrevs activando su caracteristica como protocolo de señalización, quiere decir que cuando se envia ese mensaje ya esta listo el enlace, los usuarios y los recursos. (Awduche, Berger, Gan, Srinivasan, & Swallow, 2001)

La creación de caminos LSP es la función principal del protocolo RSVP ya que son los caminos que fueron estudiados y analizados por el protocolo para guiar el tráfico de la mejor manera, el protocolo RSVP administra todos los enlaces para así crear caminos los cuales sirven como back up encaso de daño o perdida de conexión. (Awduche, Berger, Gan, Srinivasan, & Swallow, 2001)

Figura 10. Envió de mensajes en la red



(Farrel & Bryskin, 2006)

4.2.4 Balanceo de carga

El balanceo de carga se realiza por medio de los LSP. Balancear carga es una potente herramienta de ingeniería de tráfico en MPLS. Esta herramienta brinda posibilidades de enrutamiento de troncales por distintos enlaces para no afectar el servicio, además permite mejorar el uso de recursos de la red (Belzarena, 2009).

Para realizar balanceo de carga se deben tener en cuenta dos importantes aspectos:

- El algoritmo con el cual se decide los coeficientes de balanceo de carga entre los LSP.

- El mecanismo que se utiliza para asignar los paquetes a uno u otro LSP una vez asignado el algoritmo.

En muchos de los casos el balanceo de carga viene configurado por defecto en la ruta trazada o LSP creando un inconveniente a la hora de reconfigurar y guiar trafico por los demás enlaces (Griot, Remersaro, & Tucci, 2008), la

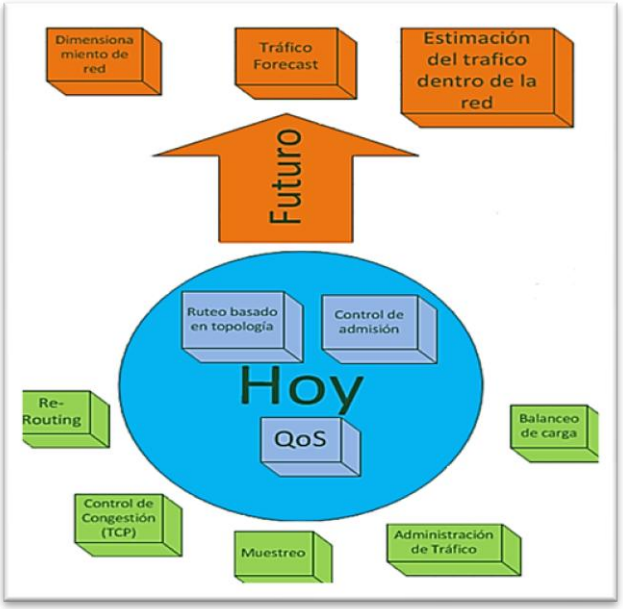
solución que algunos autores proponen son los algoritmos en línea (MATE) y otros han propuesto mecanismos fuera de línea para esto (Belzarena, 2009).

Los algoritmos fuera de línea obtienen formas de cálculo que son adecuadas para una optimización de largo plazo de la red pero que son de difícil aplicación en escalas más cortas. En cuanto a los mecanismos fuera de línea se plantean medir la derivada del retardo con respecto a la capacidad de cada enlace y para tal fin se asumen modelos de los enlaces simples como M/M/1 (Belzarena, 2009).

4.2.5 Ingeniería de Tráfico

Es la unión de diseñar, planear, proyectar y supervisar las redes de telecomunicaciones en las mejores condiciones, basándose en la demanda de servicios. La Ingeniería de Tráfico (TE) es un método que busca la optimización del diseño de las redes operativas, además abarca la aplicación de la tecnología y los principios científicos a la medición, caracterización, modelado, y control del tráfico que circula por la red. Las mejoras del rendimiento de una red operacional, en cuanto a el ahorro de recursos y el control del tráfico, son los principales objetivos de la ingeniería de tráfico (Feldmann, Greenberg, Lund, Reingold, & Rexford, 2000).

Figura 11. Ingeniería de tráfico



Larrosa (2010)

La ingeniería de tráfico puede llegar a tener muchas definiciones y trabajos realizados, buscando soluciones óptimas y económicas para resolver un tipo de problema que se presente en el diseño, implementación y gestión de las redes en este caso la red MPLS; en todas las definiciones encontradas y puntos de vista de autores se nota un patrón a seguir ver Figura 11, donde los problemas básicos en los que se basan hoy en día son dimensionamiento de la red, manejo de los recursos, distribución del tráfico sobre la topología virtual y el control de tráfico.

4.3 ANTECEDENTES

4.3.1 Orígenes MPLS

La red MPLS tiene sus inicios en los años 90 cuando se mezclan dos tecnologías IP y ATM, avance desarrollado por el grupo de trabajo MPLS formado por los integrantes de la IETF. Siendo una red que ofrece una arquitectura orientada a la conexión, dando calidad de servicio con protocolos diseñados para tal fin. El grupo de trabajo MPLS se encargó de promover el uso de la nueva tecnología en las redes IP, actualizando los enrutadores IP, switches ATM, switches Frame Relay para poder soportarla (Diaz D. , 2008).

Una estimación inicial en 1996 era permitir la creación de simples enrutadores de alta velocidad, ya que por un período de tiempo no fue posible enviar paquetes IP totalmente en el hardware. Por lo tanto las ventajas de MPLS principalmente giran en torno a la capacidad de aceptar varios modelos de servicio y realizar la gestión del tráfico. MPLS también ofrece un marco de fuerte recuperación, que va más allá de los anillos de protección simples de la red óptica síncrona como SONET y SDH (Hong, Hong, & Kim, 2006).

4.3.2 Evolución de la ingeniería de tráfico

El Matemático Agner Krarup Erlang en 1917 inventó los campos de ingeniería de tráfico en las telecomunicaciones (González, 2008), dando solución de algunos problemas en centrales telefónicas automáticas, como la relación tráfico-desempeño que describió mediante una expresión cerrada y compacta, la fórmula de ErlangB que se muestra en la Ecuación 1. Erlang B.

Ecuación 1. Erlang B

$$P_B = \frac{\rho^N / N!}{\sum_{n=0}^{N} \rho^n / n!}$$

(Alzate M. A., 2001)

Con Erlang B se calculó la probabilidad de que una llamada fuese rechazada (P_B), cuando hay N circuitos sobre los que los usuarios imponen una intensidad de tráfico ρ, definida como el producto de la tasa de llegada de llamadas por la duración promedio de cada llamada. En el desarrollo de las redes de comunicaciones de los últimos cien años, se han propuesto diferentes aportes como modelos matemáticos, simulaciones, análisis y protocolos, cada uno de los cuales ha resultado útil dentro del contexto particular para el que fue propuesto.

4.4 ESTADO DEL ARTE

Una solución clásica y estandarizada para el transporte de información sobre las redes, es MPLS. Como herramienta de la ingeniería de tráfico logra aumentar la disponibilidad de la red convirtiéndola en un área extensa de investigación, por esta razón en los ámbitos internacional, nacional y local se están realizando estudios en pro al avance de este tipo de tecnología.

En cuanto al panorama internacional se puede mencionar la tesis doctoral titulada “Mecanismos de Protección en Escenarios IP-MPLS multidominio” realizada en la universidad Carlos III de la cuidad de Madrid-España, la cual propone diversas soluciones que permitan obtener y señalizar dos ruta MPLS disjuntos (principal y protección). Para tal fin se debe modificar el protocolo BGP-4 de forma que a los dominios les sea posible tener información de dos AS-PATH´s disjuntos que lleven a otro dominio(Ortega, 2007).

Continuando en el continente europeo hacia el año 2005 la universidad de Sevilla aprobó el proyecto de grado “Implementación de Una Red de Pruebas Para El Análisis del Retardo en Redes de Voz Sobre IP Con Garantías de QoS” realizada por el entonces estudiante Santiago Martin para la obtención del título en Ingeniería Telemática. Este proyecto consistía en verificar en un entorno experimental los valores teóricos del retardo que sufre los paquetes de voz IP en una red de servicios garantizados con MPLS. Los resultados de este estudio muestran que hay ampliación y mejora en el número de códec´s

a utilizar a la hora de enviar las tramas codificadas dentro de los paquetes RTP y que en 7.86% se difieren datos teóricos consultados con los experimentales (Bravo, 2005).

En Estaos Unidos, se publica el articulo “Ingeniería de tráfico con MPLS en el Internet” en la revista IEEE Xplore del año 2000, en este artículo se aborda la ingeniería de tráfico con conmutación por etiquetas multiprotocolo (MPLS) en la red de un proveedor de servicios de Internet, proponiendo un diseño del sistema Global Center basándose en la experiencia de los autores del artículo y procedimiento genérico para la implementación de un sistema de MPLS(Xipeng, Hannan, Bailey, & Ni, 2000). Para el siguiente año la revista IEEEXplore pública “Multiprotocolo de Conmutación Lambda: Tráfico MPLS Combina la Ingeniería de Control con Óptica Cross conectas”. Artículo que describe un enfoque para el diseño de los planos de control óptico para Cross connects que aprovecha las técnicas existentes de plano de control desarrollados para la ingeniería de tráfico en MPLS anteriormente publicadas en la revista IEEEXplore. El enfoque propuesto combina los avances recientes en la ingeniería de tráfico MPLS construcciones del plano de control con la tecnología OXC para proporcionar un marco de tiempo real con el aprovisionamiento de los canales ópticos, para la gestión de redes y las operaciones de control en las redes híbridas y sistemas de interconexión que comprendan OXC´s y enrutadores de conmutación de etiquetas(Awduche & Rekhter, 2010).

En Montevideo Uruguay se llevó a cabo un estudio que introduce a fondo el concepto del protocolo MPLS y su relación que tiene con la QoS y su funcionalidad dentro de la red más grande que existe que es internet y de esta manera proponer una arquitectura que permita realizar ingeniería de tráfico en línea y asegurar que la calidad de servicio se encuentre en todo el dominio del protocolo MPLS, éste trabajo de maestría tuvo por nombre “Ingeniería de Tráfico en Línea en Redes MPLS Aplicando La Teoría de Grandes Desviaciones“ siendo aprobada por la Universidad de la República Montevideo(Belzarena, 2009).

Otra investigación también realizada por la Universidad de la República Montevideo es “Ingeniería de Tráfico en Tiempo Real Sobre MPLS Implementación en un Ambiente Linux”, aquí se instaló una red de computadores bajo entorno Linux, agregando stack de protocolos de red la capa MPLS. Para ello se utilizó paquetes MPLS-Linux brindado por el sitio web Source Forje y mediante un algoritmo MATE de reparto de carga y se estudió su performance, de esta forma se creó un algoritmo de enrutamiento

para el transporte de los paquetes MPLS sobre Linux (Griot, Remersaro, & Tucci, 2008).

En cuanto a Colombia la Universidad UniCartagena hace el aporte "Integración de Los Protocolos FhamIPv6 y MPLS Para Proveer Calidad De Servicios en Redes Móviles Ad-Hoc" que plantea aprovechar el espacio de direcciones, y asi mejorar la compatibilidad para generar calidad de servicio, la configuración de direcciones con y sin estado características que proporciona FhamIPv6 y de esta forma integrar las redes ad hoc con las redes IP fijas, para realizar esa implementación se utilizó la plataforma modular de desarrollo de algoritmos para enrutadores llamada Click(Perea, 2012).

En el ámbito local la Universidad Distrital Francisco José de Caldas ha llevado a cabo dos relevantes investigaciones en el nivel académico de maestría, en Ciencias de la Información y las Comunicaciones. La primera de ellas "Nivel de desempeño en redes IPv4 con respecto a redes IPv6 con MPLS y RSVP". El objetivo de esta investigación fue ser punto de referencia para el estudio de la ingeniería de Tráfico (TE) basada en la nueva versión de IPV6 (para el caso de Colombia) específicamente en redes MPLS y protocolo RSVP, teniendo en cuenta las consideraciones pertinentes a la hora de tomar decisiones con respecto a la estabilidad del backbone y siendo la clave para proveedores de servicios de Internet que últimamente han estabilizado su infraestructura con IPV4(Peña, 2010). En segundo lugar la investigación titulada "Estado del Arte de MPLS-TP" éste estudio desglosa la estructura y funcionamiento de MPLS-TP, partiendo de su tecnología antecesora MPLS (MPLS-T, GMPLS), para luego analizar las diferencias que hay entre cada una de ellas y encontrar las características que hacen de MPLS-TE una opción para las redes de siguiente generación (Pinzón, 2011).

El trabajo más significativo encontrado y en relación con este proyecto fue el de Matsui, Kaneda & Matsuda (Matsui, Kaneda, & Matsuda, 2010), quienes basados en una red MPLS evalúan, haciendo uso de la Ingeniería de Tráfico; cómo una arquitectura de red centralizada, es más rápida que una red distribuida, y como este concepto aplicado en una red a gran escala, permite hacer más eficiente el uso de los recursos de la red.

Dos trabajos que se acercan y tienen relación con lo que se desea investigar, es el propuesto por Donoso et al. (Donoso, Fabregat, Marzo, & Calle, 2009), quienes trabajaron sobre el funcionamiento de aplicaciones Multicast IP sobre una red MPLS, sin embargo solamente analizaron el comportamiento

de los retardos de propagación en los flujos de datos, observando comparativamente los resultados con y sin calidad de servicio, y el propuesto por Rahman, et al. (Rahman, Kabir, Lutfullah, Hassan, & Amin, 2008) quienes presentaron una comparación de los protocolos de señalización CR-LDP y RSVP-TE en una red tradicional versus una red MPLS, analizando específicamente la calidad de servicio.

Otros trabajos encontrados con relación a la presente investigación son:

- Delfino, Rivero & San Martín (Delfino, Rivero, & San Martín, 2007) presentan una herramienta de software capaz de diseñar la topología de la red mediante una interfaz gráfica, visualizar el estado actual de la red por medio de varias herramientas implementadas, y proponen algunos algoritmos para el establecimiento de LSPs. El algoritmo implementado se basa en Ingeniería de Tráfico, y es mostrado en un entorno de red MPLS.

- Spainhower et al. (Spainhower, Butts, Guernsey, & Shenoi, 2008) examinan la seguridad y el impacto que tienen los grandes volúmenes de información a través de una red MPLS utilizando como protocolo de señalización RSVP-TE.

- Peterkin & Ionescu (Peterkin & Ionescu, 2006), realizan el diseño de un Hardware y un Software para MPLS usando RSVP-TE como protocolo de señalización, que introduce un FPGA para descargar al equipo de capa 2 o 3 de esa función y realizarlo mediante hardware.

- Huerta, Calderón & Hesselbach (Huerta, Calderón, & Hesselbach, 2006), presentan una simulación de una red MPLS para optimizar el ancho de banda en un LSP (Label Switched Path), utilizando un algoritmo propuesto.

- Suncheul, Jaehyung & Byung-ho (Suncheul, Jaehyung, & Byung-ho, 2005), presentan una forma de implementar el protocol RSVP en una red MPLS de forma escalable y eficiente para garantizar la calidad de servicio en aplicaciones como voz y servicios de streaming.

- Jin et al. (Jin, Lung, Xia, Srinivasan, & Yi, 2005) proponen un mecanismo de autenticación en los protocolos RSVP y RSVP-TE en una red IP que utiliza MPLS, basándose específicamente en el aspecto de seguridad.

Lo anterior, muestra que existen varios trabajos que dan respuestas a temas relacionados con la propuesta de este trabajo, sin embargo no se ha encontrado ninguna evidencia que relacione los protocolos propuestos para evaluación, en un solo trabajo, como es el caso. Cabe anotar que el trabajo propuesto busca dar continuidad a trabajos previos, y de los cuales han surgido artículos ya conocidos por la comunidad académica, como en el que se basa este proyecto (Hernández, López, 2010). La búsqueda se realizó sobre las principales bases de datos conocidas internacionalmente como IEEE, ACM, Scopus, etc.

5. LIMITACIONES Y ALCANCES

5.1 LIMITACIONES

La limitación principal se encuentra en el software de simulación OMNet++ utilizado en el presente proyecto, es necesario tener a nivel hardware como mínimo un procesador Pentium de 1 GHz, 256 MB de memoria RAM y 200 MB de espacio libre en el disco duro, de capacidad del equipo de computo en el que se ejecuta, por esta razón, de acuerdo al rendimiento del equipo, no se establecieron escenarios que contaban con más de 70 usuarios, lo que provocaría una saturación de la memoria, afectando directamente la confiabilidad de los resultados obtenidos y su posterior análisis.

5.2 ALCANCES

El alcance de este proyecto es realizar un estudio comparativo del protocolo RSVP-TE con y sin calidad de servicio, basado en una simulación de la red MPLS con usando la herramienta de simulación OMNet++.

El proceso investigativo se centró en la aplicación del protocolo RSVP-TE, por lo anterior, solo se aplicó en los escenarios de simulación de las redes MPLS.

Los escenarios de simulación están enfocados en el estudio del ancho de banda y retardos de los enlaces, en estos no se incluyeron parámetros físicos tale como: características de energía, propias de estos equipos en escenarios reales.

6. DISEÑO METODOLÓGICO

6.1 METODOLOGÍA

Para encontrar la documentación necesaria que valida los procesos que se realizan dentro de este proyecto, se hace una investigación descriptiva; por otro lado se hace uso de la investigación experimental, que soporta el uso de una simulación para ejecutar las pruebas pertinentes que se realizan dentro del proyecto para obtener los datos que luego serán analizados y estudiados para concluir sobre los mismos.

6.1.1 Fases de procedimiento

En la primera fase se buscará encontrar un software de simulación que permita el montaje de redes MPLS, bajo el protocolo dispuesto. Para esta fase se van a revisar las propuestas de otros autores y las herramientas que ellos utilizaron, para seguir el camino de alguno de ellos si es el caso. Se espera explorar con nuevos simuladores, ojalá de tipo libre y sobre plataformas abiertas.

En la segunda fase se definirá la topología a simular, se probará con alguna aplicación sencilla de tipo Multicast o Unicast que haga prever que la topología sea confiable. Luego se verificará que el protocolo RSVP-TE funcione sobre el modelo, y se realizaran los ajustes necesarios de la topología para dejarla en firme.

La tercera fase será dedicada a la simulación específica para la recolección de datos, teniendo en cuenta que se espera contar con trazas de simulación para los tres escenarios de prueba, con los protocolos ya probados y con la aplicación multicast.

La fase final está dedicada al análisis de los resultados, donde se buscará analizar las ventajas y desventajas del protocolo sobre la aplicación multicast. Lo anterior, valiéndose de los datos recopilados, para luego hacer una evaluación comparativa y así buscar explicaciones que permitan entender como los recursos fueron asignados y así abrir caminos para nuevos investigadores interesados en el tema.

6.2 INTRUMENTOS

Como se ha citado anteriormente, las herramientas principales son los programas: VirtualBox, Omnet++ y MATLAB, así como la documentación involucrada en la investigación.

VirtualBox es un software de virtualización para arquitecturas x86/amd64, por medio de esta aplicación es posible instalar sistemas operativos adicionales, conocidos como “sistemas invitados”, dentro de otro “sistema operativo anfitrión”, cada uno con su propio ambiente virtual.

Omnet++ es una herramienta de simulación que permite crear ambientes virtuales en donde los datos obtenidos son muy cercanos a los reales, debe ser ejecutado sobre el sistema operativo Linux/Ubuntu.

MATLAB es una herramienta para análisis matemático y se utilizara para, en lo posible, analizar las trazas arrojadas por el simulador Omnet++ después de correr cualquier iteración en la red simulada.

Para el desarrollo del proyecto puede ser necesario el uso de otras herramientas, como software especializado para cálculos matemáticos entre otros.

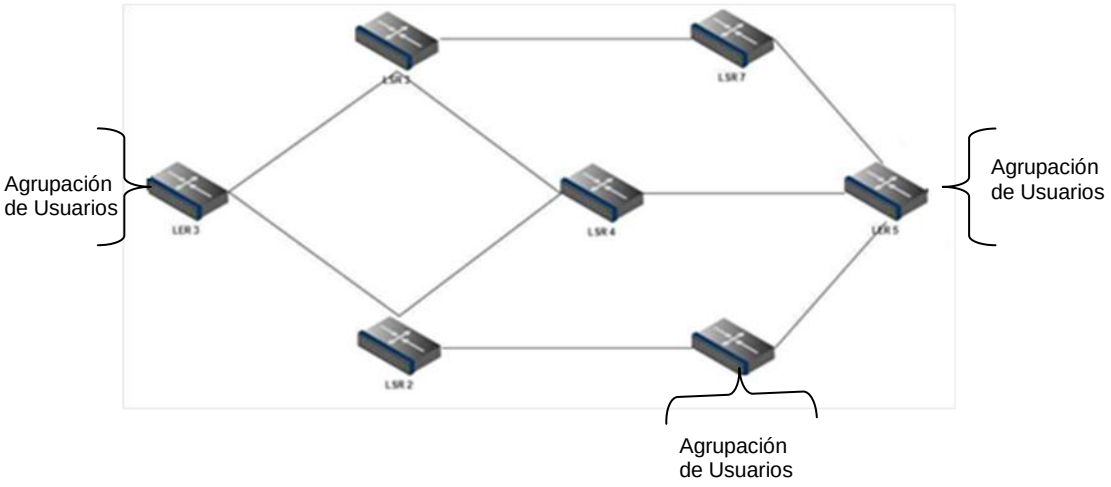
7. DESARROLLO

7.1 DISEÑO DE LA TOPOLOGÍA

De acuerdo a lo planteado en el primer objetivo especifico del presente proyecto de investigación, se diseñó el escenario a simular, que incluía una topología de red en estrella, conforme a las condiciones actuales de esta tecnología, el cual se muestra en la Figura 12.

