

TUTORIAL SIMULADOR OPEN SIM-MPLS

**JOE BERMÚDEZ CANO
ROBERT SJOGREEN ESCORCIA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARTAGENA DE INDIAS
2007**

TUTORIAL SIMULADOR OPEN SIM-MPLS

JOE BERMÚDEZ CANO

ROBERT DOUGLAS SJOGREEN ESCORCIA

**Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de
Ingenieros Electrónicos**

DIRECTOR

JOSÉ LUIS VILLA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍAS

DIRECCIÓN DE PROGRAMAS DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARTAGENA DE INDIAS, D. T. Y C

2007

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias D.T. y C., Viernes 14 de Enero de 2005

Yo, **JOE BERMÚDEZ CANO**, identificado con Cédula de Ciudadanía # 1.047.369.716 de Cartagena, autorizo a la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR** para el uso de mi monografía titulada “**TUTORIAL SIMULADOR OPEN SIM-MPLS**” y para su publicación en el Catálogo online de la biblioteca.

JOE BERMÚDEZ CANO
C.C. # 1.047.369.716 de Cartagena

Debe registrarse esta autorización ante notario público.

AUTORIZACIÓN

Cartagena de Indias D.T. y C., Viernes 14 de Enero de 2005

Yo, **ROBERT SJOGREEN ESCORCIA**, identificado con Cédula de Ciudadanía # 73.207.998 de Cartagena, autorizo a la **UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR** para el uso de mi monografía titulada “**TUTORIAL SIMULADOR OPEN SIM-MPLS**” y para su publicación en el Catálogo online de la biblioteca.

ROBERT SJOGREEN ESCORCIA
C.C. # 73.207.998 de Cartagena

Debe registrarse esta autorización ante notario público.

Cartagena, septiembre de 2007

Señores
Dirección de Programa
Ingenierías Eléctrica y Electrónica
Universidad Tecnológica de Bolívar
La Ciudad

Estimados señores:

A través de la presente me complace presentar el trabajo de monografía desarrollado por los estudiantes Joe Bermúdez Cano y Robert Sjogreen Escorcia titulada “**TUTORIAL SIMULADOR OPEN SIM-MPLS**”. Esta monografía es presentada como requisito para optar el título de Ingenieros Electrónicos en el marco del Minor en Telecomunicaciones. El presente documento ha sido revisado y aprobado por mi parte como director del trabajo.

Cordialmente,

JOSÉ LUIS VILLA
Profesor Asociado
Universidad Tecnológica de Bolívar

Cartagena, septiembre de 2007
Señores

COMITÉ DE PROYECTOS DE GRADO
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Escuela de Ingenierías
Ciudad

Estimados señores:

La presente tiene como objeto presentarles la monografía titulada "**TUTORIAL SIMULADOR OPEN SIM-MPLS**", como requisito para optar el título de Ingenieros Electrónicos.

Cordialmente,

Joe Bermúdez Cano

Robert Sjogreen Escorcía

ARTÍCULO 105

La Universitaria Tecnológica de Bolívar se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grado aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Cartagena, septiembre de 2007

Dedicatoria de Joe Bermúdez Cano

**A mi madre por todo el apoyo
que me ha brindado y porque ha dado
todo lo que le ha sido humanamente posible
por verme hoy convertido en un profesional.**

Cartagena, septiembre de 2007

Dedicatoria de Robert Sjogreen Escorcía

**A mis padres por todo el apoyo
que me han brindado y porque han dado
todo lo que le ha sido humanamente posible
por verme hoy convertido en un profesional.**

AGRADECIMIENTOS

Le damos las gracias al Ing. Gonzalo López por toda la colaboración brindada durante la realización de la monografía, de igual manera a nuestro director de monografía Ing. José Luis Villa por dirigirnos en todo el proceso.

A todas aquellas personas que no mencionamos, que de una u otra forma nos colaboraron para que esta monografía fuera un éxito

Muchas gracias!

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. TEORIA DE MPLS	6
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ARQUITECTURA MPLS.....	6
2.2 CONVERGENCIA CAPA 2 (ENLACE) Y 3 (RED) DEL MODELO OSI	10
2.3 CONVERGENCIA: MPLS.....	15
2.4 ENVÍO DE PAQUETES EN MPLS	16
2.5 CONTROL DE LA INFORMACIÓN EN MPLS.....	19
3. MANUAL DE USUARIO OPEN SIMMPLS	20
3.1 FUNCIONES	22
3.1.1 TECNOLOGÍA	22
3.1.2 SIMULACIÓN.....	23
3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL OPENSIM - MPLS	24
3.3 ÁREA DE DISEÑO DE TOPOLOGÍAS.....	26
3.4 ÁREA DE SIMULACIÓN DE ESCENARIOS	31
3.5 ÁREA DE ANÁLISIS DE RESULTADOS	35
3.6 ÁREA DE OPCIONES.....	39
4. CASOS	40
4.1 CASO # 1: FAMILIARIZACIÓN CON LA INTERFACE DEL SOFTWARE OPENSIMMPLS	40
4.1.1 OBJETIVOS:.....	40
4.1.2 DESCRIPCIÓN:	40
4.1.3 PASOS:	41

4.2 CASO #2: RECUPERACIÓN DE LOS PAQUETES QUE HAN SIDO	
DESCARTADOS	53
4.2.1 OBJETIVOS:.....	53
4.2.2 DESCRIPCIÓN:	53
4.2.3 PASOS:	54
4.3 CASO #3: EFECTO DEL NIVEL DE GOS EN LAS RECUPERACIONES DE	
PAQUETES.....	66
4.3.1 OBJETIVOS:.....	66
4.3.2 DESCRIPCIÓN:	66
4.4 CASO # 4: EFECTO DEL TAMAÑO DE LA DMGP EN LAS	
RECUPERACIONES DE PAQUETES	70
4.4.1 OBJETIVOS:.....	70
4.4.2 DESCRIPCIÓN:	70
4.5 CASO #5: EFECTO QUE PROVOCA EL TAMAÑO DE LOS PAQUETES EN	
LAS RECUPERACIONES	78
4.5.1 OBJETIVOS:.....	78
4.5.2 DESCRIPCIÓN:	78
4.6 CASO #6: EFECTO DE GENERAR UN LSP DE RESPALDO EN LOS	
ENLACES.....	84
4.6.1 OBJETIVOS:.....	84
4.6.2 DESCRIPCIÓN:	84
5. CONCLUSIONES.....	89
6. BIBLIOGRAFÍA	90
7. ANEXOS	91

7.1 REQUISITOS DEL SISTEMA.....	92
7.1.1 REQUISITOS MÍNIMOS:	92
7.1.2 REQUISITOS RECOMENDADOS:.....	92
7.1.3 SISTEMAS PROBADOS CON ÉXITO (SIN DIFICULTADES):.....	92
7.1.4 SISTEMAS PROBADOS CON ÉXITO (CON DIFICULTADES):.....	93
7.1.5 SISTEMAS DONDE NO FUNCIONA:.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Dominio MPLS básico	1
Figura 2. LER dentro de un Dominio MPLS	1
Figura 3. LSR dentro de un Dominio MPLS	1
Figura 4. Topología física ATM y topología lógica IP superpuesta.....	1
Figura 5. Separación Funcional de Control y Envío	1
Figura 6. Intercambio De Etiqueta Realizado En Un Dominio MPLS	1
Figura 7. Tabla de envío de un LSR.....	1
Figura 8. Envío de paquetes a través de un dominio MPLS.....	1
Figura 9. Pestañas de la ventana escenario.	1
Figura 10. Barra de herramientas de la pestaña de diseño.....	1
Figura 11. Ventanas de propiedades de un elemento	1
Figura 12. Ventanas de propiedades de un enlace	1
Figura 13. Barra de herramientas del área de simulación	1
Figura 14. Ventana de simulación	1
Figura 15. Leyenda informativa sobre tipos de paquetes, flujos y LSP	1
Figura 16. Descartes de paquetes pertenecientes a diferentes tipos de tráfico.	1
Figura 17. Rotura de un enlace.....	1
Figura 18. Congestión artificial de nodos.	1
Figura 19. Graficas área de análisis de resultados	1
Figura 20. Grafica de paquetes descartados.....	1
Figura 21. Grafica de recuperaciones locales de paquetes GoS.	1

Figura 22. Grafica de retransmisión de paquetes con GoS atendidas.	1
Figura 23. Área de opciones de simulación.....	1
Figura 24. Diseño de dominio MPLS.....	1
Figura 25. Configuración LER activo.....	1
Figura 26. Configuración LER activo.....	1
Figura 27. Configuración LSR activo.....	1
Figura 28. Ubicación de los elementos.....	1
Figura 29. Configuración del enlace.....	1
Figura 30. Ubicación y enlace de elementos.....	1
Figura 31. Configuración del receptor.	1
Figura 32. Configuración emisor de tráfico.....	1
Figura 33. Ubicación de todos los elementos en el dominio MPLS.....	1
Figura 34. Configuración de área de opciones.....	1
Figura 35. Inicio de la simulación	1
Figura 36. Diseño de topología caso #2.....	1
Figura 37. Dominio MPLS caso # 2.....	1
Figura 38. Simulación caso # 2 dominio MPLS.....	1
Figura 39. Paquetes entrantes nodo Tunja	1
Figura 40. Paquetes salientes nodo Tunja	1
Figura 41. Paquetes descartados nodo Tunja.....	1
Figura 42. Recuperaciones locales de paquetes con GoS nodo Tunja.....	1
Figura 43. Diseño de topología caso #3.....	1
Figura 44. Recuperación de paquetes (nivel de GoS 1).....	1
Figura 45. Recuperación de paquetes (nivel de GoS 2).....	1

Figura 46. Recuperación de paquetes (nivel de GoS 3).....	1
Figura 47. Diseño de topología caso #4.....	1
Figura 48. Pantalla simulador caso # 4.	1
Figura 49. Recuperación de paquetes locales con GoS y DMGP de 32KB.	1
Figura 50. Recuperaciones de paquetes con GoS y con DMGP de 64 KB.....	1
Figura 51. Recuperaciones de paquetes con GoS y con DMGP de 96 KB.....	1
Figura 52. Grafico de recuperación de paquetes (primera sim).	1
Figura 53. Grafico de recuperación de paquetes (segunda sim).....	1
Figura 54. Grafico de recuperación de paquetes (tercera sim).	1
Figura 55. Escenario caso # 6.....	1
Figura 56. Generación del LSP principal y paquete TLDP.	1
Figura 57. LSP principal y LSP de respaldo.....	1
Figura 58. Rotura de enlace caso # 6.....	1
Figura 59. Cambio de ruta principal.	1
Figura 60. Rotura de otro enlace y generación de respaldo.....	1

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Configuración de enlaces caso # 4.....	71
Tabla 2. Configuración conmutadores / enrutadores caso # 4.	71
Tabla 3. Configuración emisores caso # 4.	71
Tabla 4. Configuración de enlaces caso # 5.....	79
Tabla 5. Configuración conmutadores / enrutadores caso # 5.	79
Tabla 6. Configuración emisores caso # 5.	79
Tabla 7. Configuración enrutadores / conmutadores caso # 6.	85
Tabla 8. Configuración emisor caso # 6.	85

1. INTRODUCCIÓN

Desde hace muchos años Internet ha tenido un gran incremento en la cantidad de usuarios, lo que ha llevado que las tecnologías fundamentales que se usaban en el siglo pasado fueran dándoles paso a otras nuevas tecnologías que fuesen capaces de darle mejor operabilidad y mayor crecimiento a la red, las nuevas tecnologías que se hicieron presentes fueron Dense Wavelength Division Multiplexing o Multiplexación por división en longitudes de onda densas (DWDM), esta es una técnica de transmisión de señales a través de fibra óptica que permite acomodar cientos de señales de manera que es posible aumentar la capacidad de la red de transporte sin necesidad de hacer nuevos tendidos de fibra, además se ha convertido en una eficaz alternativa al ATM para multiplexar múltiples servicios sobre circuitos individuales; Otra nueva tecnología que entró a reemplazar los conmutadores ATM fue una nueva generación de routers con funciones especializadas en el transporte de paquetes en el núcleo de las redes, esto complementado con una nueva arquitectura de red denominada *Multi-Prototocol Label Switching* o *conmutación de etiquetas multi-protocolo* (MPLS), forman y son consideradas fundamentales en la construcción de los nuevos cimientos para Internet del siglo XXI.

Internet puede considerarse como un modelo de red pública de datos, pero si bien es cierto también es prudente mencionar que hoy en día no llega a satisfacer todos los requisitos que se solicitan, primordialmente en ambientes corporativos e industriales en donde es necesaria una red que soporte todos los requerimientos

de velocidad y aplicaciones multimedia, una de las causas de que esto se dé, es la carencia de diferentes niveles de servicios para diferentes aplicaciones de cada uno de los usuarios, por lo tanto es necesario introducir diferentes cambios tecnológicos, los cuales den la posibilidad al usuario de tener una respuesta mas constante y que no varíen los tiempos de respuesta, todo esto y con la ayuda de diferentes tecnologías afines se ha logrado que mejoren las condiciones de Internet como modelo de red publica, aumentando la velocidad del proceso de información en la red, esto lo permite la tecnología MPLS, ya que gracias a la inclusión de nuevas aplicaciones, ofrece varios niveles de servicio para generar un entorno que garantice mejor aplicabilidad de la información.