Dentro de las topologías mencionadas en la sección 4 se encuentra la topología en forma de estrella. Esta topología fue la adaptada al trabajo de investigación, con un nodo central al cual se conectan los demás enlaces, para tener una confiabilidad de conexión en caso de pérdida de cualquiera de estos enlaces. Se escogen en total siete enrutadores pues es el mínimo de elementos para un buen diseño, puesto que es necesario que exista dos LER y un LSR para cumplir con las características mencionadas en la sección 4.2.1, la conmutación de etiquetas que es lo que se requiere en una red MPLS y en la topología creada. Se adicionan 3 LSR y 1 LER para involucrar más usuarios

Figura 12. Interfaz gráfica del editor de red NED

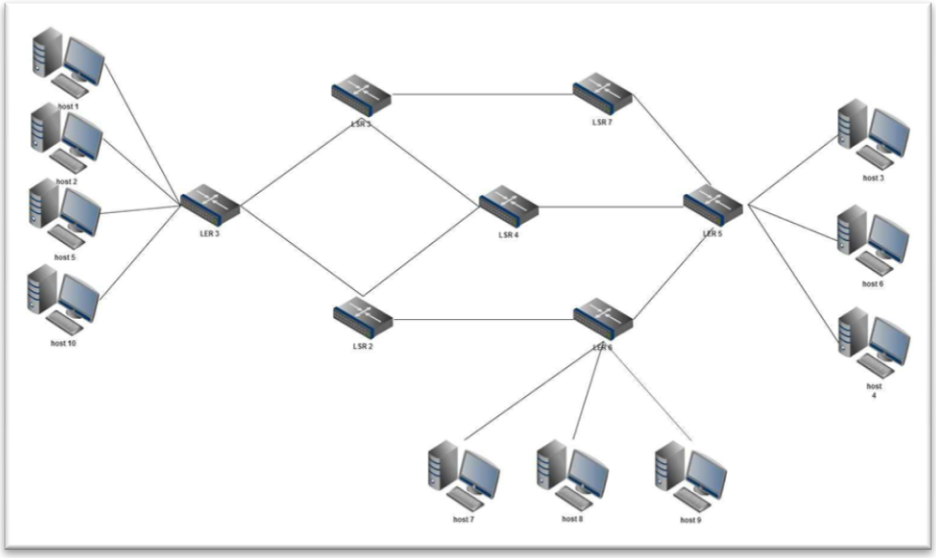


(Simulación, 2014)

Se proponen tres escenarios de simulación, y en cada uno se varía la cantidad de usuarios, lo anterior para verificar que la red MPLS puede tener

características de una topología escalable y así evaluar el rendimiento conforme a esta tecnología.

Figura 13. Diseño red MPLS de Diez usuarios

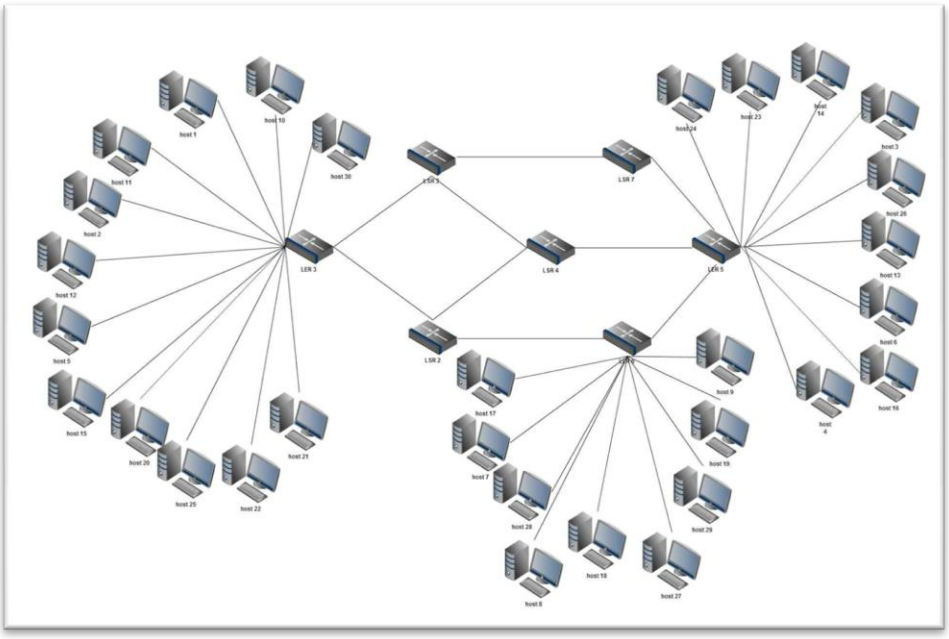


(Simulación, 2014)

En las Figura 13, Figura 14 y Figura 15 se muestra el diseño de las topologías de tres diferentes redes usando el protocolo MPLS, que varían según el tamaño de usuarios (tráfico), los diseños fueron creados basados en las exigencias MPLS según ITU-T(2011), se pueden encontrar:

- Establece un estado de la comunicación entre dos nodos
- Orientado a la conexión
- Mantiene circuitos virtuales
- Escalabilidad en tamaño

Figura 14. Diseño red MPLS de treinta usuarios



(Simulación, 2014)

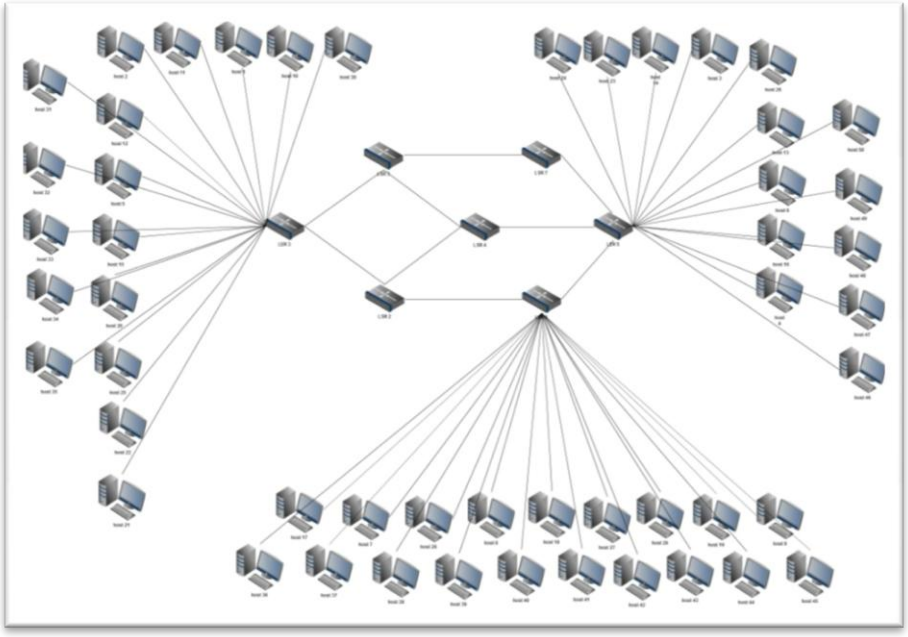
La IEEE[7], hace un aporte en el estudio de la red MPLS en cuanto a la eficiencia en él envió de los paquetes IP. Por otra parte en las figuras anteriormente mencionadas se puede apreciar la presencia de elementos como LER y LSR; en todos los diseños existen tres y cuatro componentes respectivamente, dejando así que el tamaño de la red sea establecido por cantidad de usuarios que varía entre 10, 30 y 50 usuarios dentro de cada modelo de red.

Igualmente estos diseños partieron del artículo “Design and Implementation of MPLS Network Simulator up porting LDP and CR-LDP”, de la revista indexada citada.

El número de nodos afecta el tránsito del tráfico en la red, puesto que el envío de los paquetes requiere un tiempo de procesamiento en los nodos, lo cual hace que la asignación de recursos influya en flujos de tráfico sobre la red MPLS

[7] La revista indexada, the proceedings of the IEEE international conference of networks (ICON00) 0-7695-0777-8/00 Year 2000 IEEE

Figura 15. Diseño red MPLS de cincuenta usuarios



(Simulación, 2014)

Los anteriores diseños tienen la necesidad de ser simulados, creando escenarios sobre una red MPLS. Se utilizará video Streaming y videoconferencia considerados como el flujo de tráfico; de esta forma se pretende lograr la evaluación de la calidad analizando los datos de las trazas arrojadas por el simulador y aplicando el respectivo análisis propio de esta investigación.

Los escenarios creados anteriormente están implementados y administrados inicialmente bajo el protocolo LDP que hace que los LSR se comuniquen entre si y se indiquen qué etiquetas de los enlaces se han creado. El LSR utiliza este protocolo para establecer las etiquetas de los caminos conmutados sobre la red, mapeando la información de enrutamiento de la capa de red directamente hacia los caminos conmutados de la capa de enlace. Lo anterior se hace con una serie de mensajes que se muestran en la Tabla 2, mensajes de administración de enlace.

Tabla 2. Administración de mensajes

Tipo de mensaje	**Acción**

LDP Hello	Verifica que exista conexión
LDP notify	Confirma el estado del enlace
LDP Label Request	Selecciona los tipos de tráfico FEC
LDP ini	Mensaje para realizar en tiempo real
LDP address	Contiene la IP del emisor y receptor

7.2 CONTRUCIÓN Y SIMULACIÓN DE LA RED

En OMNet++, el modulo “inet.networklayer.mpls” está diseñado con las características propias de las redes MPLS y permite realizar acciones propias de los enrutadores de la red MPLS como son la conmutación y asignación de etiquetas en los paquetes de la red, para ser enviados entre los enrutadores “LSR”, iniciando con la creación y definición de la topología de una red de comunicaciones general, en el que se encuentran elementos como Usuarios (Host), Enrutadores (Router), y medios de transmisión o conexiones que conforman la topología.

7.2.1 Configuración de los Usuarios

Para la simulación fue necesario hacer la respectiva identificación y configuración de la IP del host, teniendo en cuenta que se necesita de un nombre para el usuario, además de otros parámetros como el tipo de dispositivo y la ubicación geográfica dentro de la red.

Tabla 3. Configuración de parámetros físicos de Usuario

host6: StandardHost { // client	Nombre del Usuario
Parameters:	

@display("p=604,171;i=device/pc2");	Ubicación Geográfica
/pc2");	Tipo de dispositivo (puede ser “Server”)

(Simulación, 2014)

La definición de la IP del “host” en OMNeT debe hacerse por separado en un archivo tipo “.rt”, donde se definen las direcciones de la puerta de enlace definida como la interfaz de entrada del enrutador 10.0.1.1 del siguiente salto 10.1.1.1 de acuerdo a la Tabla 4.

Tabla 4. Configuración de direccionamiento lógico de Usuario

Ifconfig:	IP Local
name: ppp0	Nombre de la Interfaz
inet_addr: 10.0.1.1	Dirección IP del “host”
Ifconfigend.	
Route:	Puerta de Enlace
10.1.1.1 * 255.255.255.255 H ppp0	IP local y Mascara de Red de Host
Default:10.1.1.1 0.0.0.0 G ppp0	IP Puerta de Enlace e Interfaz de Enrutador
routeend.	

(Simulación, 2014)

7.2.2 Configuración de los Enrutadores:

Además de los parámetros de configuración de los usuarios como direccionamiento y ubicación física, para los enrutadores es necesaria la definición del número de puertos y la tabla de enrutamiento con las direcciones de red de los usuarios (host) que están directamente conectados al mismo, en el caso de la Tabla 5, para enrutador LSR4 las interfaces que están directamente conectadas son: ppp0, ppp1, ppp2.

Tabla 5. Configuración de direccionamiento lógico de Enrutadores

LSR4: LDP_LSR {	Nombre del enrutador
Parameters:	
peers = "ppp0 ppp1 ppp2";	Interconexión con otros enrutadores
@display("p=331,167");	Ubicación física
Gates:	Puertos
pppg[6];	Numero de Puertos definidos

(Simulación, 2014)

Tabla 6. Definición de tablas de enrutamiento

ifconfig:	Direcciones IP´s
name: ppp0 inet_addr: 10.1.1.1 name: ppp1 inet_addr: 10.1.1.2 name: ppp2 inet_addr: 10.1.1.3 name: ppp3 inet_addr: 10.1.1.4 name: ppp4 inet_addr: 10.1.1.5 name: ppp5 inet_addr: 10.1.1.6 name: ppp6 inet_addr: 10.1.1.7	Definición de las interfaces del enrutador
Ifconfigend.	
route:	Rutas de los usuarios vecinos:
10.1.2.1 255.255.255.255 H ppp0 10.1.3.1 255.255.255.255 H ppp1 10.0.2.1 255.255.255.255 H ppp2 10.0.1.1 255.255.255.255 H ppp3 10.0.3.1 255.255.255.255 H ppp4 10.0.4.1 255.255.255.255 H ppp5 10.1.4.4 255.255.255.255 H ppp6	Definición de las tablas de enrutamiento
routeend.	

(Simulación, 2014)

7.2.3 Conexiones

Para la construcción de la topología diseñada fue necesaria la definición de los canales que interconectan todos los elementos pertenecientes a la red. De acuerdo al software de simulación utilizado, se definieron parámetros que incluían el establecimiento de las dos puntas de cada canal, el retardo y el ancho de banda aplicado. En la Tabla 7 se muestra la configuración de las conexiones es decir los enlaces que une cada enrutador con otro, se encuentran configuraciones de retardo y ancho de banda que fueron asignadas al enlace que se encuentra ente el LSR 1 y LSR 2 cada uno por las interfaces ppp 0.

Tabla 7.Configuración de conexiones

connections:	
LSR1.pppg[0] <-->	Elemento y puerto de extremo 1
delay = 20ms;	Retardo del Canal
datarate = 600kbps; }	Ancho de Banda
<--> LSR2.pppg[0]	Elemento y puerto de extremo 2

(Simulación, 2014)

7.2.4 Etiquetado

Cuando un paquete es transmitido, el modulo de MPLS extrae la información de la interfaz de entrada junto a la del enrutador origen, para buscarlo en el archivo “LSR_lib.xml”, si la interfaz de salida es encontrada el modulo hará la operación apropiada etiquetando nuevamente el paquete de salida, para ser reconocido por su nuevo vecino, en la Tabla 8 esta la configuración de la etiqueta 302 y la acción “swap” que realiza el enrutador sobre la etiqueta.

Tabla 8. Configuración de etiqueta en MPLS en OMNet++

<libentry>	
<inLabel>302</inLabel>	Etiqueta de entrada

<inInterface>ppp3</inInterface>	Interfaz de entrada
<outInterface>ppp5</outInterface>	Interfaz designada de salida
<outLabel>	
<opcode="swap"value="204"/>	Asignación de la nueva etiqueta de salida
</outLabel>	
<color>200</color>	
</libentry>	

(Simulación, 2014)

La definición de estos archivos se realizó en cada uno de los enrutadores que pertenecían a la red diseñada en los escenarios de simulación, aplicando la señalización de etiquetas dentro de la red.

7.2.5 Datos para analizar

Los datos que van a ser analizados son aquellos que resultan de la simulación en un archivo adicional y aparecen de la forma: " droppedPkWrong Port: count, endToEndDelay: histogram: mean, packetssent, packetsreceived, queueLength: max", en el orden respectivo se entienden como: paquetes perdidos, retardo, paquetes enviados, paquetes recibidos y tamaño máximo de la cola, un ejemplo de estos datos luego de una simulación se muestra en la Tabla 9. Se interpreta de estos resultados que en el LSR7 el contador de los paquetes perdidos es igual a 20, en el host 1 por la interfaz ppp0 se enviaron 2001 paquetes y se recibieron 1191.

Tabla 9. Datos a analizar

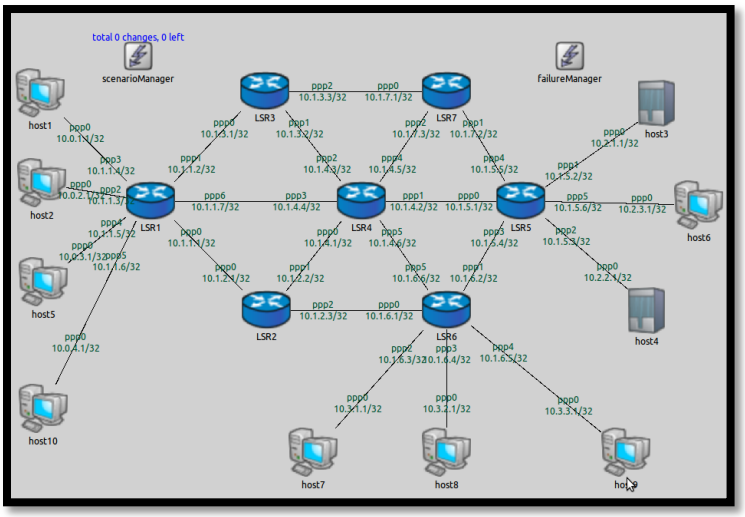
RSVP-TEsQoS.LSR7.udp	droppedPkWrongPort:count	20
RSVP-TEsQoS.host1.udpApp[0]	packetssent	2001
RSVP-TEsQoS.host1.udpApp[0]	packetsreceived	1191

(Simulación, 2014)

Las topologías que fueron creadas en la sección 7.1 fueron implementadas en OMNet++ como se muestran en la Figura 16, Figura 17 y Figura 18 en

cada una de las figuras se observa que cada componente de la red se identifica por su dirección IP y cada enlace se conecta por medio de una interfaz a cada uno de los componentes.

Figura 16. Simulación red MPLS de diez usuarios



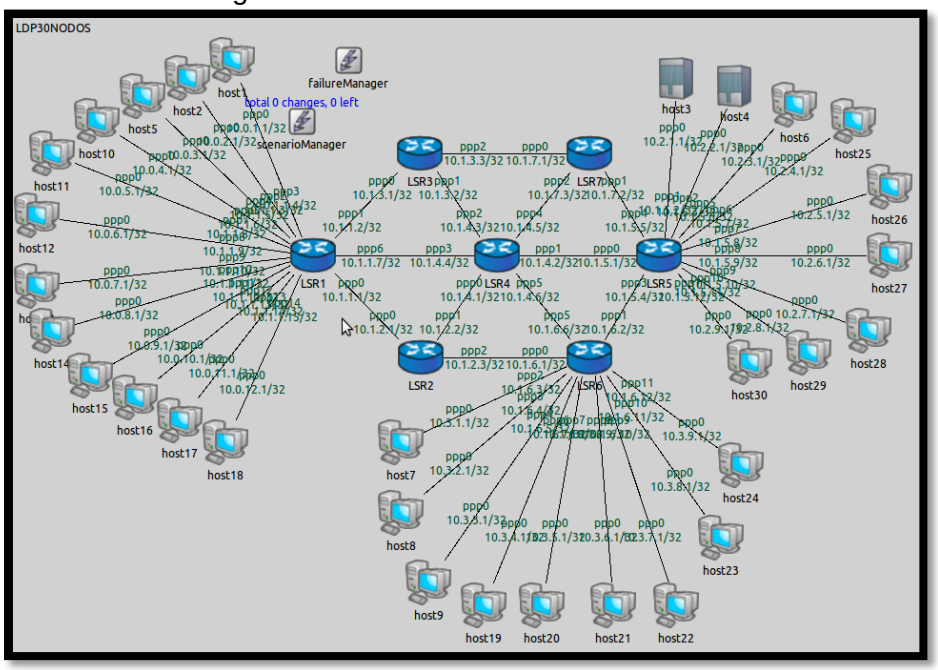
(Simulación, 2014)

Para el caso del host 10 en la Figura 16 se le asigna una dirección IP 10.0.4.1 con mascara 32 y una interfaz para recibir y enviar paquetes denominada ppp0 que se conecta al LSR 1 por medio de la interfaz ppp5 y la dirección IP 10.1.1.6 y mascara 32.

La diferencia entre cada una de las topologías mostradas en la Figura 16, Figura 17, y Figura 18 es la cantidad de nodos porque las direcciones IP fueron reutilizadas como se muestra en la Figura 17 que el enrutador LSR 3 por la interfaz ppp0 se utiliza la dirección IP 10.1.3.1 con mascara 32 y en el host 7 se utiliza la misma interfaz, mascara y dirección IP.

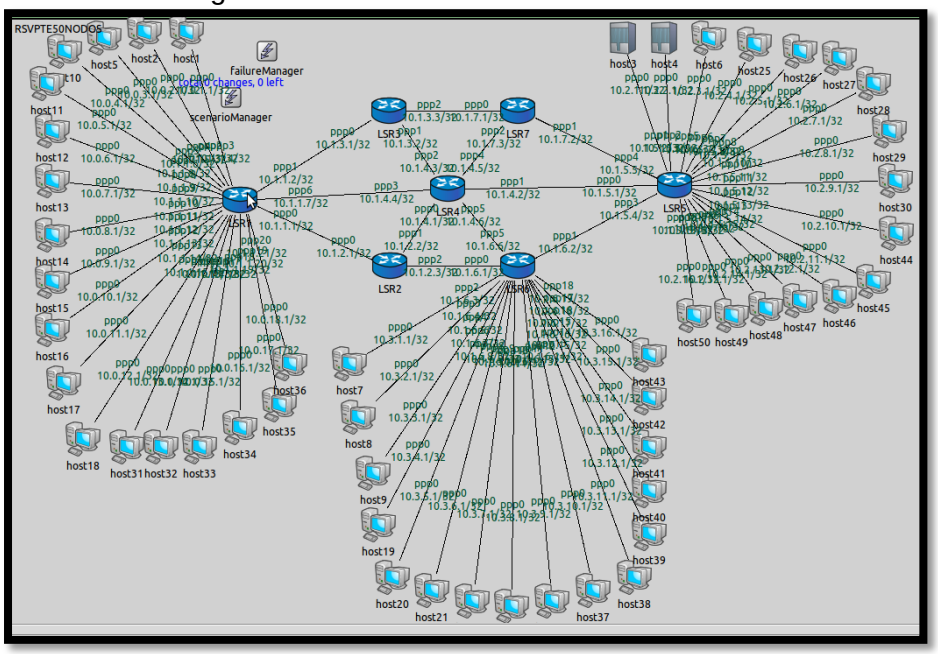
Dentro de la carpeta de la simulación, en el entorno de Omnet++ y donde están descritas las topologías se deben adicionar archivos cada uno con las tablas de enrutamiento de cada componerte de la red MPLS, para el caso de la Figura 16 se adicionaron 37 archivos que pertenecen a cada componerte y contiene la tabla de enrutamiento del mismo, es decir que para el host 2 debe incluir al LSR1 dentro de su tabla de enrutamiento.

Figura 17. Red MPLS de treinta usuarios



(Simulación, 2014)

Figura 18. Red MPLS de cincuenta usuarios



(Simulación, 2014)

7.3 PROTOCOLO RSVP-TE SOBRE OMNET++

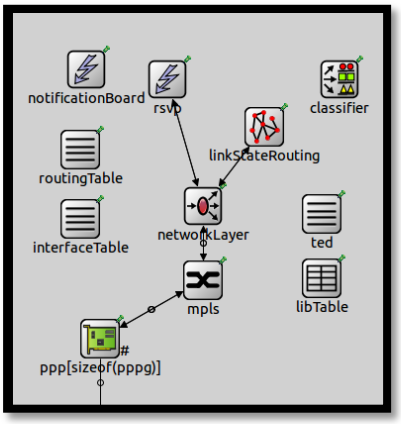
De acuerdo a lo planteado en el tercer objetivo del presente proyecto de investigación, se aplicó en los escenarios descritos anteriormente el protocolo RSVP-TE. Este protocolo instala etiquetas y reserva los caminos sobre los enrutadores LSR, y así permite optimizar el rendimiento y utilización de los recursos generando mayor confiabilidad a la red MPLS.

Para realizar esta tarea, se configuro en OMNet++ el módulo INET aplicando la librería RSVP, por medio de la instrucción "importinet.networklayer.rsvp_te.RSVP", figura 19, este módulo cumple con su función de balanceo de cargas por medio de cuatro tipos de mensajes:

- RSVPPathMsg: Tiene la información del host origen y destino
- RSVPPathTear: Tiene información del próximo salto en la red
- RSVPPathError: Informa sobre el error en la recepción del paquete al host origen
- RSVPResvMsg: Informa la correcta recepción del paquete, al host origen

El modulo principal de la Figura 19 es el network layer ya que de él parten los demás módulos, necesarios para realizar la simulación; dentro de ellos se nota que se agrega el modulo MPLS y RSVP.

Figura 19. Modulo RSVP-TE en OMNet++



(Simulación, 2014)

Los demás parámetros de configuración tanto de los usuarios como de los enrutadores serán iguales a los enunciados en los numerales anteriores, con el fin de mantener las características de los escenarios y así llegar a conclusiones congruentes con respecto al comportamiento de la red y el respectivo análisis del protocolo analizado, los resultados serán tratados en el siguiente numeral de "Pruebas y Resultados".

7.4 ANÁLISIS DE LA TRAZA

Cuando se finaliza la compilación de las simulación los resultados se pueden observar en un archivo que OMNet++ tiene para presentar los resultados de la misma, estos resultados se analizan con los parámetros descritos en la anterior sección y son tratados por medio del software matemático MATLAB, se realiza creando un código, el cual interpreta los resultados y los grafica de forma ordenada.

Se propone la configuración del paquete como aparece en la Tabla 10, adicionando 32 bits a la cabecera IP para hacer la conmutación de etiquetas y que se vea reflejado en la trazas que el simulador presenta como resultado de la simulación

Tabla 10 Configuración del paquete

Configuración del paquete									
Cabecera MPLS				**Cabecera IP**					**Carga en bits de video**
32 bist				32 bits					64 bits
Label	Exp	S	TTL	Versión	Tamaño de cabecera	Tipo de servicio	Longitud total		
20 bits	3 bits	1 bit	8 bits	4 bits	4 bits	8 bits	4 bits	12 bits	
				Dirección IP Origen					
				Dirección IP Destino					

(Simulación, 2014)

Los parámetros que se tendrán en cuenta serán aquellos que propone la ITU-T en las recomendaciones Y.1540 Y.1541, respectivamente paquetes transferidos y clases de tráfico en este caso clase 0-1 que define aplicaciones en tiempo real. Los datos que se obtendrán con las pruebas serán comparados con las clases que en estas recomendaciones se explican así como los parámetros a cumplir en cada una de estas clases.

Se podrá dar como conclusión a que aplicaciones se le puede dotar de los tiempos y/o retardos necesarios para su correcta transmisión, las topologías en las que las implementaciones de las arquitecturas son apropiadas así como que parámetros se pueden cumplir en las mismas. Se espera un resultado positivo es decir aumento en los paquetes enviados y menor

tiempo de estos dentro de la red, se pretende proporcionar una base para estudios de topologias que tengan la capacidad de proporcionar calidad de servicio (QoS).

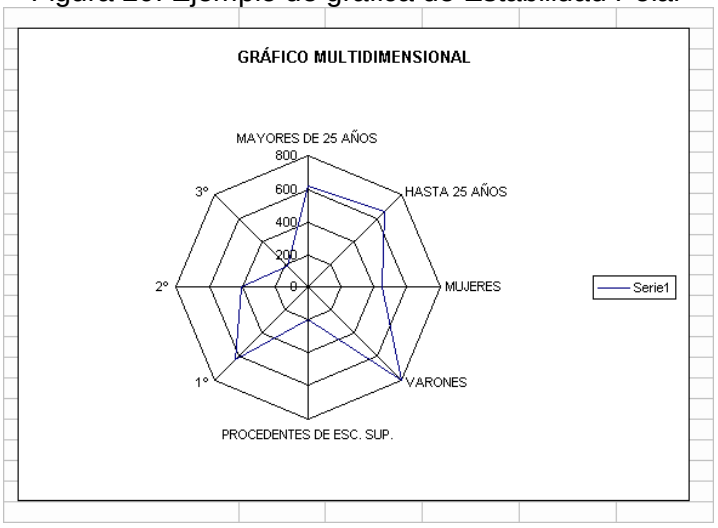
7.5 ANÁLISIS GRÁFICO EN MATLAB

Partiendo de las trazas resultantes de las simulaciones implementadas en OMNet++, se ingresaron en forma de vectores al programa de análisis matemático MATLAB el cual permitió mediante graficas polares determinar en qué casos se presenta uniformidad en el uso de recursos de la red, es decir balanceo de cargas, analizado en el presente Proyecto de Investigación. Anexo B

El análisis de varianzas es el método que se usa para comparar el rendimiento del protocolo sobre la red, descrito en la sección 4.2; utilizando los resultados que se reflejan en las gráficas, para verificar en que caso se optimiza la transmisión de paquetes en los tres escenarios propuestos en la sección 7.1.

En la Figura 20 se muestra un plano en coordenadas polares el cual se va a usar para comparar los datos que se obtengan en las simulaciones y así verificar la efectividad con la que actúa el protocolo RSVP-TE.

Figura 20. Ejemplo de gráfica de Estabilidad Polar



(De rezende costa & Bergamin, 2007)

7.6 PLAN DE PRUEBAS

Se define un plan de pruebas que comprende un total de seis casos, es decir cada una de las simulaciones donde se varió la cantidad de usuarios de la red, la cantidad de receptores de la aplicación que se está transmitiendo como se muestra a continuación en la Tabla 11:

Tabla 11. Parámetros globales

Objetivo de la prueba	Numero de nodos	RSVP-TE	Servidores con aplicación Multicast	Receptores
Evaluar la asignación de recursos en una red MPLS con el protocolo RSVP-TE de una aplicación Multicast	10	Activado	1	4
		Desactivado		
	30	Activado	1	8
		Desactivado		
	50	Activado	1	16
		Desactivado		

(Simulación, 2014)

8. PRUEBAS Y RESULTADOS

Para el desarrollo de los objetivos de la investigación donde se diseñan y simulan los escenarios de prueba para llegar a la evaluación del balanceo de carga y ancho de banda de una red MPLS usando el protocolo RSVP-TE, analizando los resultados obtenidos, se tendrá en cuenta el plan de pruebas diseñado en la sección 7.6.

8.1 RECURSOS

Para el desarrollo de los escenarios de pruebas propuestos en este enunciado se emplea la herramienta OMNet++ con el uso del módulo INet predeterminando la implementación de redes MPLS, y obtención de las trazas donde se configuran los parámetros de la red basada en las especificaciones de las planteadas en la RFC 3031.

Para un posterior análisis y visualización de los resultados que se obtienen en forma de trazas, se implementa un algoritmo basado en los datos para analizar que se propusieron en la sección anterior y se desarrolla en el software matemático MATLAB

8.2 BITÁCORA DE PRUEBAS

8.2.1 Escenario 1: Diez nodos

8.2.1.1 Objetivo

Analizar el comportamiento de la red MPLS utilizando el protocolo RSVP-TE en una red de diez usuarios, buscando transmitir una aplicación multicast y observar el estado de los enlaces de la red.

8.2.1.2 Parámetros de configuración

Se asigna un ancho de banda de 600k para cada enlace, ya que es suficiente para administrar una red por la cual se transmite una aplicación Multicast gracias a la configuración que se asignó al paquete en la sección anterior. El archivo de la simulación se encuentra en anexos digitales con el nombre de simulaciones.

Tabla 12. Parámetros de escenario 1

BW	600k
Host Generador	1
Host Receptores	3,4,5,7
intervalo de envio	0,01s
Tiempo de simulación	3600s
Protocolo de transporte	UDP
Número de Nodos	7
Numero de Usuarios	10
Datarate	600kbps

(Simulación, 2014)

8.2.1.3 Resultados esperados

Para el escenario con el uso del protocolo RSV-TE se espera que el número de paquetes transmitidos sea mayor con respecto al escenario donde no se utiliza, y que la carga sea distribuida equitativamente en los enlaces.

Lo anterior se debería presentar debido al balanceo de cargas configurado en el protocolo RSVP-TE, evitando congestión en algunos canales y permitiendo mayor confiabilidad en los enlaces.

8.2.1.4 Resultados obtenidos

Luego de analizar las trazas en MATLAB se generaron tres vectores, uno con los paquetes dentro del enlace, otros con los paquetes perdidos y por último la ocupación de los enlaces. Los buffers en este escenario estaban en un rango de 1 a 5 siendo 5 el resultante mayor de paquetes en la red. En la Tabla 13 el número de eventos y el tiempo de simulación son obtenidos cuando finaliza la simulación dentro de OMNet++.

Tabla 13. Estado de los enlaces LDP

	Sin RSVP-TE		
Número de eventos	45'275.265		
Tiempo de simulación	3600s		
Estado de Paquetes	Paqutes dentro del enlace	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace
Enlace 1	3614	0	0,008205233
Enlace 2	723588	0	1,642835769
Enlace 3	363600	0	0,825518231
Enlace 4	3604	0	0,008182529
Enlace 5	3604	0	0,008182529
Enlace 6	3613	0	0,008202963
Enlace 7	362603	0	0,82325464
Enlace 8	3600	0	0,008173448
Enlace 9	723600	0	1,642863013
Enlace 10	3600	0	0,008173448
Enlace 11	3614	0	0,008205233
Enlace 12	3613	0	0,008202963
Total de Paquetes en la red	2202253		

(Simulación, 2014)

Se realizaron dos tipos de análisis uno implementado con el protocolo RSVP-TE y otro con el protocolo nativo LDP, la comparación de estos dos resultados se muestra en la Tabla 15, adicionando una columna que presenta el porcentaje de efectividad, para el presente escenario el porcentaje de efectividad es de 44.0074. El anterior valor se obtiene tomando como referencia el 100% del total de paquetes en la red y haciendo la diferencia de los dos porcentajes obtenidos en cuanto a los paquetes enviados en cada protocolo.

Tabla 14. Estado de los enlaces RSVP-TE

	Con RSVP-TE		
Número de eventos	49'286.882		
Tiempo de simulación	3600s		
Estado de Paquetes	Paqutes dentro del enlace	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace
Enlace 1	36034	0	0,036003196
Enlace 2	359998	0	0,359690249
Enlace 3	756038	0	0,755391687
Enlace 4	756022	0	0,755375701
Enlace 5	756026	0	0,755379697
Enlace 6	756032	0	0,755385692
Enlace 7	36037	0	0,036006193
Enlace 8	0	0	0
Enlace 9	36031	0	0,036000198
Enlace 10	719995	0	0,719379499
Enlace 11	756024	0	0,755377699
Enlace 12	36041	0	0,03601019
Total de Paquetes en la red	5004278		

(Simulación, 2014)

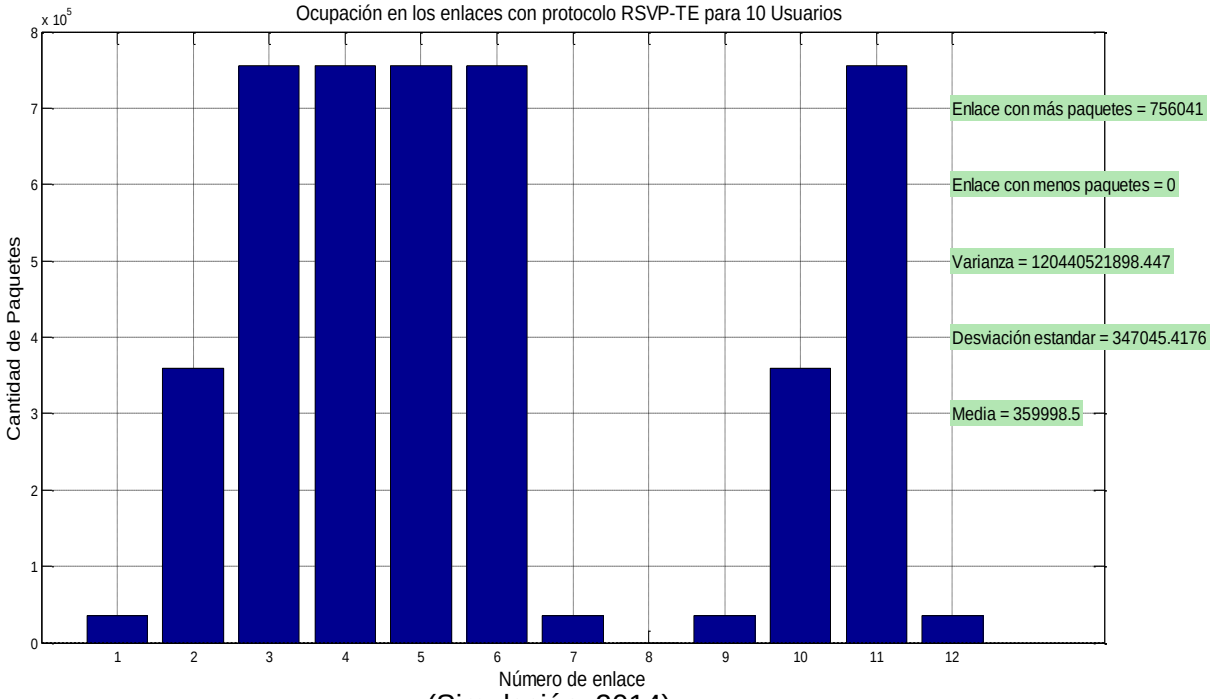
Tabla 15. Comparación de Eficiencia

	Sin RSVP-TE			***Con RSVP-TE***			
Número de eventos	45'275.265			49'286.882			
Tiempo de simulación	3600s			3600s			
Estado de Paquetes	Paqutes dentro del enlace	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace %	Paqutes dentro del enlace	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace %	Porcentaje de efectividad
Enlace 1	3614	0	0,008205233	36034	0	0,036003196	
Enlace 2	723588	0	1,642835769	359998	0	0,359690249	
Enlace 3	363600	0	0,825518231	756038	0	0,755391687	
Enlace 4	3604	0	0,008182529	756022	0	0,755375701	
Enlace 5	3604	0	0,008182529	756026	0	0,755379697	
Enlace 6	3613	0	0,008202963	756032	0	0,755385692	
Enlace 7	362603	0	0,82325464	36037	0	0,036006193	
Enlace 8	3600	0	0,008173448	0	0	0	
Enlace 9	723600	0	1,642863013	36031	0	0,036000198	
Enlace 10	3600	0	0,008173448	719995	0	0,719379499	
Enlace 11	3614	0	0,008205233	756024	0	0,755377699	
Enlace 12	3613	0	0,008202963	36041	0	0,03601019	
Total de Paquetes en la red	2202253			5004278			44,0074073

(Simulación, 2014)

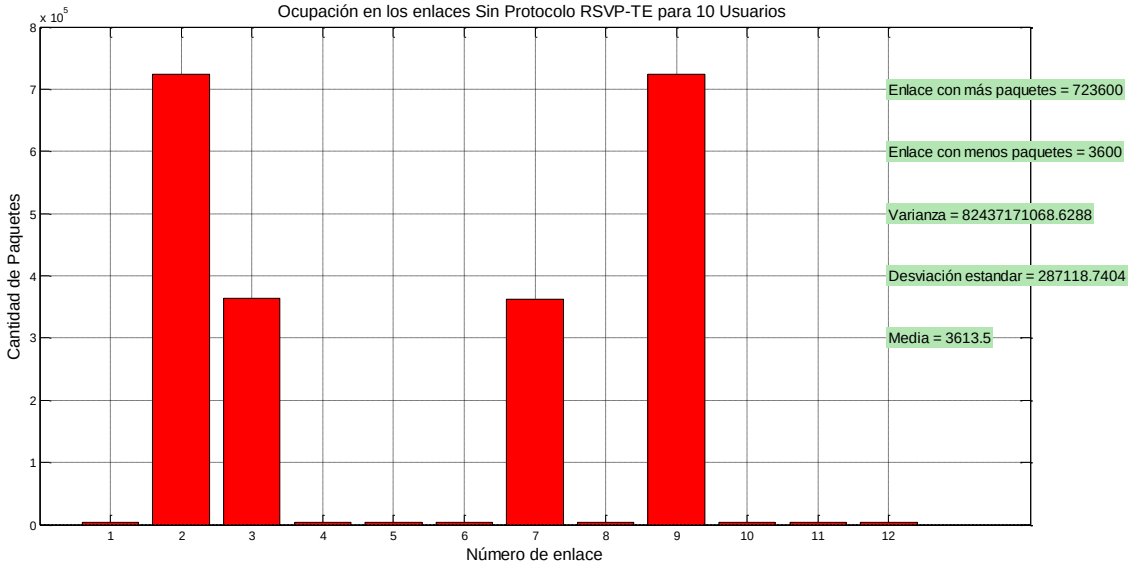
Siguiendo con la obtención de resultados se presentan en la Figura 21, Figura 22 y Figura 23 que fueron realizadas con MATLAB y mediante el código fuente que se encuentra en el Anexo B, la Figura 23 es una extensión de la Figura 21 y la Figura 22 para poder comparar visualmente la efectividad de la red cuando se usa el protocolo RSVP-TE.

Figura 21. Balanceo de carga con RSVP-TE



(Simulación, 2014)

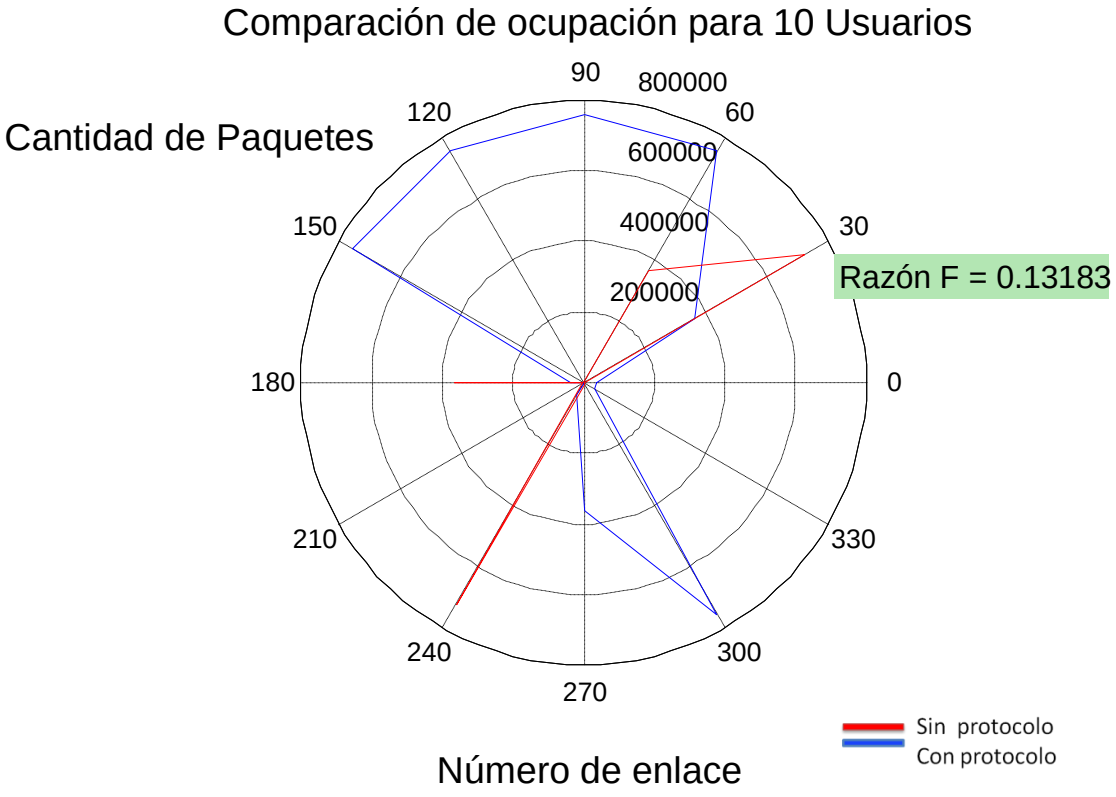
Figura 22. Balanceo de carga sin RSVP-TE



(Simulación, 2014)

La Figura 23 tiene como objetivo mostrar la comparación para 10 usuarios en cuanto a la cantidad de paquetes que se envía por enlace; el plano polar es utilizado en esta comparación cada 30 grados representa un enlace de la red y en cada enlace se trazan los paquetes que se distribuyeron.