MPLS es un estándar de la IETF (Internet Engineering Task Force o Grupo de Trabajo en Ingeniería de Internet) y definido en el RFC 3031, fue diseñado para unificar el servicio de transporte de datos para las redes basadas en circuitos y las basadas en paquetes, esta es una organización que se creo a inicio de la década de los 90, cuyo principal objetivo es contribuir a la ingeniería de Internet, actuando en diversas áreas, tales como transporte, enrutamiento, seguridad. Entre las principales funciones de MPLS se encuentra , que esta tecnología se puede utilizar como protocolo para hacer túneles (tunneling), también se puede utilizar como un sustituto de la conocida arquitectura IP sobre ATM o como una técnica para acelerar el enrutamiento de paquetes en la red, pero en realidad esta técnica hace todo eso y mas integrando la capa 2 (enlace) y 3 (red) del modelo OSI, combinando eficazmente la velocidad del switching con la inteligencia del routing, pero sería mas conveniente considerar al MPLS como un avance en el ruteo y

envió de paquetes en la red. MPLS combina en uno solo lo mejor de cada nivel (la inteligencia del *routing* con la rapidez del *switching*).

Por todo lo anterior se decidió generar un documento en el cual se pueda observar la mayoría de ventajas que genera la utilización de MPLS, documento que gestionara la aplicación del simulador OPEN SIMMPLS en donde se podrá observar diferentes situaciones que posibilitará la aplicación de MPLS, generando mayor confiabilidad y flexibilidad a la red.

Con este documento se busca concretar diferentes logros y objetivos como es el de generar un tutorial que describa la funcionabilidad del simulador OPEN SIMMPLS, destacando sus bondades en la arquitectura de una red MPLS, todo esto se realizará a través de distintos casos desarrollados en este simulador, en donde se observará diferentes situaciones en las cuales una red MPLS mejora las condiciones tanto de versatilidad como de flexibilidad en la red.

En esta monografía se encontrará un manual de usuario el cual contiene una detallada explicación del simulador OPEN SIMMPLS, es decir, se explica detalladamente las áreas que componen el simulador (área de diseño, área de simulación, área análisis y área de opciones).

En este documento encontraremos 6 casos que muestran diferentes situaciones que se pueden presentar en un dominio MPLS, estos casos fueron diseñados para que se realicen en secuencia, lo que facilita el entendimiento de estas, además es necesario mencionar que para desarrollar estos casos es necesario a ver leído previamente el manual de usuario del software OPEN SIMMPLS.

Los casos contenidos en este documento se enumeran a continuación:

a) Caso # 1: Familiarización con la interface del software OPEN SIMMPLS.

En este primer caso se creará un dominio MPLS para que el usuario comience a familiarizarse con la interface del simulador, esto es, aprender a configurar los elementos, los enlaces, simular el dominio MPLS creado.

b) Caso #2: Recuperación de los paquetes que han sido descartados

En este segundo caso se simulará una conexión con GoS y se gestionará una congestión artificial de un nodo con el fin de que se pueda observar el procedimiento de recuperación de paquetes.

c) Caso #3: Efecto del nivel de GoS en las recuperaciones de paquetes

Este tercer caso se realizará con el objetivo de observar detalladamente lo que ocurre al variar los niveles de GoS de un Emisor y como esto influye en el trazo al momento en que se realiza la recuperación de paquetes locales.

d) Caso # 4: Efecto del tamaño de la DMGP en las recuperaciones de paquetes.

En este cuarto caso se congestionará artificialmente el nodo con el fin de generar descartes de paquetes y solicitudes de retransmisión y observar que efecto produce el tamaño de la DMGP en el nodo al que se le solicitan retransmisiones en el número de paquetes que se consiguen recuperar localmente.

e) Caso #5: Efecto que provoca el tamaño de los paquetes en las recuperaciones.

En este quinto caso se realizará varias simulaciones haciendo variar el tamaño de los paquetes enviados por los emisores, esto con el fin de observar como afecta a las recuperaciones el hecho de que los paquetes aumenten de tamaño.

f) Caso #6: Efecto de generar un LSP de respaldo en los enlaces

En este sexto caso se observará el efecto de generar una ruta de respaldo en los enlaces y como se crean durante la simulación, esto se hará rompiendo artificialmente un enlace con el fin de observar la respuesta del Protocolo de recuperación flexible de caminos locales como mecanismo que obliga a restablecer rutas de seguridad para aquellos flujos que lo requieran.

2. TEORIA DE MPLS

2.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE LA ARQUITECTURA MPLS

La definición de los siguientes conceptos básicos fueron basados de los ítems [1], [2], [3] y [4] de la bibliografía, por lo que si se desea más información se puede consultar dicha bibliografía.

MPLS: (Multiprotocol Label Switching o Conmutación De Etiquetas Multi-protocolo). Conjunto de nodos MPLS adyacentes gestionados por una misma organización administrativa. Es un método para adelantar paquetes a través de una red usando información contenida en etiquetas añadidas a los paquetes IP. En la figura 1 se puede observar dentro de un elipse un dominio MPLS.

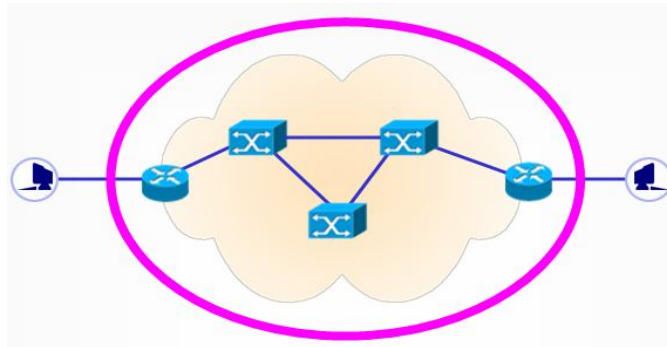


Figura 1. Dominio MPLS básico

LER: (Label Edge Router) nodo frontera. Único acceso al dominio MPLS para entrada o salida del tráfico. Clasifica y etiqueta el tráfico. Calcula y establece su ruta hasta la salida. En la figura 2 se muestran un dominio MPLS donde se muestran dos LER dentro de un círculo.

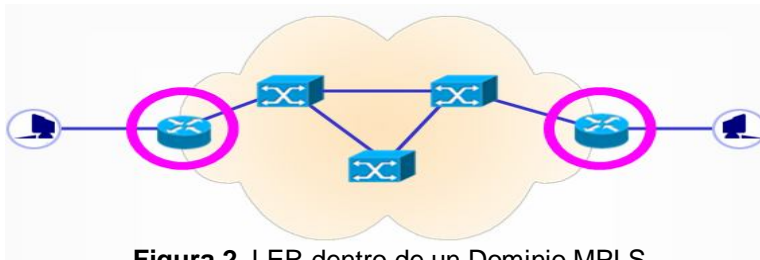


Figura 2. LER dentro de un Dominio MPLS

LSR: (*Label Switch Router*) nodo interno al dominio MPLS. Más sencillo. Su misión es conmutar paquetes lo más rápidamente posible en base a la etiqueta MPLS. En la figura 3 se muestran los LSR en un dominio MPLS encerrados en varios círculos.