Figura 23. Comparación Figura 21 y Figura 22



(Simulación, 2014)

8.2.1.5 Retardo por cada enlace

El retardo por cada enlace fue obtenido de la simulación para 10 usuarios, utilizando el dato de tiempo máximo que tardo un paquete en ser transmitido, o en cola; en la Tabla 16, se puede ver comparativamente los retardos con los dos protocolos utilizados, y en la Figura 24, se puede apreciar gráficamente.

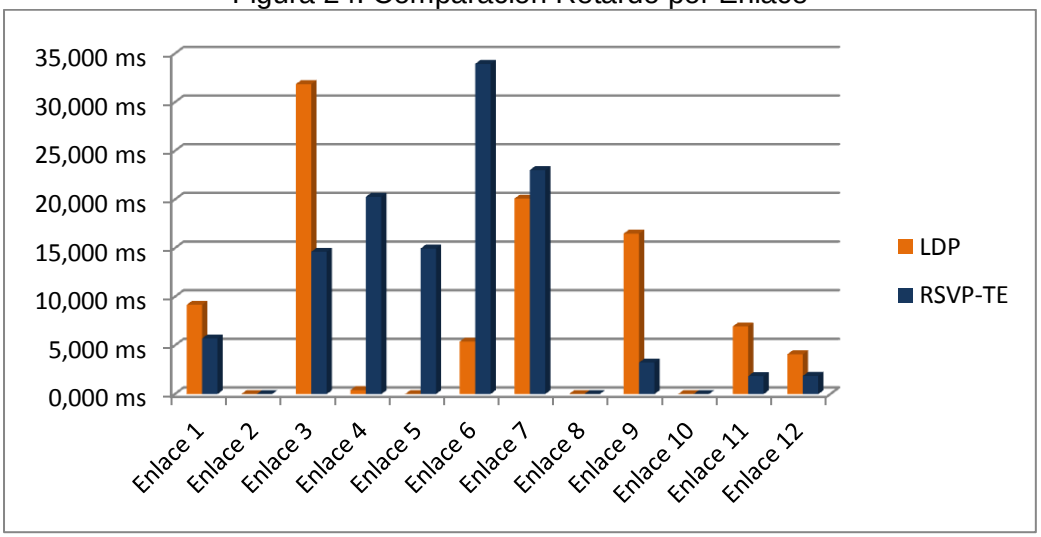
Tabla 16. Tiempos de retardo por Enlace

LDP (Label Distribution Protocol)			RSVP-TE		
Enlace	Retardo	LDP	Enlace	Retardo	RSVP-TE
1	0,0091804237	9,180 ms	1	0,0057200000	5,720 ms
2	0,0000000000	0,000 ms	2	0,0000000000	0,000 ms
3	0,0318673569	31,867 ms	3	0,0146287184	14,629 ms
4	0,0004115287	0,412 ms	4	0,0202845405	20,285 ms
5	0,0000000000	0,000 ms	5	0,0149592033	14,959 ms

6	0,0054015271	5,402 ms	6	0,0339474349	33,947 ms
7	0,0200933333	20,093 ms	7	0,0230274349	23,027 ms
8	0,0000000000	0,000 ms	8	0,0000000000	0,000 ms
9	0,0164915287	16,492 ms	9	0,0032400000	3,240 ms
10	0,0000000000	0,000 ms	10	0,0000000000	0,000 ms
11	0,0069612174	6,961 ms	11	0,0018533333	1,853 ms
12	0,0041007968	4,101 ms	12	0,0018666667	1,867 ms

(Simulación, 2014)

Figura 24. Comparación Retardo por Enlace



8.2.1.6 Paquetes perdidos

Como se puede apreciar en la Tabla 13 y en la Tabla 14 el número de paquetes perdidos se tomo como cero. Esto se debe a que en Omnet++, el dato de paquetes perdidos se hace es en los enrutadores o LSRs, y no en los enlaces; el programa de simulación no tiene ninguna forma para controlar esta tipo de datos en cada enlace. En la Tabla 17 y la Tabla 18 se presentan los paquetes perdidos en cada LSRs.

Tabla 17. Paquetes perdidos LDP

Paquetes Perdidos LDP			Porcentaje
PRUELDP.LSR1.udp	droppedPkWrongPort:count	5396	0,25%
PRUELDP.LSR2.udp	droppedPkWrongPort:count	5385	0,15%
PRUELDP.LSR3.udp	droppedPkWrongPort:count	3400	0,49%

PRUELDP.LSR4.udp	droppedPkWrongPort:count	10796	0,25%
PRUELDP.LSR5.udp	droppedPkWrongPort:count	5587	0,26%
PRUELDP.LSR6.udp	droppedPkWrongPort:count	5696	0,20%
PRUELDP.LSR7.udp	droppedPkWrongPort:count	4359	0,20%
	Total Perdidos	40619	
	Total Paquetes 10 Usuarios	2202253	1,84%

Tabla 18. Paquetes Perdidos RSVP-TE

Paquetes Perdidos LDP			Porcentaje
RSVPTE4.LSR1.udp	droppedPkWrongPort:count	12358	0,25%
RSVPTE4.LSR1.udp	droppedPkWrongPort:count	5611	0,06%
RSVPTE4.LSR3.udp	droppedPkWrongPort:count	3251	0,45%
RSVPTE4.LSR4.udp	droppedPkWrongPort:count	22568	0,45%
RSVPTE4.LSR5.udp	droppedPkWrongPort:count	16954	0,34%
RSVPTE4.LSR6.udp	droppedPkWrongPort:count	3650	0,07%
RSVPTE4.LSR7.udp	droppedPkWrongPort:count	2798	0,06%
	Total Perdidos	67190	
	Total Paquetes 10 Usuarios	5004278	1,34%

8.2.1.7 Análisis de los resultados

Los paquetes transmitidos con el protocolo LDP fueron 2202253 paquetes y utilizando el protocolo RSVP-TE fueron 5004278 paquetes, tomando como referencia el número mayor de paquetes se calcula entonces que en la red aumento en un 44.0074% la transmisión de paquetes cuando se aplica el protocolo.

La carga de los enlaces se distribuye equitativamente cuando el protocolo es RSVP-TE de acuerdo a lo observado en la Figura 21, en la Tabla 14 en la columna que hace referencia a la ocupación del enlace se puede observar que todos los valores oscilan dentro de un rango entre 0.036006193 y 0.755391678 teniendo en cuenta el buffer máximo de paquetes presentes en los routers. Este buffer máximo que tuvo un valor de 5 paquetes no represento problema en el ancho de banda asignado para la simulación, así que se considera adecuado para cada enlace.

Lo observado en la Figura 22 representa al escenario donde no se controló el balanceo de carga, es decir simplemente el protocolo LDP. Los datos mostrados en la Tabla 13 sugieren que los enlaces que presentaron alta saturación fueron el 9 y el 2, es decir que sobrecargo estos dos enlaces,

dejando algunos sin carga es decir libres. Los demás valores oscilan entre 0.0088173448 y 0.825518231, teniendo en cuenta que para este caso el buffer máximo fue de 6 paquetes, presentado en el LSR 4, situación que podría presentarse por ser este LSR el que presenta el máximo número de enlaces en total 6.

La Figura 23 es una comparación que se realiza entre la Figura 21 y la Figura 22, la gráfica se podría interpretar de acuerdo a una suposición en la que en un caso ideal por todos los enlaces deberían viajar la misma cantidad de paquetes y así esperar que la grafica resultante fuera parecida a un círculo; es decir, si la grafica tiene más similitud con un circulo significaría que aprovecho al máximo el balanceo de carga; dependiendo del radio utilizó mejor el ancho de banda puesto que si es mayor se interpretaría como mayor cantidad de paquetes transmitidos o recibidos. Para el caso de la Figura 23 la línea azul corresponde a los datos obtenidos de la simulación donde se uso el protocolo RSVP-TE y se observa que a diferencia de la línea roja, que es el grafico correspondiente a LDP, tiene más similitud con un circulo, por ende con la utilización del protocolo se transmitieron más paquetes, se utilizó mejor el ancho de banda y se logro balanceo de la carga equitativamente en casi todos los enlaces.

En la Figura 21 el valor del enlace 8 aparece en cero, podría esto sugerir que el protocolo RSVP-TE y lo que dice en teoría se ajusta a la simulación, es decir dejar un camino como base o libre en el evento de que algún otro camino se sature o se afecte.

De los datos obtenidos inferimos también que con el protocolo LDP 2.202.253 paquetes estiman una rata de aproximadamente 611 Paq/Seg, y una rata de bits de aproximadamente 78 Kbps, mientras que con el protocolo RSVP-TE 5.004.278 paquetes estiman aproximadamente 1.390 Paq/Seg y 178 Kbps. El porcentaje de paquetes perdidos también mejora de 1.84% a 1.34%.

Respecto a los retardos, puede observarse que tanto con el protocolo LDP como con el protocolo RSVP-TE, los enlaces que presentan transmisión de paquetes tiene un retardo esperado; de los datos obtenidos, hacemos un promedio de los retardos y encontramos la Latencia del sistema y mirando la variación de todos estos retardos el Jitter así:

	LDP	RSVP-TE
Latencia	7,876 ms	9,961 ms

Jitter	0,102 ms	0,127 ms

La Latencia del sistema aumenta, lo cual resulta bastante lógico pues se logra transferir más paquetes con una velocidad mayor.

El algoritmo que se uso para el análisis de la traza se realizó en Matlab[8] y se encuentra en el Anexo B

8.2.2 Escenario 2: Treinta nodos

8.2.2.1 Objetivo

Analizar el comportamiento de la red MPLS aplicando el protocolo RSVP-TE en una red de treinta usuarios, buscando transmitir una aplicación multicast y observar el estado de los enlaces de la red.

8.2.2.2 Parámetros de configuración

Se asigna un ancho de banda de 600k para cada enlace, ya que es suficiente para administrar una red por la cual se transmite una aplicación de tipo Multicast, la configuración que se asignó al paquete es la misma que en la simulación anterior.

Tabla 19. Parámetros de escenario 2

BW	600k
Host Generador	1
Host Receptores	3,4,5,7,18,21,27,29
intervalo de envio	0,01s
Tiempo de simulación	3600s
Protocolo de transporte	UDP
Número de Nodos	7
Numero de Usuarios	30
Datarate	600kbps

(Simulación, 2014)

[8] Matlab: paquete matemático para análisis numérico por matrices.

8.2.2.3 Resultados esperados

Así mismo como en el escenario pasado se espera que el número de paquetes transmitidos sea mayor con respecto al escenario donde no se utiliza RSVP-TE y que al igual la carga sea distribuida equitativamente en los enlaces.

Al existir una modificación en el número de host en la red se espera que el rendimiento se comporte de manera similar, puesto que la red y la topología deben ser capaces de soportar mayor tráfico.

8.2.2.4 Resultados obtenidos

Como en el escenario anterior, se analizaron las trazas en MATLAB y se generaron tres vectores, uno con los paquetes dentro del enlace, otros con los paquetes perdidos y por último la ocupación de los enlaces. Los buffers de este escenario también arrojaron como dato mayor 5 paquetes. En la Tabla 20 el número de eventos y el tiempo de simulación son obtenidos cuando finaliza la simulación dentro de OMNet++.

Tabla 20. Estado de los enlaces LDP (30 Usuarios)

	Sin RSVP-TE		
Número de eventos	65'432.946		
Tiempo de simulación	3600s		
Estado de Paquetes	Paqutes dentro del enlace	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace %
Enlace 1	1453	0	0,002387372
Enlace 2	721426	0	1,185349126
Enlace 3	794322	0	1,305121924
Enlace 4	1450	0	0,002382443
Enlace 5	1451	0	0,002384086
Enlace 6	1452	0	0,002385729
Enlace 7	794316	0	1,305112065
Enlace 8	1440	0	0,002366012
Enlace 9	721438	0	1,185368843
Enlace 10	1440	0	0,002366012
Enlace 11	1453	0	0,002387372
Enlace 12	1454	0	0,002389015
Total de Paquetes en la red	3043095		

(Simulación, 2014)

Igual que el escenario anterior son dos tipos de análisis uno implementado con el protocolo RSVP-TE y otro con el protocolo nativo LDP, la comparación de estos dos resultados se muestra en la Tabla 22, adicionando una columna que presenta el porcentaje de efectividad, para el presente escenario el porcentaje de efectividad es de 53,1406859. El anterior valor se obtiene de la misma forma que en el escenario anterior.

Tabla 21. Estado de los enlaces con RSVP-TE (30 Usuarios)

	Con RSVP-TE			
Número de eventos	69'402.643			
Tiempo de simulación	3600s			
Estado de Paquetes	Paqutes dentro del enlace	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace %	Porcentaje de efectividad
Enlace 1	252479	0	0,22044838	
Enlace 2	360000	0	0,314328782	
Enlace 3	972478	0	0,849105071	
Enlace 4	972458	0	0,849087608	
Enlace 5	756027	0	0,660114018	
Enlace 6	756030	0	0,660116637	
Enlace 7	252475	0	0,220444887	
Enlace 8	0	0	0	
Enlace 9	36036	0	0,031464311	
Enlace 10	576437	0	0,503307612	
Enlace 11	756028	0	0,660114891	
Enlace 12	36040	0	0,031467804	
Total de Paquetes en la red	5726488			53,1406859

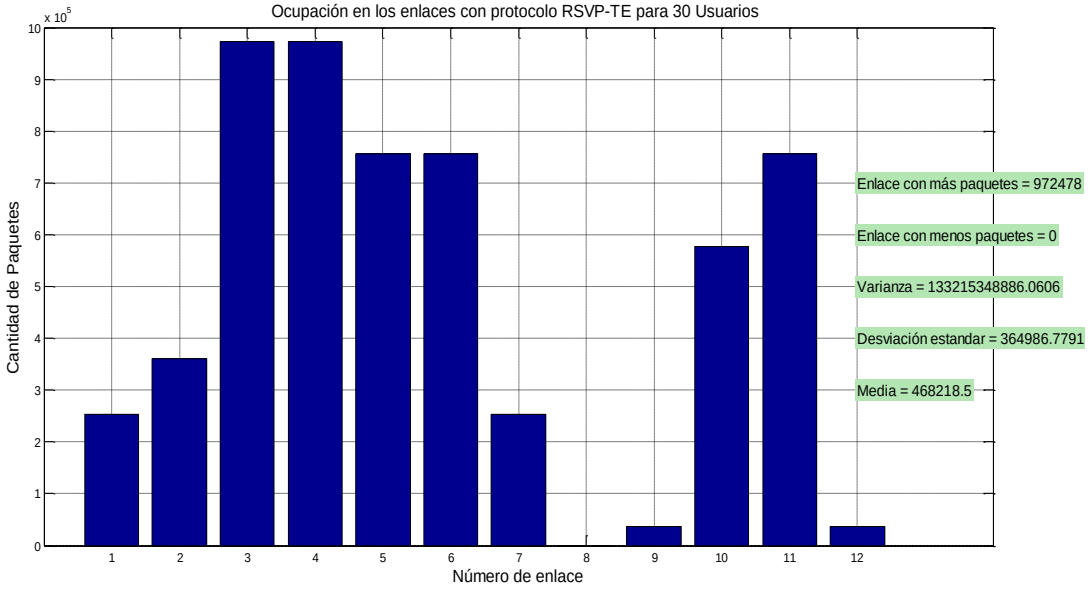
(Simulación, 2014)

Tabla 22. Comparación de eficiencia (30 Usuarios)

	Sin RSVP-TE			***Con RSVP-TE***			
Número de eventos	65'432.946			69'402.643			
Tiempo de simulación	3600s			3600s			
Estado de Paquetes	Paqutes dentro del enlace	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace %	Paqutes dentro del enlace	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace %	Porcentaje de efectividad
Enlace 1	1453	0	0,002387372	252479	0	0,22044838	
Enlace 2	721426	0	1,185349126	360000	0	0,314328782	
Enlace 3	794322	0	1,305121924	972478	0	0,849105071	
Enlace 4	1450	0	0,002382443	972458	0	0,849087608	
Enlace 5	1451	0	0,002384086	756027	0	0,660114018	
Enlace 6	1452	0	0,002385729	756030	0	0,660116637	
Enlace 7	794316	0	1,305112065	252475	0	0,220444887	
Enlace 8	1440	0	0,002366012	0	0	0	
Enlace 9	721438	0	1,185368843	36036	0	0,031464311	
Enlace 10	1440	0	0,002366012	576437	0	0,503307612	
Enlace 11	1453	0	0,002387372	756028	0	0,660114891	
Enlace 12	1454	0	0,002389015	36040	0	0,031467804	
Total de Paquetes en la red	3043095			5726488			53,1406859

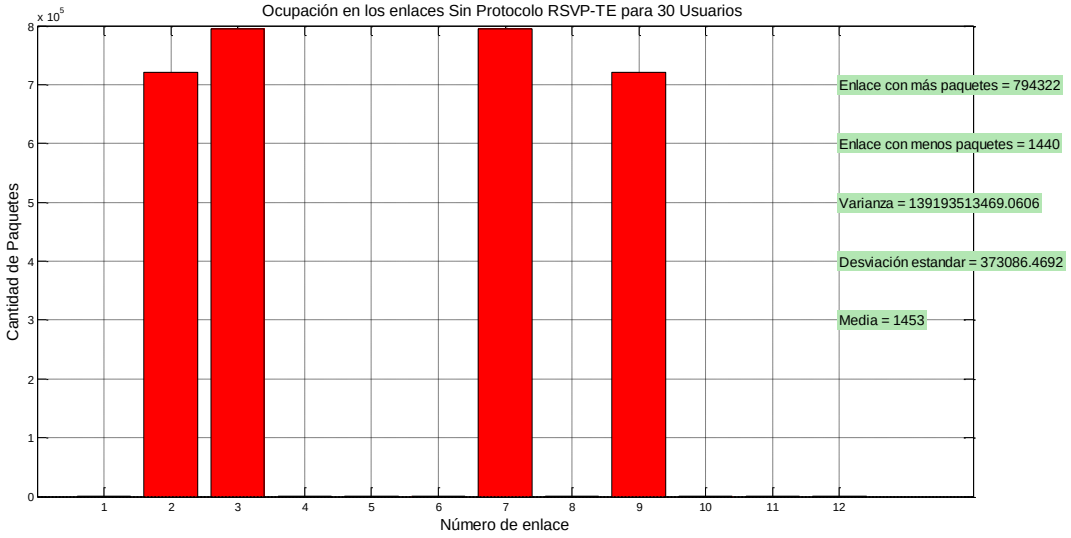
Siguiendo con la obtención de resultados se presentan en la Figura 25, Figura 26 y Figura 27 que fueron realizadas con MATLAB igual que en el escenario anterior; la Figura 27 igualmente es una extensión de la Figura 25 y la Figura 26 para poder comparar visualmente la efectividad de la red cuando se usa el protocolo RSVP-TE.

Figura 25. Balanceo de carga con RSVP-TE



(Simulación, 2014)

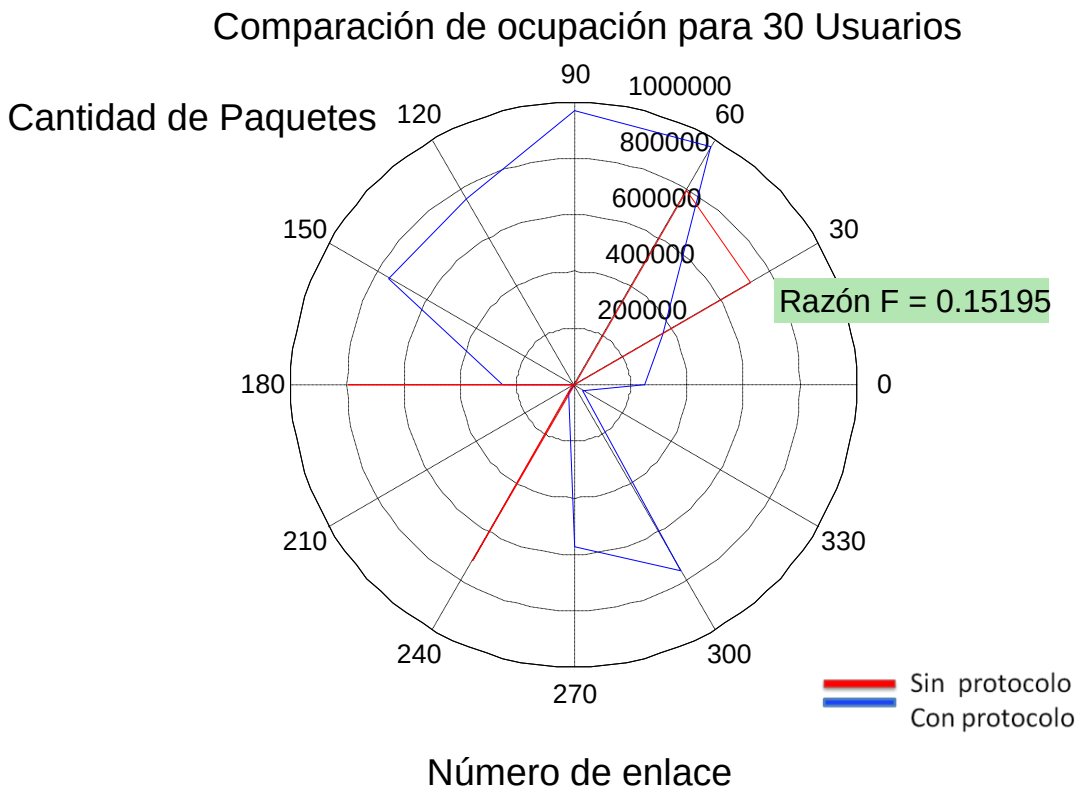
Figura 26. Balanceo de carga sin RSVP-TE



(Simulación, 2014)

La Figura 27 tiene como objetivo mostrar la comparación para 30 usuarios en cuanto a la cantidad de paquetes que se envía por enlace; como en el escenario anterior el plano polar es utilizado en esta comparación cada 30 grados representa un enlace de la red y en cada enlace se trazan los paquetes que se distribuyeron.

Figura 27. Comparación Figura 25 y Figura 26



(Simulación, 2014)

8.2.2.5 Retardo por cada enlace

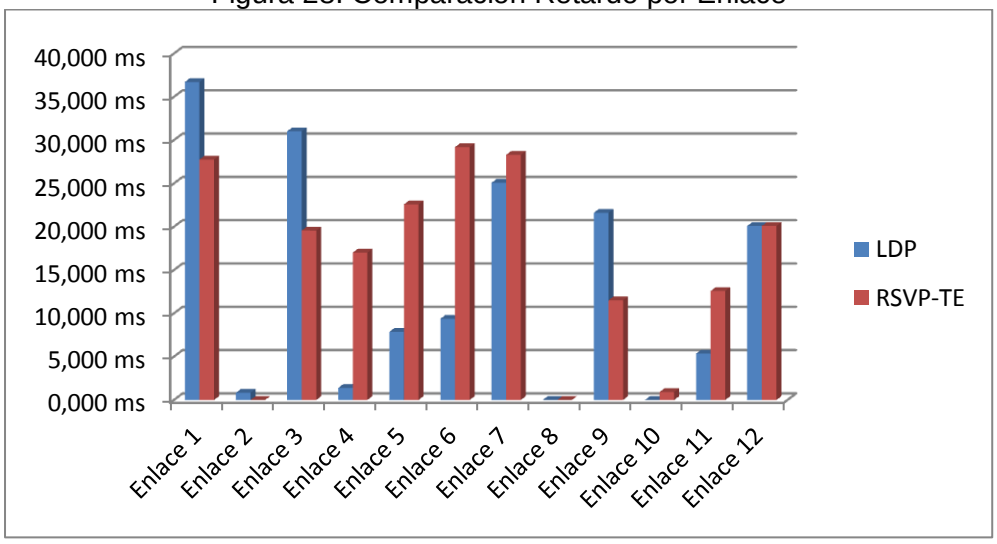
El retardo por cada enlace fue obtenido de la simulación para 30 usuarios, utilizando el dato de máximo tiempo que tardo un paquete en ser transmitido, o en cola, en la Tabla 23, se puede ver comparativamente los retardos en los dos protocolos utilizados, y en la Figura 28 se puede apreciar gráficamente.

Tabla 23. Tiempos de Retardo por cada Enlace

LDP (Label Distribution Protocol)			RSVP-TE		
Enlace	Retardo	LDP	Enlace	Retardo	RSVP-TE

1	0,0367137539	36,714 ms	1	0,0277600000	27,760 ms
2	0,0008391142	0,839 ms	2	0,0000000000	0,000 ms
3	0,0310204206	31,020 ms	3	0,0195620517	19,562 ms
4	0,0013911081	1,391 ms	4	0,0170258699	17,026 ms
5	0,0078664010	7,866 ms	5	0,0225839637	22,584 ms
6	0,0093795794	9,380 ms	6	0,0292007683	29,201 ms
7	0,0250797344	25,080 ms	7	0,0283106168	28,311 ms
8	0,0000000000	0,000 ms	8	0,0000000000	0,000 ms
9	0,0216136431	21,614 ms	9	0,0115078046	11,508 ms
10	0,0000000000	0,000 ms	10	0,0009200000	0,920 ms
11	0,0053596902	5,360 ms	11	0,0125866667	12,587 ms
12	0,0200933333	20,093 ms	12	0,0200933333	20,093 ms

Figura 28. Comparación Retardo por Enlace



8.2.2.6 Paquetes perdidos

Como en el escenario anterior la Tabla 20 y la Tabla 21 toman el número de paquetes perdidos como cero, por la misma razón. En la Tabla 24 y la Tabla 25 se presentan los paquetes perdidos en cada LSRs.

Tabla 24. Paquetes perdidos LDP (30 Usuarios)

Paquetes Perdidos LDP			Porcentaje
LDP30NODOS.LSR1.udp	droppedPkWrongPort:count	9840	0,32%

LDP30NODOS.LSR2.udp	droppedPkWrongPort:count	3120	0,10%
LDP30NODOS.LSR3.udp	droppedPkWrongPort:count	2160	0,07%
LDP30NODOS.LSR4.udp	droppedPkWrongPort:count	14231	0,47%
LDP30NODOS.LSR5.udp	droppedPkWrongPort:count	2650	0,09%
LDP30NODOS.LSR6.udp	droppedPkWrongPort:count	2150	0,07%
LDP30NODOS.LSR7.udp	droppedPkWrongPort:count	4517	0,15%
	Total Perdidos	38668	
	Total Paquetes 10 Usuarios	3043095	1,27%

Tabla 25. Paquetes Perdidos RSVP-TE (30 Usuarios)

Paquetes Perdidos RSVP-TE			Porcentaje
RSVPTE30NODOS.LSR1.udp	droppedPkWrongPort:count	11320	0,20%
RSVPTE30NODOS.LSR1.udp	droppedPkWrongPort:count	5661	0,10%
RSVPTE30NODOS.LSR3.udp	droppedPkWrongPort:count	6012	0,10%
RSVPTE30NODOS.LSR4.udp	droppedPkWrongPort:count	12360	0,22%
RSVPTE30NODOS.LSR5.udp	droppedPkWrongPort:count	5480	0,10%
RSVPTE30NODOS.LSR6.udp	droppedPkWrongPort:count	6520	0,11%
RSVPTE30NODOS.LSR7.udp	droppedPkWrongPort:count	10003	0,17%
	Total Perdidos	57356	
	Total Paquetes 10 Usuarios	5726488	1,00%

8.2.2.7 Análisis de los resultados

Los paquetes transmitidos con el protocolo LDP fueron 3.043.095 paquetes y utilizando el protocolo RSVP-TE fueron 5.726.488 paquetes, tomando como referencia el número mayor de paquetes se calcula entonces que en la red aumento en un 53.14% la transmisión de paquetes cuando se aplica el protocolo.

En este caso se observó un poco menos equitativa la distribución de la carga que en el caso anterior, cuando el protocolo es RSVP-TE de acuerdo a lo observado en la Figura 25, en la Tabla 21 en la columna que hace referencia a la ocupación del enlace se puede observar que todos los valores oscilan dentro de un rango de 0.031464311 y 0.849087608 teniendo en cuenta el buffer máximo de paquetes presentes en los routers. Este buffer máximo que tuvo un valor de 5 paquetes no representó problema en el ancho de banda asignado para la simulación, así que se considera adecuado para cada enlace.

Lo observado en la Figura 26 representa al escenario donde no se controló el balanceo de carga, es decir simplemente el protocolo LDP, igual que en el escenario anterior. Los datos mostrados en la Tabla 20 sugieren que los enlaces que presentaron alta saturación fueron el 2, 3, 7, y 9 es decir que sobrecargo estos enlaces, dejando algunos con poca carga o casi libres. Los demás valores oscilan entre 0.002366012 y 0.002389015, valores muy cercanos, teniendo en cuenta que para este caso el buffer máximo fue de 4 paquetes, presentado en el LSR 2.

La Figura 27 es una comparación que se realiza entre la Figura 25 y la Figura 26, interpretándose igual que en el escenario pasado. Para el caso de la Figura 27 la línea azul corresponde a los datos obtenidos de la simulación donde se uso el protocolo RSVP-TE y se observa que a diferencia de la línea roja, que es el grafico correspondiente a LDP, tiene más similitud con un circulo, por ende con la utilización del protocolo se transmitieron más paquetes, se utilizó mejor el ancho de banda y se logro balanceo de la carga equitativamente en casi todos los enlaces.

En la Figura 25 el valor del enlace 8 aparece en cero, podría esto sugerir que el protocolo RSVP-TE y lo que dice en teoría se ajusta a la simulación, es decir dejar un camino como base o libre en el evento de que algún otro camino se sature o se afecte.

De los datos obtenidos inferimos también que con el protocolo LDP 3.043.095 paquetes estiman una rata de aproximadamente 845 Paq/Seg, y una rata de bits de aproximadamente 108 Kbps, mientras que con el protocolo RSVP-TE 5.726.488 paquetes estiman aproximadamente 1.590 Paq/Seg y 203 Kbps. El porcentaje de paquetes perdidos también mejora de 1.27% a 1.00%.

Respecto a los retardos como en el escenario anterior, puede inferirse que tanto con el protocolo LDP como con el protocolo RSVP-TE, los enlaces que presentan transmisión de paquetes tiene un retardo esperado; de los datos obtenidos, hacemos un promedio de los retardos y encontramos la Latencia del sistema y mirando la variación de todos estos retardos el Jitter así:

	LDP	RSVP-TE
Latencia	13,280 ms	15,796 ms
Jitter	0,170 ms	0,119 ms

La Latencia del sistema aumenta, lo cual resulta bastante lógico pues se logra transferir más paquetes utilizando muchos más caminos o rutas y con una velocidad mayor.

8.2.3 Escenario 3: Cincuenta nodos

8.2.3.1 Objetivo

Analizar el comportamiento de la red MPLS aplicando el protocolo RSVP-TE en una red de cincuenta usuarios, buscando transmitir una aplicación multicast y observar el estado de los enlaces de la red.

8.2.3.2 Parámetros de configuración

Se asigna un ancho de banda de 600k para cada enlace, ya que es suficiente para administrar una red por la cual se transmite una aplicación de tipo Multicast, la configuración que se asignó al paquete es la misma que en la simulación anterior.

Tabla 26. Parámetros de escenario 3

BW	600k
Host Generador	1
Host Receptores	3,4,5,7,18,21,27,29, 31,37,39,41,47,49
intervalo de envio	0,01s
Tiempo de simulación	3600s
Protocolo de transporte	UDP
Número de Nodos	7
Numero de Usuarios	50
Datarate	600kbps

(Simulación, 2014)

8.2.3.3 Resultados esperados

Así mismo como en el escenario pasado se espera que el número de paquetes transmitidos sea mayor con respecto al escenario donde no se utiliza RSVP-TE y que al igual la carga sea distribuida equitativamente en los enlaces.

Al existir una modificación en el número de host en la red se espera que el rendimiento se comporte de manera similar, puesto que la red y la topología deben ser capaces de soportar mayor tráfico.

8.2.3.4 Resultados obtenidos

Como en el escenario anterior, se analizaron las trazas en MATLAB y se generaron tres vectores, uno con los paquetes dentro del enlace, otro con los paquetes perdidos y por último la ocupación de los enlaces. Los buffers de este escenario arrojaron como dato mayor 9 paquetes, debido al mayor tráfico en la red. En la Tabla 27 el número de eventos y el tiempo de simulación son obtenidos cuando finaliza la simulación dentro de OMNet++.

Tabla 27. Estado de los enlaces LDP (50 Usuarios)

	Sin RSVP-TE		
Número de eventos	75'289.620		
Tiempo de simulación	3600s		
Estado de Paquetes	Paqutes dentro del enlace	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace %
Enlace 1	1455	0	0,00239064
Enlace 2	721425	0	1,185338525
Enlace 3	794326	0	1,305118632
Enlace 4	1454	0	0,002388997
Enlace 5	1450	0	0,002382425
Enlace 6	1452	0	0,002385711
Enlace 7	794324	0	1,305115346
Enlace 8	1440	0	0,002365994
Enlace 9	721441	0	1,185364813
Enlace 10	1440	0	0,002365994
Enlace 11	1454	0	0,002388997
Enlace 12	1457	0	0,002393926
Total de Paquetes en la red	3043118		

(Simulación, 2014)

Igual que el escenario anterior son dos tipos de análisis uno implementado con el protocolo RSVP-TE y otro con el protocolo nativo LDP, la comparación de estos dos resultados se muestra en la Tabla 29, adicionando una columna que presenta el porcentaje de efectividad, para el presente escenario el porcentaje de efectividad es de 61.00224093. El anterior valor se obtiene de la misma forma que en el escenario anterior.

Tabla 28. Estado de los enlaces con RSVP-TE (50 Usuarios)

	Con RSVP-TE		
Número de eventos	83'802.750		
Tiempo de simulación	3600s		
Estado de Paquetes	Paquetes dentro del enlace	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace
Enlace 1	252481	0	0,25306198
Enlace 2	576440	0	0,577766436
Enlace 3	756041	0	0,757780713
Enlace 4	252486	0	0,253066991
Enlace 5	756035	0	0,757774699
Enlace 6	738012	0	0,739710227
Enlace 7	36038	0	0,036120926
Enlace 8	0	0	0
Enlace 9	36043	0	0,036125938
Enlace 10	792879	0	0,79470348
Enlace 11	756025	0	0,757764676
Enlace 12	36041	0	0,036123933
Total de Paquetes en la red	4988521		

(Simulación, 2014)

Tabla 29. Comparación de eficiencia (50 Usuarios)

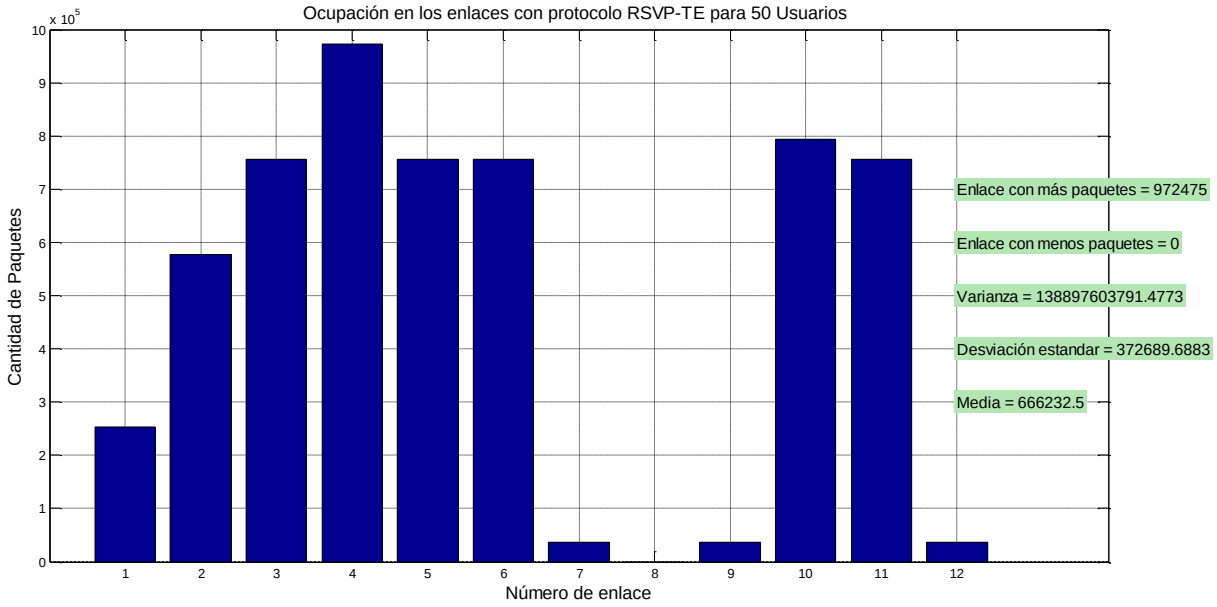
	Sin RSVP-TE			***Con RSVP-TE***			
Número de eventos	75'289.620			83'802.750			
Tiempo de simulación	3600s			3600s			
Estado de Paquetes	Paquetes dentro del enlace	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace	Paquetes dentro del	Paquetes Perdidos	ocupación del enlace	Porcentaje de efectividad
Enlace 1	1455	0	0,00239064	252481	0	0,25306198	
Enlace 2	721425	0	1,18533852	576440	0	0,57776644	
Enlace 3	794326	0	1,30511863	756041	0	0,75778071	
Enlace 4	1454	0	0,002389	252486	0	0,25306699	
Enlace 5	1450	0	0,00238242	756035	0	0,7577747	
Enlace 6	1452	0	0,00238571	738012	0	0,73971023	
Enlace 7	794324	0	1,30511535	36038	0	0,03612093	
Enlace 8	1440	0	0,00236599	0	0	0	
Enlace 9	721441	0	1,18536481	36043	0	0,03612594	
Enlace 10	1440	0	0,00236599	792879	0	0,79470348	
Enlace 11	1454	0	0,002389	756025	0	0,75776468	
Enlace 12	1457	0	0,00239393	36041	0	0,03612393	
Total de Paquetes en la red	3043118			4988521			61,0024093

(Simulación, 2014)

Siguiendo con la obtención de resultados se presentan en la Figura 29, Figura 30 y Figura 31 que fueron realizadas con MATLAB igual que en el escenario anterior; la Figura 31 igualmente es una extensión de la Figura 29

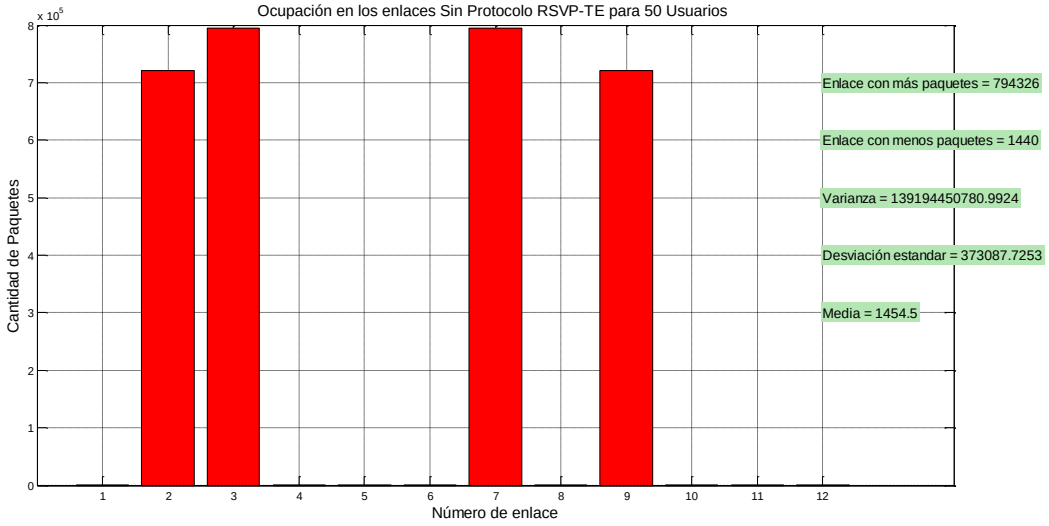
y la Figura 30 para poder comparar visualmente la efectividad de la red cuando se usa el protocolo RSVP-TE.

Figura 29. Balanceo de carga con RSVP-TE



(Simulación, 2014)

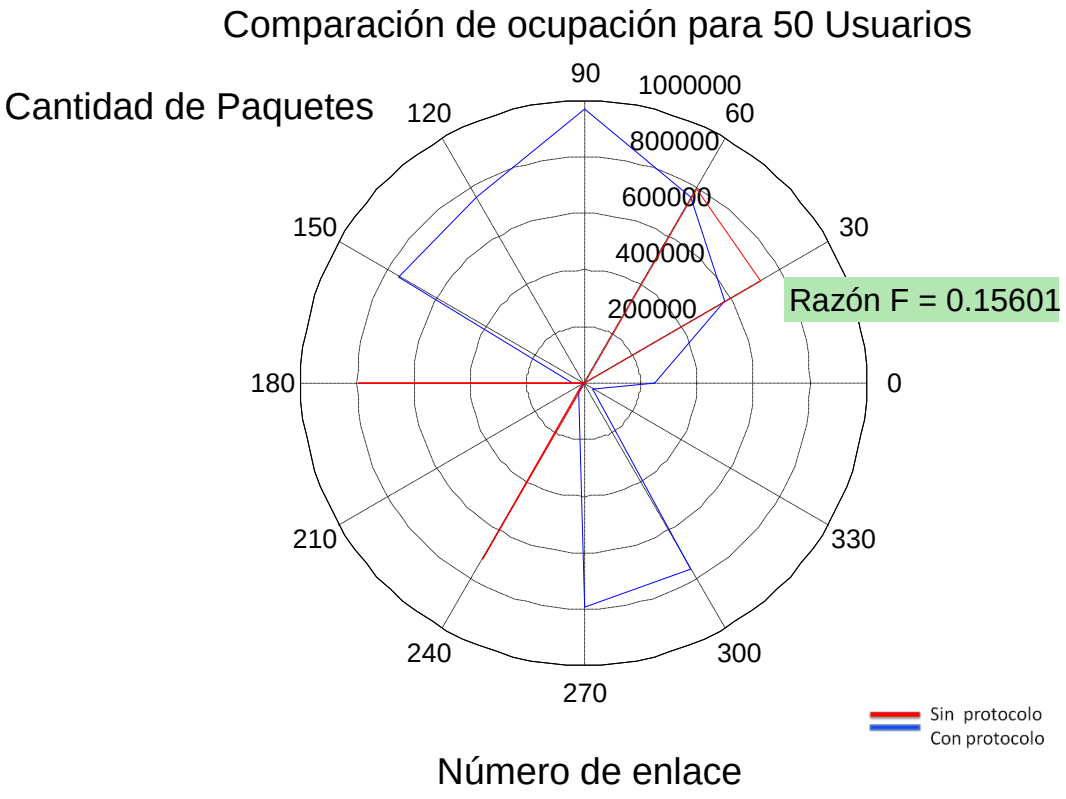
Figura 30. Balanceo de carga sin RSVP-TE



(Simulación, 2014)

La Figura 31 tiene como objetivo mostrar la comparación para 50 usuarios en cuanto a la cantidad de paquetes que se envía por enlace; el plano polar es utilizado de manera similar que en los escenarios anteriores.