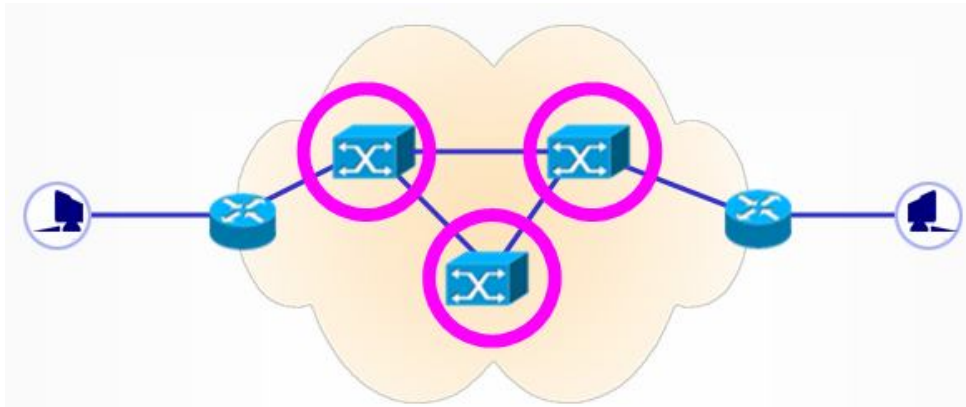


Figura 3. LSR dentro de un Dominio MPLS

FEC: (*forward equivalence class* o clase de equivalencia delantera) Es una representación de un grupo de los paquetes que comparten los mismos requisitos para su transporte. Todos los paquetes en tal grupo se proporcionan el mismo tratamiento en el camino destino.

LDP: (*Label Distribution Protocol* o Protocolo De Distribución De Etiqueta) Es un protocolo usado en una red que soporta MPLS para establecer y mantener la asignación de etiquetas.

LSP: (*Label Switched Path* o Ruta De Conmutación De Etiquetas) Es el camino por el cual se va a realizar la transferencia de información. Esta ruta es creada por un conjunto de equipos llamados LSRs los cuales representan un dominio MPLS.

La ruta o LSP es configurada para que un paquete determinado viaje o se envíe siguiendo la trayectoria etiquetada.

LIB: (Label Information Base) Los LIB's son tablas donde se encuentra la información referente a las etiquetas Entrada/Salida y al puerto por donde debe ser enviado el paquete de información. Cada LSR se basa en un LIB para saber el camino que el paquete debe seguir.

RSVP: (Protocolo de reserva de recursos) Protocolo que hace posible la reserva de recursos a través de una red IP. Las aplicaciones que se ejecutan en los sistemas finales IP pueden usar RSVP para indicarle a los otros nodos la naturaleza (ancho de banda, fluctuación de fase, ráfaga máxima, etc.) de los flujos de paquetes que desean recibir.

GPSRP: (GoS PDU Store and Retransmit Protocol o Protocolo de almacenamiento y retransmisión de PDU con GoS). Es un mecanismo por el cual los paquetes que posean algún nivel de GoS (garantía de servicio) son almacenados temporalmente en una memoria (DMGP) para su posible retransmisión local en caso de una pérdida de paquetes. Permite la confirmación o negación de la transmisión.

RLPRP: Protocolo de recuperación flexible de caminos locales. Es un mecanismo que obliga a restablecer los LSP de seguridad para aquellos flujos que lo

requieran. Este mecanismo es el que activa el camino de reserva o no en función de cómo se encuentre el enlace.

DMGP: Memoria dinámica para PDU con GoS. Es la memoria donde se almacena los paquetes privilegiados que así lo requieran.

TLDP: (Tiny Label Distribution Protocol o Subconjunto reducido del protocolo LDP a nivel funcional). Es orientado a conexión y confirmado. Se establece entre dos nodos del dominio y permite el establecimiento de LSP, la eliminación del mismo, el establecimiento del LSP de respaldo y el desarme del mismo.

EPCD: Algoritmo de captura y desechado anticipado de paquetes. Maneja el buffer de entrada de los puertos en los nodos activos. Mientras que en los no activos se sigue una técnica Round Robín, se trata de un Round Robín con prioridad; en condiciones de igualdad es un Round Robín y cuando hay paquetes privilegiados se les otorga preferencia. Además indica a GPSRP que un paquete con GoS ha caído y por tanto debe desencadenarse una petición de retransmisión.

2.2 CONVERGENCIA CAPA 2 (ENLACE) Y 3 (RED) DEL MODELO OSI

La siguiente información hasta el manual del software fue soportada el item [4] de la bibliografía, la cual se puede consultar para mayor información.

Como ya se ha venido mencionando la técnica MPLS se sustenta en básicamente en la convergencia de la capa 2 (enlace) y la capa 3 (red) del modelo OSI, con el fin de obtener un híbrido que combine lo mejor de cada nivel, esto es la inteligencia del ruteo con la rapidez de la conmutación.

El funcionamiento básico de IP/ATM se compone de la superposición de una topología virtual de routers IP (capa 3) sobre una topología real de conmutadores ATM (capa 2). Cada router comunica con el resto mediante los circuitos virtuales permanentes (PVCs) que se establecen sobre la topología física de la red ATM. Los PVCs actúan como circuitos lógicos y proporcionan la conectividad necesaria entre los routers de la red. Estos, sin embargo, desconocen la topología real de la infraestructura ATM que sustenta los PVCs. Los routers ven los PVCs como enlaces punto a punto entre cada par. En la figura 4, se representa un ejemplo en el que se puede comparar la diferencia entre la topología física de una red ATM con la topología lógica IP superpuesta sobre la anterior.