Figura 31. Comparación Figura 29 y Figura 30



(Simulación, 2014)

8.2.3.5 Retardo por cada enlace

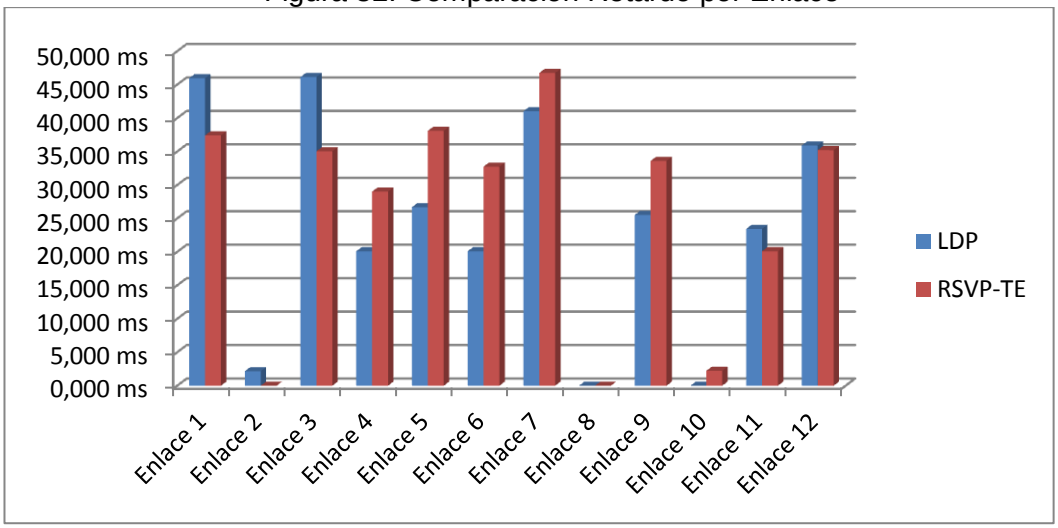
El retardo por cada enlace fue obtenido de la simulación para 50 usuarios, utilizando el dato de máximo tiempo que tardo un paquete en ser transmitido, o en cola, en la Tabla 30, se puede ver comparativamente los retardos en los dos protocolos utilizados, y en la Figura 32 se puede apreciar gráficamente.

Tabla 30. Tiempos de Retardo por cada Enlace

LDP (Label Distribution Protocol)			RSVP-TE		
Enlace	Retardo	LDP	Enlace	Retardo	RSVP-TE
1	0,045953757053	45,954 ms	1	0,037412078382	37,412 ms

2	0,002172544931	2,173 ms	2	0,000000000000	0,000 ms
3	0,046140420601	46,140 ms	3	0,035046592194	35,047 ms
4	0,020093333333	20,093 ms	4	0,029021329422	29,021 ms
5	0,026684441474	26,684 ms	5	0,038093333334	38,093 ms
6	0,020093333333	20,093 ms	6	0,032742894441	32,743 ms
7	0,041018040435	41,018 ms	7	0,046744614971	46,745 ms
8	0,000000000000	0,000 ms	8	0,000000000000	0,000 ms
9	0,025523021964	25,523 ms	9	0,033599999999	33,600 ms
10	0,000000000000	0,000 ms	10	0,002226666666	2,227 ms
11	0,023429688630	23,430 ms	11	0,020093333333	20,093 ms
12	0,035909688630	35,910 ms	12	0,035203181844	35,203 ms

Figura 32. Comparación Retardo por Enlace



8.2.3.6 Paquetes perdidos

Como en los dos escenarios anteriores la Tabla 27 y la Tabla 28 toman el número de paquetes perdidos como cero, por la misma razón. En la Tabla 31 y la Tabla 32 se presentan los paquetes perdidos en cada LSRs.

Tabla 31. Paquetes perdidos LDP (50 Usuarios)

Paquetes Perdidos LDP			Porcentaje
LDP50NODOS.LSR1.udp	droppedPkWrongPort:count	3658	0,12%
LDP50NODOS.LSR2.udp	droppedPkWrongPort:count	4023	0,13%
LDP50NODOS.LSR3.udp	droppedPkWrongPort:count	4230	0,14%
LDP50NODOS.LSR4.udp	droppedPkWrongPort:count	11220	0,37%
LDP50NODOS.LSR5.udp	droppedPkWrongPort:count	3257	0,11%

LDP50NODOS.LSR6.udp	droppedPkWrongPort:count	3651	0,12%
LDP50NODOS.LSR7.udp	droppedPkWrongPort:count	4560	0,15%
	Total Perdidos	34599	
	Total Paquetes 10 Usuarios	3043118	1,14%

Tabla 32. Paquetes Perdidos RSVP-TE (50 Usuarios)

Paquetes Perdidos RSVP-TE			Porcentaje
RSVPTE50NODOS.LSR1.udp	droppedPkWrongPort:count	15032	0,30%
RSVPTE50NODOS.LSR2.udp	droppedPkWrongPort:count	8520	0,17%
RSVPTE50NODOS.LSR3.udp	droppedPkWrongPort:count	7965	0,16%
RSVPTE50NODOS.LSR4.udp	droppedPkWrongPort:count	11256	0,23%
RSVPTE50NODOS.LSR5.udp	droppedPkWrongPort:count	7540	0,15%
RSVPTE50NODOS.LSR6.udp	droppedPkWrongPort:count	8231	0,16%
RSVPTE50NODOS.LSR7.udp	droppedPkWrongPort:count	6954	0,14%
	Total Perdidos	65498	
	Total Paquetes 10 Usuarios	4988521	1,31%

8.2.3.7 Análisis de los resultados

Los paquetes transmitidos con el protocolo LDP fueron 3.043.118 paquetes y utilizando el protocolo RSVP-TE fueron 4.988.521 paquetes, tomando como referencia el número mayor de paquetes se calcula entonces que en la red aumento en un 61% la transmisión de paquetes cuando se aplica el protocolo. Si se compara con el escenario anterior, aunque los eventos son mucho mayores en 50 usuarios, los paquetes en la red son muy similares. De hecho en las diferentes simulaciones, se notó como si se agregaban más usuarios, los paquetes dentro del sistema se estabilizaban o más bien su número no presentaba mucha variación, ± 10% aproximadamente.

En este caso se observó que la distribución de la carga se distribuyo un poco mejor que en el segundo escenario, seis de los enlaces fueron los más ocupados con valores muy cercanos, cuando el protocolo es RSVP-TE de acuerdo a lo observado en la Figura 29, en la Tabla 28 en la columna que hace referencia a la ocupación del enlace se puede observar que todos los valores oscilan dentro de un rango de 0,036123933 y 0.79470348 teniendo en cuenta el buffer máximo de paquetes presentes en los routers. Este buffer máximo que tuvo un valor de 9 paquetes no representó problema en el ancho de banda asignado para la simulación, así que se considera adecuado para cada enlace.

Lo observado en la Figura 30 representa al escenario donde no se controló el balanceo de carga, es decir simplemente el protocolo LDP, igual que en el escenario anterior. Los datos mostrados en la Tabla 27 sugieren que los enlaces que presentaron alta saturación fueron el 2, 3, 7, y 9 es decir que sobrecargo estos enlaces, dejando algunos con poca carga o casi libres. Los demás valores son muy cercanos, teniendo en cuenta que para este caso el buffer máximo fue de 9 paquetes, presentado en el LSR 2, al igual que en el segundo escenario.

La Figura 31 es una comparación que se realiza entre la Figura 29 y la Figura 30, interpretándose igual que en el escenario pasado. En este caso así como en los anteriores la línea azul corresponde a los datos obtenidos de la simulación donde se uso el protocolo RSVP-TE y se observa que a diferencia de la línea roja, que es el grafico correspondiente a LDP, tiene más similitud con un circulo, por ende con la utilización del protocolo se transmitieron más paquetes, se utilizó mejor el ancho de banda y se logro balanceo de la carga equitativamente en casi todos los enlaces.

En la Figura 29 el valor del enlace 8 de nuevo aparece en cero, podría esto sugerir que el protocolo RSVP-TE y lo que dice en teoría se ajusta a la simulación, es decir dejar un camino como base o libre en el evento de que algún otro camino se sature o se afecte.

De los datos obtenidos inferimos también que con el protocolo LDP 3.043.118 paquetes estiman una rata de aproximadamente 845 Paq/Seg, y una rata de bits de aproximadamente 108 Kbps, mientras que con el protocolo RSVP-TE 4.988.521 paquetes estiman aproximadamente 1.385 Paq/Seg y 177 Kbps. El porcentaje de paquetes perdidos en este caso es diferente a los dos casos anteriores, pues aumento de 1,14% a 1,31%. En cualquier caso el número de paquetes perdidos es aceptable en el sistema.

Respecto a los retardos como en los dos escenarios anteriores, puede inferirse que tanto con el protocolo LDP como con el protocolo RSVP-TE, los enlaces que presentan transmisión de paquetes tiene un retardo esperado; de los datos obtenidos, hacemos un promedio de los retardos y encontramos la Latencia del sistema y mirando la variación de todos estos retardos el Jitter así:

	LDP	RSVP-TE
Latencia	23,918 ms	25,849 ms
Jitter	0,256 ms	0,267 ms

La Latencia del sistema aumenta, pero lo interesante del análisis es que con los dos protocolos esta medida es similar, se podría concluir entonces que entre más usuarios la Latencia de la red tiende a ser la misma indiferente al balanceo de carga.

9. CONCLUSIONES

En los procesos investigativos es común tener mucha información, inclusive más de la necesaria. Contar con experiencia en una herramienta que ayude a solucionar el problema investigativo es muy importante para cualquier investigador. En este proyecto la mayor parte del tiempo total de desarrollo se utilizó para probar tres herramientas diferentes, y observar cual de las tres se ajustaba más al propósito de la tesis, situación que resulta indeseable, cuando la mayoría del tiempo se debe dedicar a las pruebas y los resultados esperados.

Se comprobó que la arquitectura y topología escogida para el desarrollo del proyecto, fue la adecuada, sin embargo la limitación en simulación por la cantidad de datos a simular o por los anchos de banda escogidos lleva a cuestionarse en la necesidad de tener a disposición granjas de servidores que hagan el trabajo pesado que un computador personal no puede en cuanto a procesamiento y velocidad.

Si bien el desempeño del protocolo RSVP-TE en comparación con el LDP presenta muchas ventajas, se pudo inferir que en la medida que existan muchas aplicaciones de tipo multicast sobre una red MPLS, presentará los mismos inconvenientes que se han presentado a través del tiempo en todos los tipos de arquitecturas que han querido solucionar problemas comunes como la necesidad de un gran ancho de banda. No sabemos cual será el futuro de MPLS, sin embargo hasta el momento es la arquitectura que mejor desempeño tiene a nivel mundial para conexión de redes WAN.

Trabajar con un simulador como el caso de OmNet++ trae ventajas que contrastan con la necesidad de poder implementar soluciones sobre una red real MPLS, sin embargo hoy en día acceder a este tipo de redes resulta una misión imposible, pues este tipo de redes pertenecen exclusivamente a la empresa privada en Colombia.

Basándose en esta evaluación se logró demostrar que la utilización del protocolo de señalización RSVP-TE en las redes MPLS favorece el rendimiento y la calidad de servicio (QoS) ofrecido a los usuarios, porque según las pruebas realizadas siempre se logró una mayor cantidad de mensajes transmitidos, e inclusive ratas de velocidad mejores en todos los escenarios propuestos en esta investigación.

Se pudo evaluar como los recursos asignados a la red propuesta MPLS, representan un mejor desempeño de la red cuando se utiliza el protocolo RSVP-TE; el ancho de banda, la velocidad en Kbps, los retardos y el Jitter, que en general son los que dan una idea del desempeño de la red, resultaron tener en conjunto un mejor desempeño en comparación con los mismos parámetros obtenidos, pero sin utilizar el protocolo mencionado.

Se logró comprobar cómo en los tres escenarios propuestos, la utilización del protocolo RSVP-TE balanceo la carga por los diferentes enlaces de la red, y como esto redunda en el mejor desempeño de la red MPLS.

Necesariamente se deduce del presente trabajo que aplicaciones de video streaming o IPTV, necesitan protocolos de señalización, si bien MPLS puede tener control sobre la calidad de servicio, con los bits de cabecera, esta prioridad dada a estos mensajes o paquetes no es suficiente cuando se establecen caminos por los cuales se pasa tráfico del mismo tipo.

El tráfico UDP, que es el ideal para transmisión de audio y video, viaja por el mismo camino que el tráfico TCP. Con tantas aplicaciones de video y de voz, el espacio dado al tráfico TCP resulta mínimo, pues casi que el ancho de banda se deja para los mensajes UDP, más si tiene prioridad (QoS); esto representa una situación que debería estudiarse a fondo, pues hoy en día todo el tipo de tráfico es importante, lo que supone en las arquitecturas tener el adecuado uso del canal para los tráficos de ambos tipos.

Un último aspecto que sería relevante también es la consideración de escalabilidad y de manejo de ancho de banda. Con la simulación obtenida, se comprobó que a medida que los usuarios crecen, se necesitan más recursos para atender nuevos usuarios, pues en general entre más usuarios más ancho de banda, más retardo, más mensajes perdidos etc.

10. RECOMENDACIONES

Sería interesante en el desarrollo de trabajos futuros de investigación poder con una herramienta diferente de simulación encontrar datos adicionales de tráfico que ayuden a construir un panorama más amplio en la investigación, y poder construir un modelo más real teniendo en cuenta parámetros como tiempos de arribo, tiempos entre mensajes o paquetes, tamaños de cola, tiempos de transmisión, etc.

Con el nuevo esquema de televisión en nuestro país se podría pensar en realizar este proyecto pero con características propias de la televisión digital y saber si con un protocolo de señalización se pueden ahorrar recursos y costos en transmisión.

Si se dispusiera de una red MPLS real para investigación en la Universidad, se podría constatar la simulación con la práctica en un escenario real, y deducir muchas desventajas de los sistemas simulados.

GLOSARIO

ANCHO DE BANDA: término técnico que determina el volumen de información que puede circular por un medio físico de comunicación de datos, es decir, la capacidad de una conexión. A mayor ancho de banda, mejor velocidad de acceso y mayor tráfico o cantidad de personas que pueden utilizar el mismo medio simultáneamente(Bassi, 2001).

ATM: acrónimo de asiynchronous transfer mode, una tecnología de red capaz de transmitir datos, voz, video y tráfico de tipo frame relay en tiempo real, 53 bytes cada uno se intercambian en nodos del sistema de velocidad que varían(Velásquez & Solórzano, 2006).

AUTENTIFICACIÓN: es un sistema operativo multiusuario o red, el proceso por el que el sistema valida la información de inicio de cesión del usuario. El nombre y contraseña del usuario se comparan con una lista autorizada, y si el sistema detecta acierto, el acceso se concede hasta el límite especificado en la lista de permiso para ese usuario(Velásquez & Solórzano, 2006).

BROADCAST: se da cuando todos los usuarios de una red reciben la información enviada desde el servidor en un determinado momento(Dominguez, 2005).

ENRUTAMIENTO: conjunto de normas establecidas por un enrutador cuando participa en una comunicación con otro enrutador con el objetivo de compartir archivos (Ramirez, 2011).

ENRUTAMIENTO: proceso de selección de un camino para el envío de paquetes. La computadora que hace esto es llamada enrutador (Velásquez & Solórzano, 2006).

ERLANG: es una unidad a dimensional utilizada en telefonía como una medida estadística del volumen de tráfico (Alzate M. A., 2001)

ETHERNET: sistema de red que utiliza un método de acceso sensible a la señal portadora, razón por la cual varias estaciones de trabajo comparten un cable de red pero solo una de ellas lo puede utilizar en un instante dado(Diaz, Pardo, & Pizarro, 2001).

ETIQUETA: identificador, puede consistir en una palabra, símbolo o un conjunto de caracteres usado para identificar un archivo un medio de almacenamiento un elemento definido en un programa, o un elemento especifico de un documento(Velásquez & Solórzano, 2006).

FFR: fast re-route, técnica empleada para un re direccionamiento rápido. (Feeney & Crovella, 2010)

HIPERAGREGACIÓN: entrada de más tráfico del deseado a una red de comunicaciones. (Diáz, 2011)

IETF: organización en cargada del estudio de problemas técnicos relacionados con Internet. Lo llevan a cabo varios grupos de trabajo que se concentran en temas específicos. Como el encaminamiento de mensajes o la seguridad(Velásquez & Solórzano, 2006).

INTERNET: es la red de computadores más extendida del planeta, que conecta y comunica a más de 80 millones de personas(Bassi, 2001).

IPV4: es la cuarta versión del protocolo IP usando direcciones de tamaño de 32 bits y es usada comúnmente en redes locales. (Antelin & Dordoigne, 2007).

IPV6: como ipv4 esta limitando el crecimiento del internet se hiso necesario crear un nuevo protocolo el cual soporta 2^128 direcciones IP

JITTER: la alteración en el tiempo de arribos de los paquetes, emitida por congestión de red, perdida de sincronización o por las diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar al destino. (Cuenca Castillo, 1999)

LER: label edge router, enrutador encargado de colocar y quitar etiquetas. (Srinivasa & L.P., 2004)

LSR: lable switch router, enrutador encargado de conmutar etiquetas dentro de la red MPLS. (Srinivasa & L.P., 2004)

LDP: label distribution path es el camino que se genera para guiar los paquetes dentro de la red MPLS, tomando en cuenta la clase de tráfico a la cual fueron asociados los paquetes. (Srinivasa & L.P., 2004)

LATENCIA: es la suma de todos los retardos dentro de la red(Tanenbaum, 2003)

LSP: label switched path, camino por el cual el tráfico con FEC asignada será enviado a través de la red MPLS(Doménico & García, 2009)

MULTICAST: modo de difusión de información en vivo que permite que ésta pueda ser recibida por múltiples nodos de la red y por lo tanto por múltiples usuarios(Dominguez, 2005).

MLD: multicat listened discovery es el protocolo encargado de identificar al trafico multi-destino dentro de una red IVp6. (Holbrook, 2006)

NODO: punto de conexión en una red, Las redes poseen varios nodos dependiendo de su arquitectura y su tamaño (Boggio, 1992).

OMNET++: simulador de eventos discretos orientado a objetos y ampliamente utilizado por flexibilidad, modularidad jerárquica, capacidad de simular arquitecturas complejas, interfaz gráfica de simulación intuitiva, capacidad multiplataforma y de fácil modificación. Está programado bajo librerías de simulación basadas en C++(Doménico & García, 2009).

PAQUETE: fracciones de un mensaje de tamaño predefinido, donde cada fracción o paquete contiene información de procedencia y destino, así como información requerida para el re ensamblado del mensaje(Velásquez & Solórzano, 2006).

PIM: protocol independent multicast, es el protocolo encargado de crear rutas entre los usuarios multi-destino en forma de árbol.

PROTOCOLO: es el sistema de las reglas estándares para la representación de datos, señales y autentificación requerida para transferir información entre dos estaciones(Gil, 2009).

QoS: calidad de servicio es la capacidad de dar un buen servicio(Adrián, Sebastián, & Marcelo, 2005)

RED: conjunto de dispositivos interconectados físicamente, ya sea vía alámbrica o vía inalámbrica, que comparten recursos y se comunican entre sí a través de reglas y protocolos de comunicación(Bassi, 2001).

RETARDO: se denomina a que un paquete el tiempo adicional que toma un paquete en recorrer una red de datos desde cuando sale del emisor para ser transmitido hasta cuando llega al receptor(Herrera, 2003)

RSVP: es un protocolo de reserva de recursos en redes IP desarrollado con el objetivo principal que los host comuniquen los requerimientos de servicios a la red y los enrutadores puedan establecer un estado de reserva a lo largo de la ruta(Meisel, 2002)

RTP: real time protocol creado por la IEFT para la transmisión de voz y video por el internet. (Schulzrinne & Casner, 1996)

TE: ingeniería de Tráfico método que busca la optimización del diseño de las redes operativas. (Kouvatsos, 2009)

TOPOLOGÍA: forma lógica de estructurar una red para comunicar diferentes estaciones de trabajo (Foncubierta & Bueno , S.f.).

TRÁFICO CBR: (Constant bit rate) tráfico generado por agentes en NS2, a una tasa constante de bits. (Caprile , 2009)

TRÁFICO EXPONECIAL: tráfico generado por agentes en NS2, con una distribución de poisson, que tiene ajustes a tamaños de mensajes variables. (Caprile , 2009)

TRÁFICO: capacidad de una red de comunicaciones, demanda de servicio que los usuarios le imponen y el nivel de desempeño que la red puede(Sánchez, 2006).

VPN: Virtual Private Network extensión de una red de área local a una red no controlada. (Colobran & Galindo, 2008)

BIBLIOGRAFÍA

Issariyakul, T., & Hossain, E. (2009). *Introduction to Network Simulator NS2.* Nueva York : Springer.

Kouvatsos, D. (2009). *Traffic Engineering, Performance Evaluation Studies and Tools for Heterogeneous Networks.* Dinamarca: River publisher.

Velásquez , A., & Solórzano, O. (2006). *omparación Entre Los Protocolos IPSEC Y MPLS Utilizando VPN Para La Empresa.* Universidad Capitán General Gerardo Barrios, Facultad De Ciencias Jurídicas y Económicas.

Acosta Escobar, M. A., & Treminio Henriquezq, J. E. (2007). *Estudio De Ip/Tv Multicasting Para La Universidad Don Bosco.*

Adami, D., Callegari, C., Giordano, S., Mustacchio, F., Pagano, M., & Vitucci, F. (2005). Signalling protocols in diffserv-aware MPLS networks: design and implementation of RSVP-TE network simulator. *Global Telecommunications Conference,. GLOBECOM '05. IEEE,* , (págs. 792-796, Volume 2).