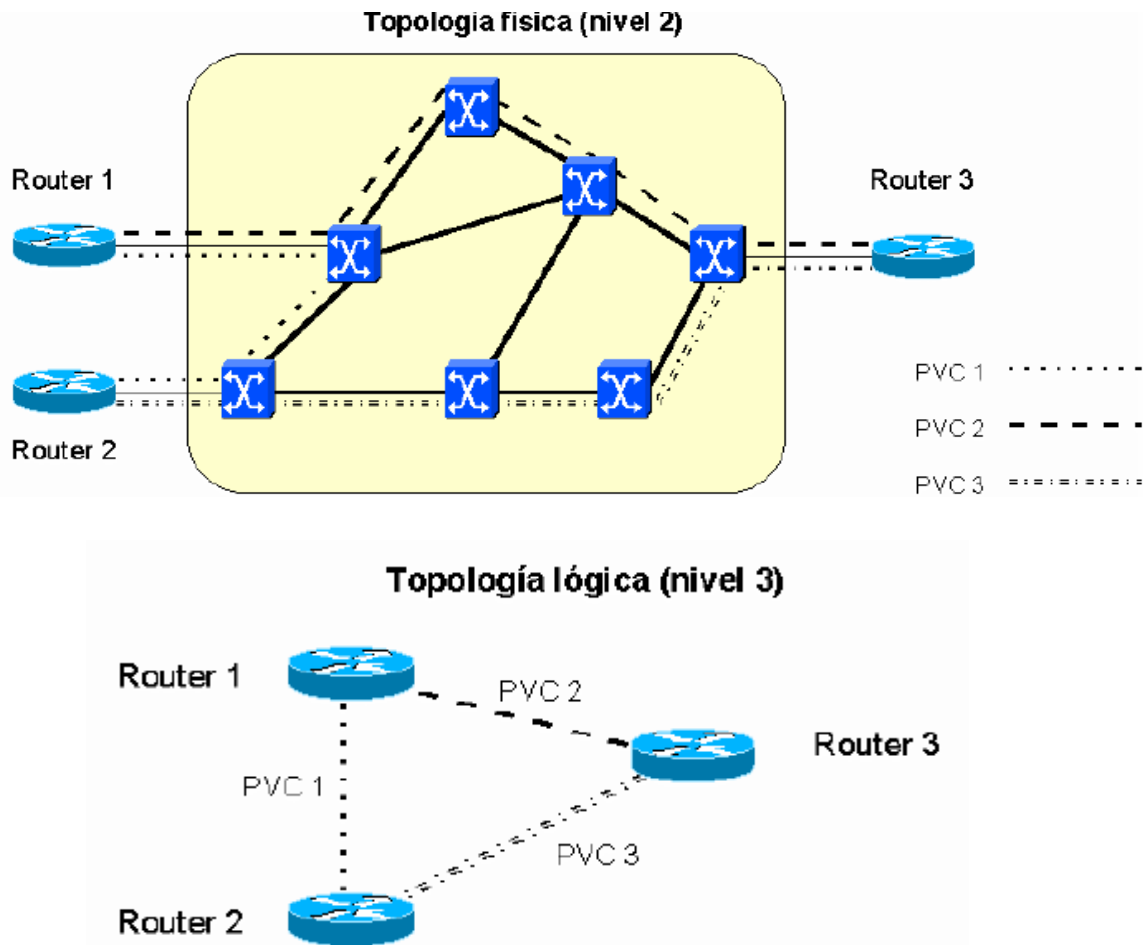


Figura 4. Topología física ATM y topología lógica IP superpuesta.

Sin embargo, se puede decir que el modelo IP/ATM, presenta ventajas evidentes en la integración de los niveles 2 y 3, pero esta integración la hace de un modo discontinuo, por el hecho de mantener dos redes separadas. El MPLS logra que la integración de niveles se haga sin discontinuidades.

Las técnicas que se encargan de realizar la integración de los niveles 2 y 3 sin discontinuidad se conocieron como "conmutación IP" (*IP switching*) o "conmutación multinivel" (*multilayer switching*). Las tecnologías privadas que aparecieron aplicando esta técnica fueron: *IP Switching* de Ipsilon Networks, *Tag Switching* de Cisco, *Aggregate Route-Base IP Switching (ARIS)* de IBM, *IP Navigator* de Cascade/Ascend/Lucent y *Cell Switching Router (CSR)* de Toshiba

las cuales condujeron la adopción del actual estándar MPLS del IETF. El problema que estas presentaban era la falta de interoperabilidad, ya que usaban diferentes tecnologías antes mencionadas para combinar la conmutación de nivel 2 con el enrutamiento IP (nivel 3).

Los componentes básicos comunes de la conmutación multinivel son:

- La separación entre las funciones de control (*routing*) y de envío (*forwarding*).
- El intercambio de etiquetas para el envío de datos.

La separación de los componentes de *control* y la otra de *envío* se realizan de la siguiente manera, la componente de control utiliza los protocolos estándar de enrutamiento (OSPF, IS-IS y BGP-4) para el intercambio de información con los otros *routers* para la construcción y el mantenimiento de las tablas de enrutamiento. Al llegar los paquetes, la componente de envío busca en la tabla de envío, que mantiene la componente de control, para tomar la decisión de enrutamiento para cada paquete. En concreto, la componente de envío examina la información de la cabecera del paquete, busca en la tabla de envío la entrada correspondiente y dirige el paquete desde la interfaz de entrada al de salida a través del correspondiente hardware de conmutación.

En la figura 5, se observa la separación entre la componente de control y la componente de envío.

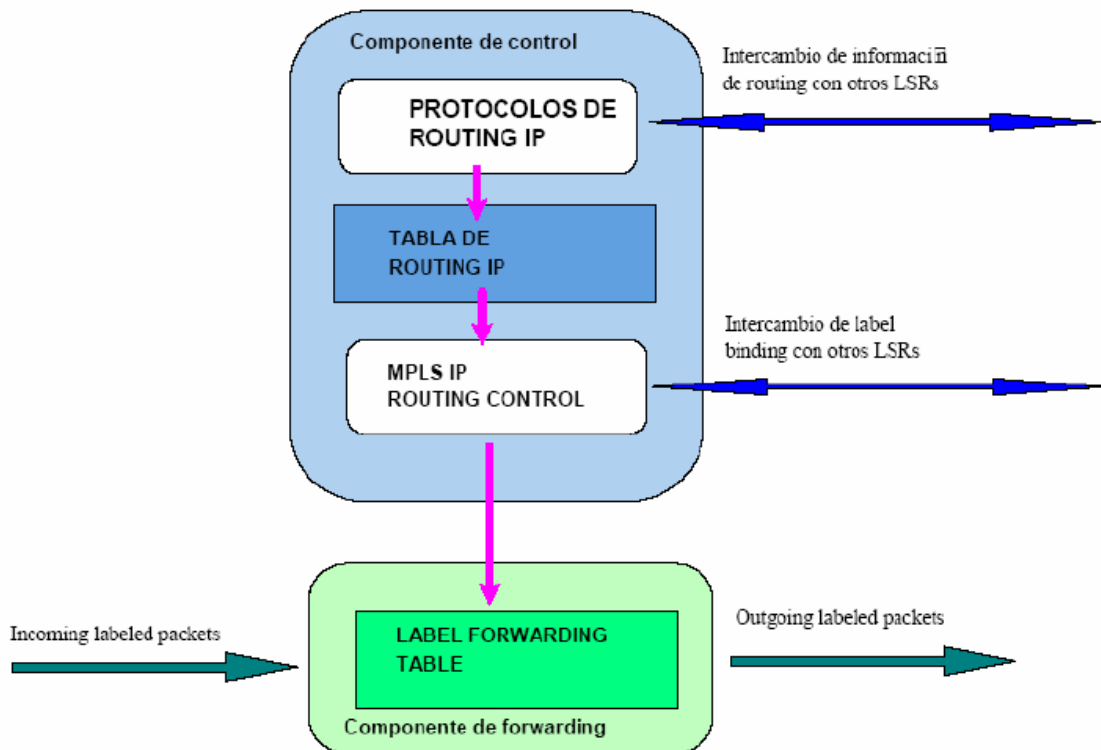


Figura 5. Separación Funcional de Control y Envío

El intercambio de etiquetas para el envío de datos, se realiza básicamente mediante el intercambio de etiquetas, parecido a lo que se hacía en ATM, teniendo como única diferencia que lo que se envía por la interfaz física de salida son paquetes etiquetados, así de este modo realmente se integra las funciones de enrutamiento y conmutación. Hablando un poco de la etiqueta que marca cada paquete, se habla básicamente de la FEC (*Forwarding Equivalence Class o Clase Equivalente De Envío*) es un campo de unos pocos bits, de longitud fija, que se añade a la cabecera del mismo, esta también se considera como un conjunto de paquetes que se envían sobre el mismo camino a través de una red, aun cuando sus destinos finales sean diferentes, no modifica la información de la cabecera de los paquetes; tan sólo los encapsula, asignando el tráfico a los correspondientes FEC. Los caminos virtuales son conocidos también como los LSP (*Label-Switched Paths*), estos son creados gracias a los algoritmos de intercambio de etiquetas, lo

que realmente hacen los LSP es imponer una conectividad entre extremos a una red no conectiva por naturaleza, como son las redes IP, pero todo ello *sin perder la visibilidad del nivel de red*.