Adrián, D., Sebastián, R., & Marcelo, S. (2005). *Ingeniería de Tráfico en.* Universidad de la República, Facultad de Ingeniería.

Ahn , G., & Chun, W. (s.f.). *Design and Implementation of MPLS Network Simulatorupporting LDP and CR-LDP.* Universidad Chungnam Nationa, Departamento de Ingeniería Informática, Seúl.

Ahn, G., Jang, J., & Chun, W. (s.f). *An Efficient Rerouting Scheme for MPLS-Based Recovery and Its Performance Evaluation.*

Alfaro Fallas, J. A., & Echaverría Pradella, E. (2007). *Aseguramiento de la calidad de servicios en las redes basadas en el protocolo de internet ip por medio de la ingenieria de tráfico en MPLS.*

Álvarez, S. (2006). *QoS for IP/MPLS Networks.* Indianapolis: Cisco Press.

Alwayn, V. (2001). *Advanced MPLS Design and implementation.* indianapolis: Cisco Press.

Alzate, M. (2009). *Introducción al tráfico autosimilar en redes de comunicaciones.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad de Ingeniería, Bogotá.

Alzate, M. A. (2001). Modelos de Tráfico en Anlisis y control de Redes de Comunicaciones. *Revista de Ingenieria. Fcultad de Ingenieria - Universidad Distrital Fransisco Jose de Caldas, VI*.

Andersson, L., Doolan, P., & Feldman, N. (2001). *LDP Specification.*

Antelin, P., & Dordoigne, J. (2007). *TCP/IP y protocolos de internet.* Barcelona: Ediciones ENI.

Autores, V. (2003). *RSVP-TE and CR-LDP Technical Discussion.* International Telecommunication Union.

Awduche, & Rekhter. (Marzo de 2010). Multiprotocolo de Conmutación Lambda: Tráfico MPLS Combina La Ingeniería de Control con Óptica Crossconnects. *IEEEXplore, 39*(3), 111-116.

Awduche, D., Berger, L., Gan, D., Srinivasan, V., & Swallow, G. (2001). *RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnels.* RCF 3209. Recuperado el 12 de 10 de 2012, de Aplications Area: http://www.apps.ietf.org/rfc/rfc3209.html

Balon, S., Melon, L., & Leduc, G. (2006). *A scalable and decentralized fast-rerouting scheme.* Belgica.

Barceló, J. (2008). *Protocolos y aplicaicones internet.* Barcelona: Editorial UOC.

Bassi, R. (2001). *Definitions and Concepts, Internet Dictionary.* Asociación Links, Cuidad de México.

Belzarena, P. (2009). *Ingeniería de tráfico en línea en redes MPLS Aplicando la Teoría de Grandes Desviaciones.* Universidad de la república Montevideo, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Montevideo.

Berson, S., & Herzog, S. (2009). Resource ReSerVation Protocol (RSVP).

Bobbio, F., & Chávez, R. (1999). *Tráfico Multimedia en Redes ATM.* Universidad Ricardo Palma , Facultada de Ingeniería Electrónica .

Boggio, L. C. (1992). Multiplexación y Acceso Multiple. En Slark, *Digital comunication.* Prentise - Hall.

Boundani, A., Cousin, B., & Bonnin, J. M. (2004). *"An Effective Solution for Multicast Scalability: The MPLS Multicast Tree (MMT).*

Braga silva, P. H. (2010). *Tecnologia MPLS/VPN.* Curitiba.

Bravo, S. M. (2005). *Implementación de una red de Pruebas para el análisis del Retardo en redes de voz sobre IP Con garantías de calidad de Servicio.* Universidad de Sevilla, Departamento de Ingeniería de Sistemas Y Automática, Sevilla.

Caprile , S. (2009). *Equisbí: Desarrollo de aplicaciones con comunicación remota basadas en módulos ZigBee y 802.15.4.* Buenos Aires: GAE.

Castellanos Hernández, W. E., & Chacón Osario, M. E. (2006). *Utilización de Herramientas Software para ell Modelado y la Simulación de Redes de Comunicaciones.* Universisdad Industrial de Santander , Bucaramanga .

Castellanos, & Chacón. (2006). *Utilización de Herramientas Software para ell Modelado y la Simulación de Redes de Comunicaciones.* Universisdad Industrial de Santander, Bucaramanga.

Coimbra, E. (2010). *Red de Transporte MPLS.* Coimbraweb, Bogotá.

coimbraweb. (2010). *Red de Transporte MPLS.*

Colobran, M., & Galindo, M. (2008). *Administración de sistemas operativos en red.* Barcelona: UOC.

Cruz, E., Ramos , R., Sales, M., & Guilherme, A. (2006). *Engenharia De Tráfego Nas Redes Mpls: Uma Análise Comparativa De Seu Desempenho Em Função De Suas Diferentes Implementações.* World Congress on Computer Science, Engineering and Technology Education, Sao Pablo.

Cuenca Castillo, P. Á. (1999). *Tendencias en Redes de Altas Prestaciones.* Ediciones de la universidad de Castilla- La Mancha.

De Ghein, l. (2007). *MPLS Fundamentals.* Cisco Press.

De Oliveira, S. (2004). *Una propuesta de arquitectura MPLS/DiffServ para proveer mecanismos de calidad de servicio (QoS) en el transporte de la telefonía IP.* Madrid.

De rezende costa, M., & Bergamin, W. (2007). Perfil sensorial e aceitação de presuntos crus produzidos por métodos tradicionais e acelerado. *ciencia tecnologia alimentacion*.

Delfino, A., Rivero, S., & San Martín, M. (2007). *Ingeniería de ráfico en redes MPLS.* Montevideo, Uruguay.: Universidad de la República.

Diaz, D. (2008). *Arquitectura de red MPLS.* Lima.

Diáz, D. (2011). *DISEÑO DE UNA RED MULTISERVICIOS ORIENTADA A .* SANGOLQUÍ.

Diaz, J., Pardo, K., & Pizarro, S. (2001). *Ethernet: Su origen, funcionamiento y rendimiento.* Universidad del Norte, Ingeniería y Desarrollo, Barranquilla.

Doménico, J. (2009). *MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE TRÁFICO EN REDES MPLS.* Potifica Universisda de Cataólica del Perú, Ingenieria Telemática , Lima.

Doménico, J. I., & García, L. V. (2009). *Medición y análisis de tráfico en redes MPLS.* Pontificia Universidad Catolica de Peru, Peú.

Dominguez, B. (2005). *Computación distribuida: Grid computing.* Universidad San Carlos de Guatemala, Escuela de ciencias y sistemas, Guatemala.

Donoso, Y., Fabregat, R., Marzo, J., & Calle, E. (2009). *Extensión de los métodos Hop-by-Hop, CR-LDP y RSVP-TE para Multicast IP sobre MPLS.* Universidad del Norte, Departamento de Ingeniería, Universidad del Norte, Universidad de Girona.

Farrel, A., & Bryskin, I. (2006). *Gmpls: Architecture And Applications.* Moegan kaufman.

Feeney, L., & Crovella, M. (2010). *NETWORKING 2010.* Chennai: Springer.

Feldmann, A., Greenberg, A., Lund, C., Reingold, N., & Rexford, J. (2000). NetScope: Traffic Engineering for IP Networks.

Fernández Méndez, l., Pérez Martínez, F., Mellado García, F., & Cabanes Martínez, R. (1998). *II CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN.* Madrid: Inforama, S.A.

Fernández, M. F. (2008). *Tecnicas de ataque a equipos con sistema operativo Unix o derivados.* Argentina.

Flake, G. (2000). *The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation.* Paperback.

Foncubierta , A., & Bueno , R. (S.f.). *Analisís de calidad de video H.264 en streaming sobre HSUPA.* Universidad de Sevilla, Tesis de grado, Sevilla.

Galán Jiménez, J., & Melón Pérez, M. Á. (2008). *Framework para el desarrollo del encaminamiento interdominio con QoS Basado en PCE Sobre MPLS.*

García Girón, G. (2009). *PROPUESTA DE MIGRACIÓN DE LA RED NGN DE UNA OPERADORA.* Lima.

Gil Vázquez, p., & Pomares Baeza, J. (2010). Redes y transmisión de datos. En P. Gil Vázquez, & J. Pomares Baeza, *Redes y transmisión de datos* (pág. 20).

Gil, J. (2009). *Protocolo de transporte en tiempo real.* Universidad de cordoba, Ingeniería tecnica informática de sistemas, Cordoba.

González, M. E. (2008). *Análisis de tráfico en sistemas inalámbricos.* Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Facultad de Ingeniería, San Pedro.

Griot, M., Remersaro, S., & Tucci, G. (2008). *Ingeniería de Tráfico en Tiempo Real Sobre MPLS Implementación en un Ambiente Linux.* Universidad de la República de Montevideo, Facultad de Ingeniería, Montevideo.

Hernández, C., & López, D. (2011). CR-LDP como Protocolo de Señalización en Redes de Conmutación de Etiquetas Multiprotocolo. *Revista Universidad de Antioquia No 58*, 133-141.

Herrera, E. (2003). *TECNOLOGÍAS Y REDES DE TRANSMISIÓN DE DATOS.* Limusa.

Holbrook, H. (2006). RFC 4604 IGMPv3/MLDv2 for SSM.

Hong, D., Hong, C. S., & Kim, W.-s. (2006). *A Segment-based Protecction Scheme for MPLS Network Survivability.* Korea.

Huerta, M., Calderón, O., & Hesselbach, X. (2006). *Reducción del Ancho de Banda del LSP en Redes MPLS Aplicando Multicommodity Flows.* Universidad del Cauca, Universidad Politécnica de Cataluña.

Huidobro Moya, J. (2004). *Guía esencial de telecomunicaciones.* Thomson Paraninfo.

Jamoussi, B., Asj, J., Lee, Y., Ashwood-Smith, P., Fedyk, D., Shalecki, D., & Li, L. (2002). *LSP Modification Using CR-LDP.* RFC 3214.

Jin, Z., Lung, C., Xia, X., Srinivasan, A., & Yi, L. (2005). Securing RSVP and RSVP-TE signaling protocols and their performance study, Information Technology: Research and Education. *ITRE 2005. 3rd International Conference.*, (págs. 90-94).

Joskowicz, J. (2008). *Red de datos.* Universidad de la República, Instituto de Ingeniería Eléctrica, Montevideo.

Klemm , A., Lindemann, C., & Lohmann, M. (2001). *Traffic modeling and characterization for UMTS networks GLOBECOM '01. IEEE.* Universidad de Dortmund, Ciencias de la Computación , San Antonio .

Larroca, F. (2010). *Ingeniería de Tráfico IP-TE y MPLS-TE.* Uruguay.

Li, L.-z., & Zhu, Y.-q. (2008). *Deploying Bidirectional Multicast Shared Trees in MPLS Networks.*

Lloret Mauri, J., García Pineda, M., & Boronat Segui, F. (2009). *IPTV: La televisión por Internet.* Málaga: Vértice.

Lopez, D., Gelvez García, N. Y., & Pedraza, L. F. (2011). *Modelo Para La Protección de Conexiones en Redes IPS.*

López, D., Hernández, & O., C. &. (2012). Redes multidifusión utilizando conmutación de etiquetas multiprotocolo y estándares de señalización. *Información Tecnológica Vol. 23(6), doi: 10.4067/S0718-07642012000600006*, 43-50.

López, D., Hernández, C., & Salcedo, O. (2009). Evaluación del Desempeño en redes de Datos MPLS/IP. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia No 50*, 172-178.

Marcons, A. (2008). *Impementacion de Tecnicas y Sincronizacion para Sistemas OFDM .* Bellaterra: Universidad Autonoma de Barcelona.

Marzo, J., & Calle, E. (2007). *Extensión de los métodos Hop-by-Hop, CR-LDP y RSVP-TE Para Multicast IP Sobre MPLS.* Universidad del Norte Barranquilla, Ingenieria de Telecomunicaciones , Barranquilla.

Mathon, P. (2003). *Windows Server 2003: Servicios de Red TCP/IP.* Barcelona: Ediciones ENI.

Matsui, K., Kaneda, M., & Matsuda, K. (2010). Evaluation of a server-based traffic engineering architecture suitable for large-scale MPLS networks. *Information and Telecommunication Technologies (APSITT), 8th Asia-Pacific Symposium* , (págs. 1-6).

Meisel, Y. D. (2002). *Extensión de los métodos Hop-by-Hop, CR-LDP y RSVP-TE para Multicast IP sobre MPLS.* Universidad del Norte, Barranquilla.

Mendenhall, W. (2006). Introduction to probability and Statistics. En W. Mendenhall, *Introduction to probability and Statistics* (págs. 449-451). Mexico: Bokks/cole.

Mictic. (23 de Marzp de 2011). *MICtic*. Recuperado el 28 de Agosto de 2012, de http://www.mintic.gov.co/

Minero, M., & Alarcon, V. (2009). *Reconfigurable Path Restoration Schemes for MPLS Networks.*

Montero , A. (2007). *Estadística II.*

Morris, S. (2003). *Network Management, Mibs and Mpls.* Pearson Education, Inc.

Nield, S., Deman, T., Chateau, M., & Elmaleh, F. (2008). *Windows Server 2008 R2: administración avanzada.* Barcelona: Ediciones ENI.

OMNet++. (23 de 03 de 2009). *ehas*. Recuperado el 15 de 9 de 2012, de ehas: http://download.ehas.org/docs/herramientas_planificacion/analisis_herramientas_planificacion.html

OMNeT++, C. (2009). *OMNeT*++. Retrieved 2011 йил 21-Abril from What is OMNeT++?: http://www.omnetpp.org/home/what-is-omnet

Ortega, R. R. (2007). *Mecanismos de Protección en Escenarios.* Universidad Carlos III de Madrid, Ingenieria Télematica, Madrid.

Owens, K., Huang, C., Hellstrand, F., & Cain, B. (2001). *Framework for MPLS-based recovery.*

Padilla Aguilar, J. J. (2009). Componentes de la Ingeniería de Tráfico. *Recomención ITU-T*, (págs. 2-6).

Padilla, J. (2008). *Redes de Datos-Congetión en Redes de Datos.* Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga .

Pan, P., Swallow, G., & Atlas, A. (2005). *Fast Reroute Extensions to RSVP-TE for LSP Tunnels.* RFC 4090.

Peña, A. G. (2010). *Nivel de desempeño en redes IPv4 con respecto a redes IPv6 con MPLS y RSVP.* Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Bogotá.

Pepelnjak, I., & Guichard, J. (2003). *Arquitecturas MPLS y VPN.* Cisco Press.

Perea, J. (2012). *Integración de Los Protocolos FhamIPv6 y MPLS Para Proveer Calidad De Servicios en Redes Móviles Ad-Hoc.* Unicartagena, Ingenieria de Sistemas, Cartagena.

Pérez , C. (2007). *Trasnmisión de la Televisión Digital.* Universidad de Cantabria, Ingeniería de Comunicaciones, Cantabria.

Peterkin, R., & Ionescu, D. (2006). A Hardware/Software Co-design for RSVR-TE MPLS. *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering CCECE/CCGEI.* Ottawa.

Pinzón, O. A. (2011). *Estado del Arte de MPLS-TP.* Universidad Distrital “Francisco José de Caldas, Bogotá.

Porras Castro, S., & Rivera Moreno , P. C. (S.f.). *Análisis del algoritmo algebraico de asignación dinamica del buffer para sistemas de*

encolamiento bajo condiciones de tráfico autosimilar. Universidad Politecnica Salesiana.

Rahman, M., Kabir, A., Lutfullah, K., Hassan, M., & Amin, M. (2008). Performance analysis and the study of the behavior of MPLS protocols. *Computer and Communication Engineering, International Conference*, (págs. 226-229).

Ramirez, R. (2011). *Soluciones tecnologicas en Informatica y comunicaciones.* Universidad Autonoma de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá.

RNDS. (2011). *Ancho de Banda y Almacenamiento.* Revista Negocios de Seguridad Informatica, Buenos Aires.

Rocha, F. (2011). ANÁLISIS DE TRÁFICO EN REDES AD HOC .

Romeral, R. (2007). *Mecanismos de protección en escenarios IP-MPLS multidominio.* Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería de Telemática, Madird.

Romero Ternero, M. D. (2009). Calidad de servicio (QoS) en redes.

Romero, M. (2009). *Calidad de Servicio (QoS) en Redes.* Universidad de Sevilla, Departamento de Tecnología Electrónica, Sevilla.

Rosen, E., Viswanathan, A., & Callon, R. (2001). *Multiprotocol Label Switching Architecture.* RFC 3031.

Samudio, M. (2010). *Estado del Arte de la Televisión Fija, Móvil y Visión Futuro.* Comisión Nacional de Televisión, Bogotá.

Sánchez, J. (2006). *Modelo deTrafico Para MPEG-4.* Proyecto de Grado, Fundacion Universitaria San Martin , Facultad de Ingenieria Electronica y Telecomunicaciones , Bogota.

Schulzrinne, H., & Casner, S. (1996). RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. 3.

Sharpe, R. (s.f). *Wireshark User's Guide for Wireshark 1.7.* NS Computer Software and Services P/L.

Simulación. (2014).

Smith, D., Mullooly, J., & Jaeger, W. (2011). *Label Edge Router Forwarding of IPv4 Option Packets.*

Soto, I., Larrabeiti, D., & Moreno, J. (s.f.). *Protocolos de selalización para el transporte de Voz sobre redes IP.* Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería Telemática, Madrid.

Spainhower, M., Butts, J., Guernsey, D., & Shenoi, S. (2008). Security analysis of RSVP-TE signaling in MPLS networks. *University of Tulsa, Department of Computer Science, International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 68-74.

Sportack, M. A. (2003). *Fundamentos de Enrutamiento IP.* Cisco Press.

Srinivasa, C., & L.P., B. (2004). *Multiprotocol Label Switching (MPLS) Label Switching.*

Suncheul, K., Jaehyung, P., & Byung-ho, Y. (2005). A scalable and load-efficient implementation of an RSVP-TE in MPLS networks. *Advanced Communication Technology ICACT. The 7th International Conference*, (págs. 950-953).

Tanenbaum, A. S. (2003). *Redes de Computadoras.* Pearson Education.

The Network Simulator - ns-2. (s.f.). Recuperado el 15 de 07 de 2012, de The Network Simulator - ns-2: http://www.isi.edu/nsnam/ns/

Wiley , J., & Sons. (2008). *IP Multicast with Applications to IPTV and Mobile DVB-H.* Canada: Willey.

Xipeng, Hannan, Bailey, & Ni. (Abril de 2000). Ingeniería de Tráfico con MPLS en Internet. *IEEEXplore, 14*(2), 28-33.

Xylomenos, G., Vogkas, V., & Thanos, G. (2008). the multimedia broadcast/multicast service. *WIRELESS COMMUNICATIONS AND MOBILE COMPUTING*, 225-265.

Yuanzhe, X., & Chin-Tau, L. (2011). Network-Coding Multicast Networks with QoS Guarantees. *Networking, IEEE / ACM Transactions on, 19(1)*, (págs. 265-274). Hong Kong, China.

Zacker, C. (2002). *Redes (Manual de referencia).* España: Mac Graw-Hill.

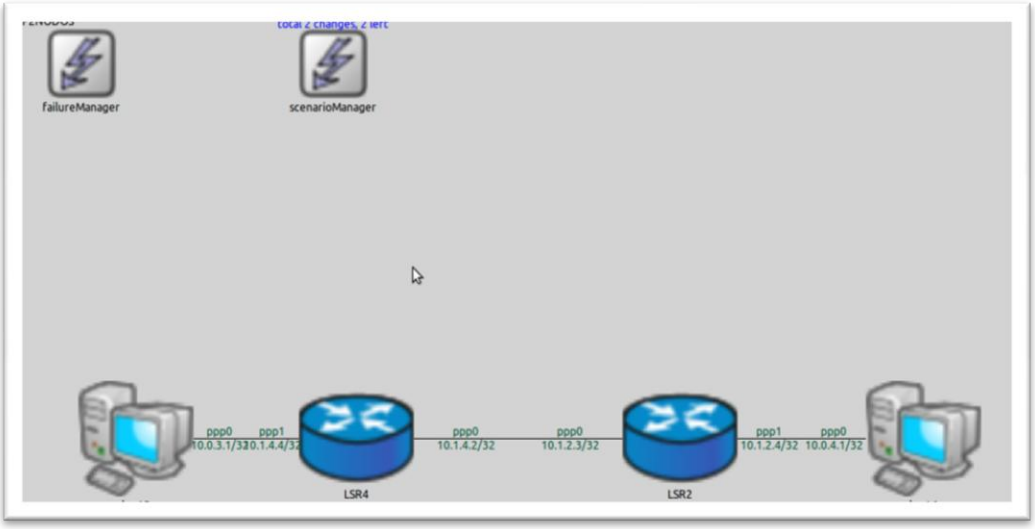
ANEXO A

PRUEBA DEL SIMULADOR.

El simulador OMNet++ es sometido a cuatro pruebas para corroborar que realiza las acciones que son necesarias para realizar las simulaciones presentes en el proyecto de investigación, la idea es realizar dos tipos de escenarios básicos y hacer pruebas mínimas de funcionamiento.

La prueba comienza con una de las topologías más básicas que existe en las redes de datos llamada punto a punto, donde el objetivo es enviar paquetes, verificar que se reciban con éxito dañar enlaces para verificar que en realidad no se puede transmitir ningún tipo de información y por ultimo confirmar que el protocolo MPLS trabaja correctamente adicionando las cabeceras descritas en el capítulo 4.

Figura 33. Topología dos usuarios y dos nodos



El escenario de la Figura 29 se muestra dos nodos cada uno con dos usuarios se realiza una prueba para verificar el rendimiento de la red tan solo con 1K de ancho de banda, los resultados que arrojo fueron los que se muestran el la tabla 23.