En la figura 6, se observa un ejemplo del intercambio de etiquetas para el envío de datos en el dominio MPLS.

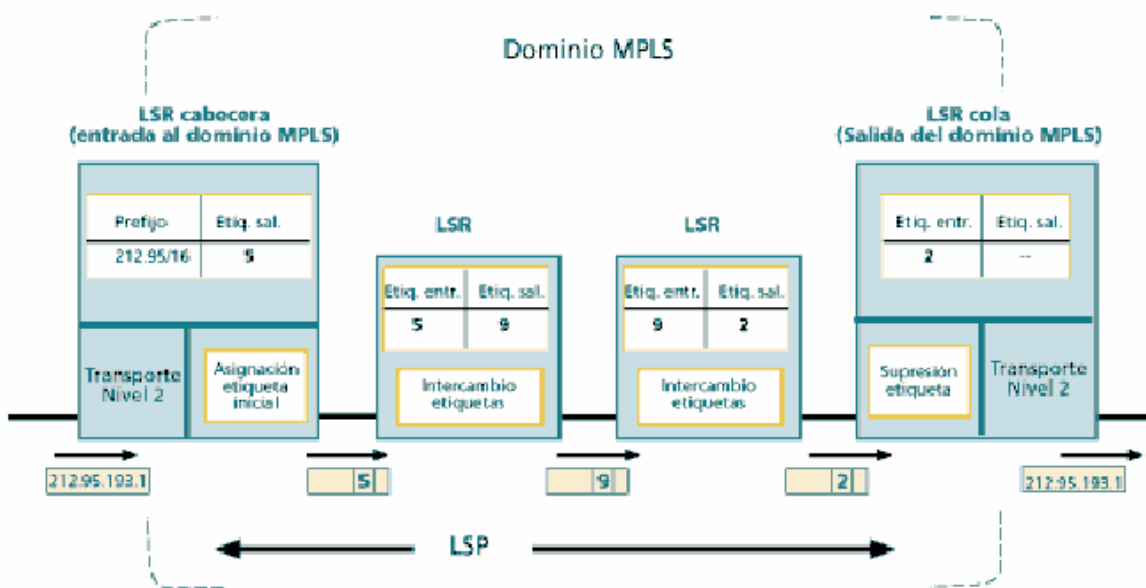


Figura 6. Intercambio De Etiqueta Realizado En Un Dominio MPLS

2.3 CONVERGENCIA: MPLS

El principal problema que se tenía en las diferentes soluciones de conmutación multinivel, era la falta de interoperabilidad que tenían las tecnologías de los distintos fabricantes, además que todas se sustentaban en la tecnología ATM como transporte, por lo tanto se requería de obtener un estándar para que ésta funcionara sobre cualquier tecnología de transporte de datos en el nivel de enlace, por lo que se creó la IETF (Internet Engineering Task Force o Grupo de Trabajo en Ingeniería de Internet) con el propósito de acoger un estándar y poder converger las tecnologías.

Este estándar se desarrollo para que cumpliera los siguientes objetivos:

- ✓ MPLS debía funcionar sobre cualquier tecnología de transporte, no sólo ATM.
- ✓ MPLS debía soportar el envío de paquetes tanto unicast como multicast.
- ✓ MPLS debía ser compatible con el Modelo de Servicios Integrados del IETF, incluyendo el protocolo RSVP (Resource reSerVation Protocol o protocolo de señalización de reservas).
- ✓ MPLS debía permitir el crecimiento constante de la Internet.
- ✓ MPLS debía ser compatible con los procedimientos de operación, administración y mantenimiento de las actuales redes IP.

2.4 ENVÍO DE PAQUETES EN MPLS

El envío de paquetes se realiza mediante el intercambio de etiquetas en los LSP's, pero MPLS no utiliza los protocolos de señalización ni tampoco los de enrutamiento que utiliza ATM, el protocolo que utiliza MPLS es el RSVP o el LDP (*Label Distribution Protocol o protocolo de distribución de etiquetas*), por consiguiente ya no hay que administrar dos arquitecturas diferentes a base de transformar las direcciones IP y las tablas de enrutamiento en las direcciones y el enrutamiento ATM: esto lo resuelve el procedimiento de intercambio de etiquetas MPLS.

LSP es un camino virtual que siguen los paquetes en la red asignados a la misma FEC, el primer LSR que interviene en un LSP se le denomina de entrada o de cabecera y al último se le denomina de salida o de cola, los dos están en el exterior del dominio MPLS, el resto están entre ambos, estos son los LSRs interiores del dominio MPLS. Un LSR es como un router que funciona a base de intercambiar etiquetas según una tabla de envío, esta tabla se construye a partir de la información de enrutamiento que proporciona la componente de control. Cada entrada de la tabla contiene un par de etiquetas entrada/salida correspondientes a cada interfaz de entrada, que se utilizan para acompañar a cada paquete que llega por esa interfaz y con la misma etiqueta (en los LSR exteriores sólo hay una etiqueta, de salida en el de cabecera y de entrada en el de cola). En la figura 7, se puede observar que funciona igual que un router, solo que lo hace intercambiando etiquetas de entrada con una nueva a la salida que corresponde al siguiente LSR en el enlace LSP, se puede observar que para un

paquete que entra en la interfaz 3 con la etiqueta 36, sale por la interfaz 5 con la etiqueta 37.

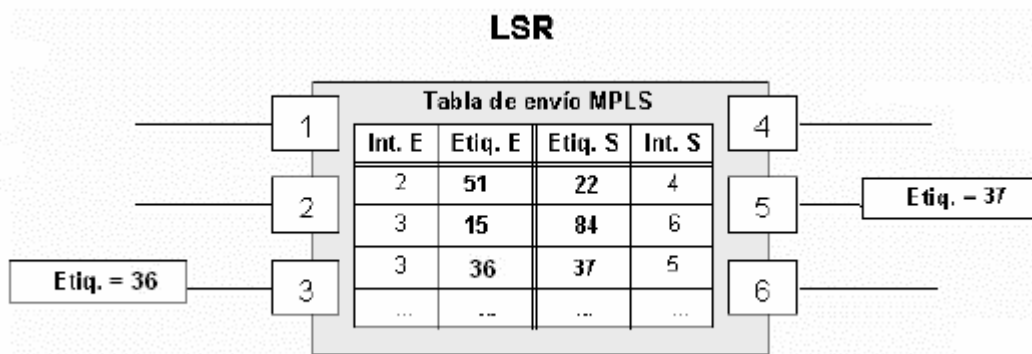


Figura 7. Tabla de envío de un LSR

El algoritmo clasifica los paquetes de entrada dentro del dominio MPLS para que el LSR de cabecera pueda hacer la asignación. El LSR de entrada recibe un paquete normal (sin etiquetar) cuya dirección de destino es una dirección IP. El LSR consulta la tabla de enrutamiento y asigna el paquete a la clase FEC definida por el grupo que le corresponde a la dirección de red del destino. Así mismo, este LSR le asigna una etiqueta (con el valor correspondiente en la tabla) y envía el paquete al siguiente LSR del LSP. Dentro del dominio MPLS las cabeceras de dirección IP son ignoradas y solo se tienen en cuenta las etiquetas, los LSR consultan la tabla de conmutación de etiquetas y la reemplazan por otra nueva, de acuerdo con el algoritmo de intercambio de etiquetas. Al llegar el paquete al LSR de cola (salida), se detecta que se va a salir del dominio MPLS; al detectar esto se remueve la etiqueta y se envía el paquete por *routing* convencional (por IP). De esta manera la identidad del paquete original IP queda enmascarada durante el transporte por la red MPLS. Las etiquetas se insertan en cabeceras MPLS, entre los niveles 2 y 3. Según las especificaciones del IETF, MPLS debía funcionar

sobre cualquier tipo de transporte: PPP, LAN, ATM, Frame Relay, etc. Por ello, si el protocolo de transporte de datos contiene ya un campo para etiquetas (como ocurre con los campos VPI/VCI de ATM y DLCI de Frame Relay), se utilizan esos campos nativos para las etiquetas. Sin embargo, si la tecnología de nivel 2 empleada no soporta un campo para etiquetas p. ej. Enlaces (PPP o LAN), entonces se emplea una cabecera genérica MPLS de 4 octetos, que contiene un campo específico para la etiqueta y que se inserta entre la cabecera del nivel 2 y la del paquete (nivel 3).

En la figura 8, se observa un ejemplo del paso de paquetes a través de un dominio MPLS.

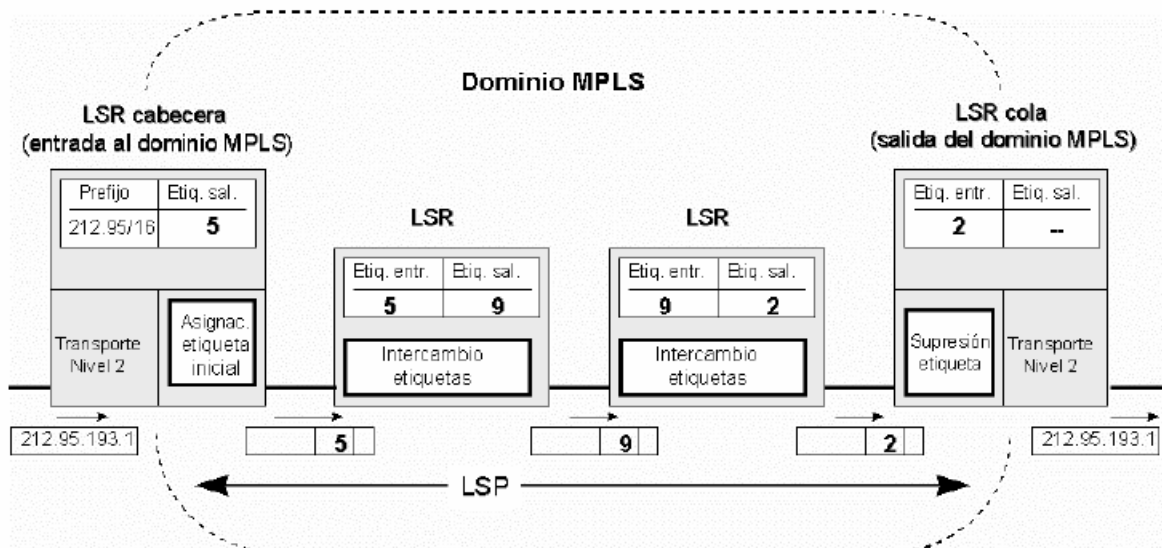


Figura 8. Envío de paquetes a través de un dominio MPLS

2.5 CONTROL DE LA INFORMACIÓN EN MPLS

El control de la información básicamente se reduce a dos pasos muy importantes, el primero de ellos es, la generación de las tablas de envío, las cuales las establecen los LSP y están relacionada con la información que se tiene sobre la red, su topología, su tráfico, etc. Esta información es la que utiliza el MPLS en el routing para establecer los denominados caminos virtuales (LSP), lo que hace precisamente el MPLS es que para cada ruta IP en la red, este crea un camino de etiquetas conectando las de entrada/salida en cada tabla de los LSRs; el protocolo interno correspondiente se encarga de pasar la información necesaria.

El segundo paso, se refiere a como se distribuye la información sobre las etiquetas a los LSR, esto hace referencia a la señalización, la cual siempre debe decir presente, ya que esta es utilizada para establecer el camino virtual o lo que también es lo mismo para la distribución de etiquetas entre nodos. Para lo anterior MPLS utiliza varios protocolos de distribución de etiquetas como los ya mencionados RSVP o el LDP.

3. MANUAL DE USUARIO OPEN SIMMPLS

El software OpenSimMPLS fue desarrollado como proyecto de fin de carrera y además fue presentado como software de licencia libre, lo que permite que cualquier usuario que desee trabajar con el software lo haga de manera gratuita. El software OpenSimMPLS además de unos ejemplos de varios escenarios se puede encontrar en cualquiera de las siguientes direcciones.

- ✓ <http://patanegra.unex.es/opensimimpls>
- ✓ <http://gitaca.unex.es/opensimimpls-/web/es/indiceES.html>

La tecnología MPLS (Multiprotocol Label Switching) aporta potentes mecanismos para integrar tecnologías de redes como ATM e IP con calidad de servicio (QoS). Aunque esta tecnología comienza ya a estar madura, quedan por resolver algunos aspectos como es el ofrecer servicios garantizados a fuentes privilegiadas que pueden requerir GoS. Este proyecto investiga y aporta diversas técnicas activas que aportan esa Garantía de Servicio. Para ello sigue dos líneas principales:

- ✓ Estudio sobre la implementación de un mecanismo de recuperación local de paquetes con requerimientos de Garantía de Servicio. Este mecanismo permite recuperar información perdida, en un entorno punto a punto en lugar de extremo a extremo, evitando que los protocolos de nivel superior sean los que tomen la iniciativa en una posible retransmisión, para casos puntuales donde la congestión de los nodos provoque el descarte de paquetes privilegiados.