Se hicieron dos tipos de prueba una con el enlace de 100K y otra con el enlace de 1K para la primer prueba el paquete que se envió del usuario 3 al usuario 4 llego con éxito, caso contrario en la segunda prueba se simula que el enlace no existe por ese ancho de banda que fue asignado el paquete no logro arribar al usuario 4, teniendo en promedio 0.1 segundo más de ventaja.

Tabla 33. Resultados de las pruebas 1 y 2

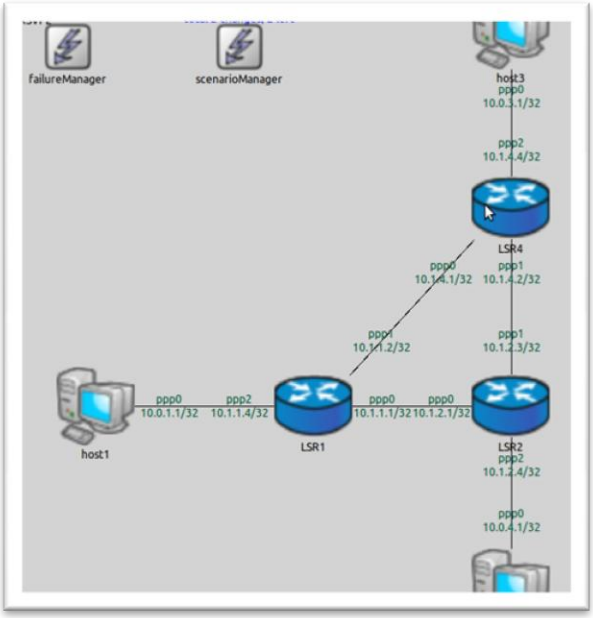
Número de prueba	BW	Tamaño del paquete	Tiempo	Número de eventos
1	1K	128 b	1,3888 s	99
2	100K	128 b	1,1797 s	224

Ahora bien La cabecera MPLS es un IP que el programa coloca después de la cabecera IP se uso la prueba número dos para comprobarlo, mientras que la simulación esta corriendo va mostrando los eventos que tienen lugar en la simulación y se muestran de la siguiente manera:

"** Event #24 T=0.002183333333 LDP2NODOS.LSR4.mpls (MPLS, id=41), on `UDPBasicAppData-0' (IPv4Datagram, id=50)", es decir que la cabecera 41 de MPLS se adiciono al paquete IP y lo hiso en el evento 24.

Continuando con la prueba del simulador se planteo el escenario de la Figura 30. Con el objetivo de probar si el protocolo RSVP-TE tiene ventajas sobre un escenario donde no se aplique dicho protocolo.

Figura 34. Prueba de RSVP-TE



En la tabla 26 se muestran los resultados que se obtuvieron de las pruebas mencionadas anteriormente se muestra que para enviar un paquete en la red sin el uso del protocolo se tomo dos segundos y la cantidad de eventos que se mostraron fueron un 46 porciento menos que las que se tuvieron en un segundo con el uso del protocolo tiempo suficiente para enviar un paquete de un usuario a otro.

Tabla 34. Resultado de las pruebas 3 y 4

Número de prueba	Tamaño del paquete	Tiempo	Número de eventos	Protocolo
1	128 b	2 s	355	Sin RSVP-TE
2	128 b	1 s	756	Con RSVP-TE

ANEXO B

Clases para la configuración y construcción del código en C++ de simulación en OMNet++:

En la tabla 27 se muestra una pequeña parte del código de una clase MPLS para configurar una red con el protocolo de conmutación de etiquetas, sus características y cualidades son descritas en el mismo.

Tabla 35. Clase MPLS

Clase	Código

configurar el protocolo MPLS	simple MPLS
	{
	parameters:
	string classifier; // a module which implements the IClassifier C++ interface
	@display("i=block/switch");
	gates:
	input netwIn[] @labels(IPv4Datagram);
	output netwOut[] @labels(IPv4Datagram);
	input ifIn[] @labels(MPLSPacket,IPv4Datagram);
	output ifOut[] @labels(MPLSPacket,IPv4Datagram);
	}

En la tabla 26 se muestra una breve parte de como se debe configurar una clase LDP protocolo que se usa para generar los caminos básicos que se crean gracias a las etiquetas del protcolo MPLS.

Tabla 36. Clase LDP

Clase	Código

configurar el protocolo LDP	simple LDP
	parameters:
	double holdTime @unit("s") = default(15s);
	double helloInterval @unit("s") = default(5s);
	@display("i=block/control");
	gates:
	input tcpIn @labels(TCPCommand/up);
	input udpIn @labels(UDPControlInfo/up);
	output tcpOut @labels(TCPCommand/down);
	output udpOut @labels(UDPControlInfo/down);

	}

En la tabla 27 se muestra el código en C++ para configurar el protocolo RSVP-TE dentro de la red MPLS, contiene parámetros complejos que se deben tener en cuenta para que el protocolo funcione con éxito.

Tabla 37. Clase RSVP-TE

Clase	Código

configurar el protocolo RSVP-TE	simple RSVPTE
	{
	parameters:
	xml traffic; // specifies paths to set up
	string peers; // names of the interfaces towards RSVPTE peers
	double helloInterval @unit(s);
	double helloTimeout @unit(s);
	@display("i=block/control");
	gates:
	input ipIn @labels(IPv4ControlInfo/up);
	output ipOut @labels(IPv4ControlInfo/down);
	input mplsSwitchIn;
	input appIn;
	}

En la tabla 28 se muestra un apartado de código en MATLAB, de como se analizó enlace por enlace, lo que se observa en esta tabla es para un solo enlace, es decir se debe replicar lo mismo para cada uno de los enlaces existentes dentro de la red; las variables que se están dentro del código se crean con valores iniciales que arroja la traza del simulador OMNet++

Tabla 38. Código para analizar el enlace 1

Enlace	Código

Enlace 1	%Enlace 1
	for i=1:length(Ldp10nodos)
	if(strcmp(Ldp10nodos(i),'PRUELDP.LSR1.ppp[1].ppp'))
	if(strcmp(Ldp10nodos(i,2),'txPk:count')) a=i;
	end
	end

	if(strcmp(Ldp10nodos(i),'PRUELDP.LSR3.ppp[0].ppp'))
	if(strcmp(Ldp10nodos(i,2),'txPk:count')) b=i;
	end
	end

En la tabla 29 se muestra el código fuente para obtener una grafica en forma de barras y así mostrar los resultaos parciales del presente trabajo de investigación, el código es una parte del total implementado, fue realizado y compilado en el software matemático MALAB

Tabla 39. Graficar en forma de barras

Tipo de gráfica	Código

Barra	function []= Gbarras(Xrsvp,Xldp,n)
	%%%%%Grafica de barras número 1
	figure
	
	h = bar(Xrsvp);
	set(get(h(1),'BaseLine'),'LineWidth',2,'LineStyle',':')
	
	title(['Ocupación en los enlaces con protocolo RSVP-TE para ',num2str(n),' Usuarios '],'Fontsize',13)
	grid on
	l=max(Xrsvp);
	text('String',['Enlace con más paquetes = ',num2str(l)],'Position',[12 700000],'FontSize',12,'BackgroundColor',[.7 .9 .7])
	l3=min(Xrsvp);
	text('String',['Enlace con menos paquetes = ',num2str(l3)],'Position',[12 600000],'FontSize',12,'BackgroundColor',[.7 .9 .7])
	
	ylabel('Cantidad de Paquetes','Fontsize',13);
	xlabel('Número de enlace','Fontsize',13);
	v=var(Xrsvp);
	s=std(Xrsvp);
	m=median(Xrsvp);

En la tabla 30 se muestra el código implementado en MATLAB para visualizar los datos en una grafica polar, datos que se graficaron inicialmente en forma de barras pero para hacer una comparación fue necesario realizar este código para una mejor visualización de los datos de forma comparativa; se adiciona una línea de código para hacer el análisis de la varianza mencionado en el capitulo 4.

Tabla 40. Grafica polar

Tipo de gráfica	Código

Polar	function [] = GPolar(radio1,radio,n)
	
	%radio = [1453,721426,794322,1450,1451,1452,794316,1440,721438,1440,1453,1454];
	
	%radio1 =
	[252479,360000,972478,972458,756027,756030,252475,0,36036,576437,756028,36040]
	%análisis de Varianza
	transpuesta=radio1';
	transpuesta2=radio';
	for i=1: length(transpuesta)
	transpuesta(i,2)=transpuesta2(i);
	end
	f=anova1(transpuesta);
	
	radio1 = [radio1,radio1(1)];
	tetha = linspace(0,2*pi,length(radio1));
	
	p1=polar(tetha,radio1);
	set(p1,'Color','blue','LineWidth',2)

ANEXO C

OMNET++

Para la construcción de los escenarios anteriormente detallados, fue necesario entender el manejo del software de simulación determinado, así como establecer los parámetros que se requieren para su correcto funcionamiento.

OMNet++ una herramienta de simulación de licencia gratuita que ofrece un entorno de simulación para eventos discretos, basados en lenguaje C++ permite la aplicación y desarrollo de módulos para simular diferentes tipos de protocolos; bajo las características de dos topologías sencillas se realizaron pruebas al simulador para verificar que el modulo inet entregara datos confiables, esta pruebas se muestran en el anexo A.

OMNeT++ nace como una versión libre de distribución para fines académicos desarrollada por Omnest Global Inc, esta soportada por varios sistemas operativos como Windows, Linux y UNIX.

Entre la mayoría de sus actuales aplicaciones se encuentran el modelamiento de tráfico en distintas clases de redes tanto cableadas como inalámbricas, además de la aplicación de diversos protocolos, también permite la evaluación de distintas arquitecturas de red para analizar su rendimiento, entre otras aéreas de estudio.

OMNeT++ proporciona una arquitectura de componentes para los modelos, estos componentes (módulos) están programados en C++, reunidos en grandes estructuras en lenguaje de alto nivel (NED). La manipulación de estos modelos es de forma gratuita y libre de distribución, OMNeT++ tiene un amplio apoyo en la interfaz gráfica de usuario, mostrada en la figura 6, y debido a su arquitectura modular, el núcleo de simulación y modelos, pueden ser integrados fácilmente en sus aplicaciones (OMNeT++, 2009).

El simulador OMNet++ 4.2.2 puede ser instalado en sistemas operativos como Windows, Mac OS X y Linux(Ubuntu, Fedora, Red, Hat y OpenSUSE), para el desarrollo de éste proyecto de grado fue necesario instalarlo en Linux (Ubuntu 12.04), debido a que el paquete de modelos Inet cuál es el que contiene modelos para IP, TCP, UDP, PPP, Ethernet, MPLS con señalización

LDP y RSVP-TE, y otros protocolos, su funcionamiento está desarrollado la Linux Ubuntu.

La instalación del software que aparece en la Figura 31, se hace por medio de la terminal de Ubuntu 12, los siguientes pasos descritos a continuación se deben realizar en orden y como aparecen a continuación.

Figura 35. Omnet++

(OMNet++, 2009)

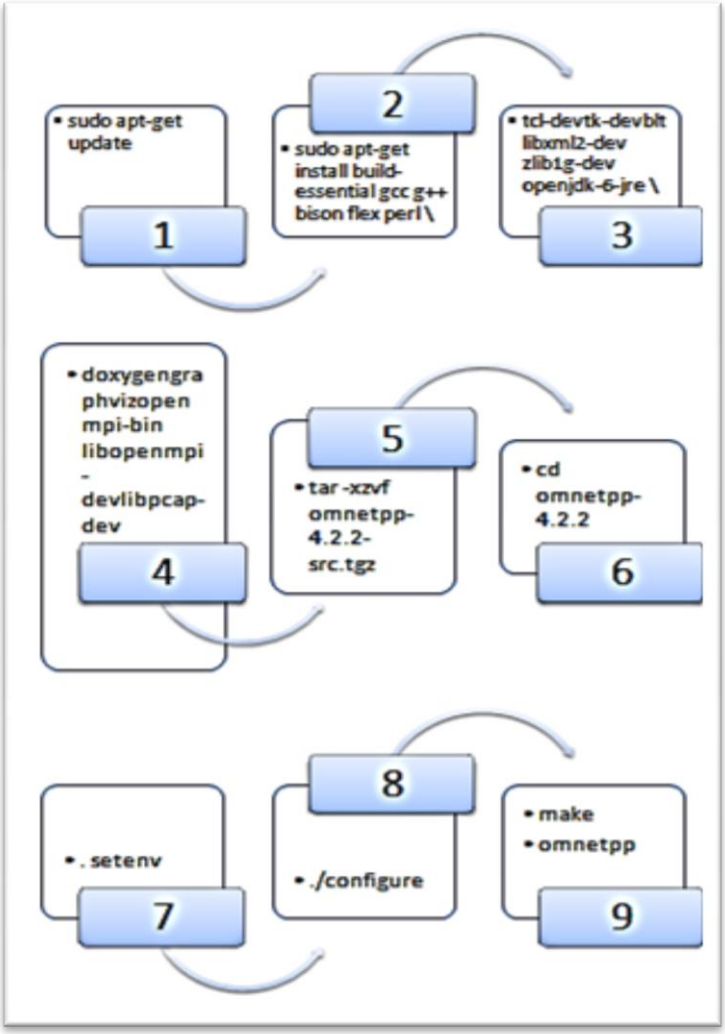
Para la agregación a la biblioteca del software es necesarios seguir está serie de pasos:

Para descargar el paquete de instalación es necesario copiar la siguiente línea de código en la carpeta de Omnet++ y copiarla en la terminal:

“wgethttp://github.com/inetframework/inet/blob/integratio/WHATSNEW”.

Seguido a la descarga del paquete se deben ejecutar en orden los pasos que están descritos en el diagrama 1, el procesamiento de cada paso tiene tiempo de ejecución diferente ya que en cada paso se esta realizando el proceso de instalación del software.

Diagrama 1. Proceso de instalación de OMnet++



(Simulación, 2014)

Para finalizar con la instalación y comprobar que se realizó con éxito se debe realizar la acción que aparece en la figura 32.

Figura 36. Comando final para la ejecución de simulador Omnet++

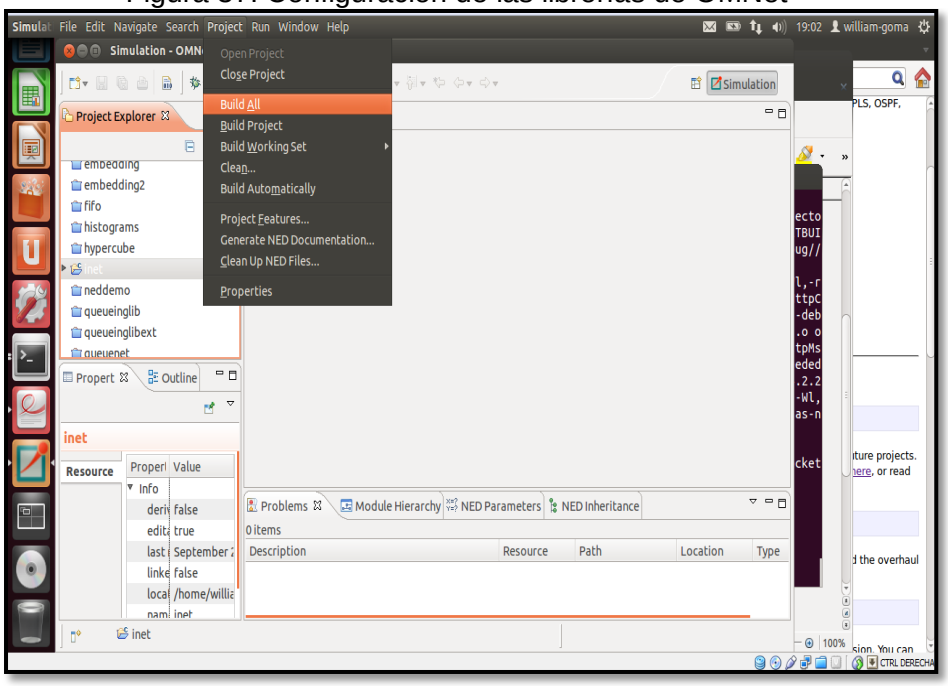
```
Now you can type "omnetpp" to start the IDE
william-goma@williamgoma-VirtualBox:~/omnetpp-4.2.2$ omnetpp
```

(Simulación, 2014)

En la figura 33 se realiza la acción Built all para sincronizar todas las carpetas que se han instalado como apartes de simulador en este caso el

modulo inet, que contiene los requerimientos básicos para simular con el protocolo MPLS.

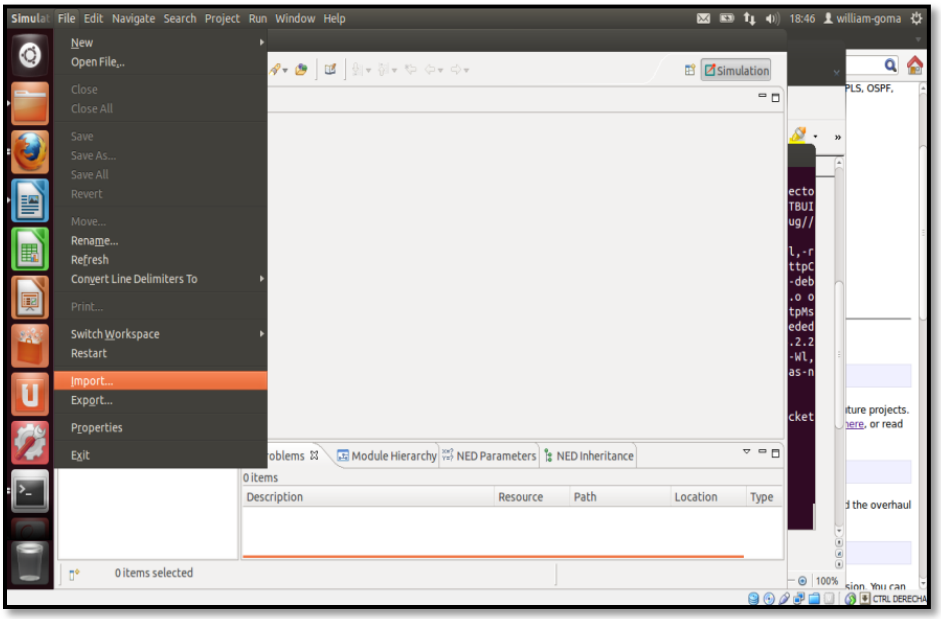
Figura 37. Configuración de las librerías de OMNet++



(Simulación, 2014)

Luego de lo anterior, se debe importar la carpeta del módulo inet; para realizar esta acción se procede en el ítem de import como se muestra en la Figura 34.

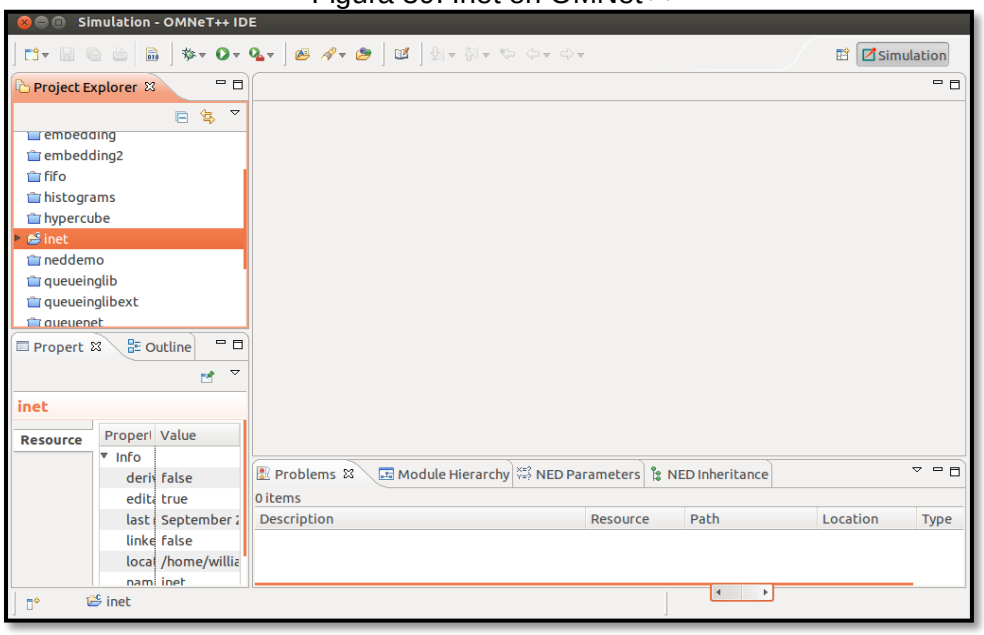
Figura 38. Importación del módulo inet al simulador



(Simulación, 2014)

En la Figura 37 se muestra que la importación e instalación del módulo inet finalizó con éxito porque en la parte izquierda de la misma la carpeta inet aparece propiamente en el entorno del simulador.

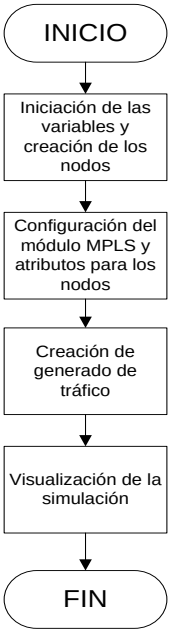
Figura 39. Inet en OMNet++



(Simulación, 2014)

La creación de los generadores de tráfico es el paso a seguir donde se le define el tamaño del paquete a genera para este caso se asume una variación entre 80 a 500 bytes. Finalmente se ejecuta el algoritmo para obtener una visualización de la simulación, en la diagrama 2 se puede encontrar en diagrama de flujo el proceso lógico para la creación de la simulación

Diagrama 2. Proceso de la creación de la simulación



(Simulación, 2014)