- ✓ Estudio sobre la implementación de un mecanismo de recuperación local de LSP. Este mecanismo permite que ante la caída accidental de un enlace de la topología que afecte a un LSP por el que circula un flujo privilegiado, pueda establecerse de una forma adecuada un camino alternativo cuyas propiedades sean similares y así el tráfico privilegiado pueda ser reconducido.

A partir de estos planteamientos, y con la premisa de que el resultado debe respetar el estándar MPLS definido por el IETF, se han diseñado todo un conjunto de técnicas y protocolos que ayuden a conseguir estos objetivos. Entre ellos cabe destacar:

- **RABAN:** Algoritmo de enrutamiento para redes activas balanceadas.
- **GPSRP:** Protocolo de almacenamiento y retransmisión de PDU con GoS.
- **RLPRP:** Protocolo de recuperación flexible de caminos locales.
- **DMGP:** Memoria dinámica para PDU con GoS.
- **TLDP:** Subconjunto reducido del protocolo LDP a nivel funcional.
- **EPCD:** Algoritmo captura y desechado anticipado de paquetes.

Todos estos conceptos están desarrollados en detalle en la documentación completa del proyecto que puede obtenerse en la sección de descargas.

Instituciones usando Open SimMPLS 1.0

- *Escuela Politécnica de Cáceres (España).*
- *Escuela Politécnica Superior de Chimborazo (Ecuador).*
- *Instituto Tecnológico de Chetumal (México).*

3.1 FUNCIONES

MPLS es una tecnología muy amplia y el conjunto de protocolos de internet también. Este proyecto no implementa todos los protocolos existentes ni el conjunto completo de características de MPLS. Estas son las características y funciones soportadas por Open SimMPLS 1.0

3.1.1 TECNOLOGÍA

- TPC como payload de paquetes IP.
- IPv4 sobre MPLS.
- Flujos IPv4.
- Flujos MPLS.
- Flujos IPv4 marcado con Garantía de Servicio (GoS).
- Flujos MPLS marcados con Garantía de servicio (GoS).
- Tráfico constante.
- Tráfico variable con distribución de tamaños de paquetes real de Internet.
- Distribución de etiquetas bajo demanda.
- Soporte de TLDP.
- Soporte de GPSRP.
- Soporte de RLPRP.
- Soporte de RABAN.
- Implementación de DMGP.
- Soporte del algoritmo de Floyd tradicional.
- Algoritmo de gestión de búferes Round Robin Priorizado.
- Soporte de EPCD en los búferes.

- Recuperación local de paquetes.
- Recuperación local de LSP.

3.1.2 SIMULACIÓN

- Simulación completa del escenario.
- Simulación de LER, LER activos, LSR, LSR activos, emisores y receptores.
- Simulación de caídas de enlaces.
- Simulación de casos de congestión.
- Estadísticas completas de los nodos.
- Simulación del establecimiento de LSP y LSP de respaldo.
- Simulación de paquetes descartados.
- Impresión de gráficas estadísticas.
- Exportación de gráficas estadísticas a imágenes PNG.
- Simulación del retardo de los enlaces.
- Simulación de la recuperación de paquetes.
- Simulación de cada tipo de tráfico.

3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL OPENSIM – MPLS

La descripción general del software fue desarrollada tomando como base el ítem [5] de la bibliografía, dirijase alla para mayor información.

OpenSimMPLS es una herramienta funcional que fue diseñada con el fin de utilizarse en la docencia de asignaturas de redes y/o comunicaciones. Este consta de los aspectos fundamentales de funcionamiento y configuración de un dominio MPLS además posee compatibilidad con dominios que soporten Garantía de Servicio (GoS).

Este simuladores MPLS que permiten el diseño y configuración de los componentes de un dominio, así como la simulación y análisis estadístico de los resultados, todo esto de manera fácil y sencilla.

OpenSimMPLS, también puede ser usado por los investigadores de proyectos MPLS con necesidad de comprobar la bondad de sus resultados. El simulador cuentan con características que lo hacen de fácil adquisición para los investigadores como el hecho de que el software es multiplataforma y está liberado bajo licencia GPL v2.0 de *Free Software Foundation*.

El simulador dispone de una interfaz gráfica que permite un entorno de usuario simple y amigable. La programación de cada uno de los elementos que componen la aplicación se realizan de forma individual además genera procesos que funcionan de manera concurrente mediante hilos independientes, lo cual permite el estudio de los distintos eventos de una forma más flexible.

El simulador dispone de tres niveles de operación:

- ✓ Diseño y configuración de la topología de un dominio MPLS
- ✓ Exploración visual de los diferentes eventos que van sucediendo durante la simulación
- ✓ Evaluación de las prestaciones del dominio MPLS diseñado.

En la simulación se puede ver el comportamiento de la red MPLS al introducir servicios particulares como tráfico multimedia, de esta forma puede apreciarse cómo se priorizan unos flujos con respecto a otros. También se pueden hacer modificaciones de la topología, incorporándole otros elementos con el fin de identificar los parámetros físicos de diseño de la red que garantizan una mayor QoS.

OpenSimMPLS está constituido por una aplicación *jar* auto-contenida. Por lo tanto, no requiere de ningún paso de instalación, y simplemente se debe ejecución a través de la Máquina Virtual Java de SUN la cual debe ser instalada previamente. El entorno de trabajo del simulador es muy simple, se divide en tres partes: *área de trabajo*, *menú principal* y *ventanas de escenarios*. El área de trabajo es el entorno principal, la cual sirve de base para la simulación de los diferentes escenarios MPLS. El menú principal está situado en la parte superior izquierda, englobando las opciones relacionadas con la gestión de ficheros (crear, almacenar y recuperar escenarios de disco), visualización de ventanas y ayuda. Por último, las ventanas de escenarios permitirán el diseño y análisis de escenarios MPLS particulares. Su estructura se divide en varias pestañas (diseño, simulación, análisis y opciones como se observa en la figura 9).



Figura 9. Pestañas de la ventana escenario.

3.3 ÁREA DE DISEÑO DE TOPOLOGÍAS

La primera pestaña corresponde al *Área de Diseño*, en la que se establecen los parámetros relacionados con la topología y configuración del dominio a simular. La barra de herramientas de esta área muestra varios iconos que representan los elementos que se pueden insertar en un dominio MPLS del simulador OpenSimMPLS los cuales se muestran en la figura 10.

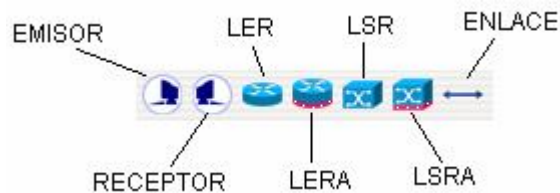


Figura 10. Barra de herramientas de la pestaña de diseño.

Emisor: Es el encargado de generar tráfico de red en el simulador.

Receptor: Se encarga de recibir el flujo de información generado por un emisor.

LER (Label Edge Router): Se encargan de etiquetar paquetes IP o MPLS, clasificarlos, establecer un camino a través del dominio MPLS que lo conduzca a su destino y permitir la entrada del paquete etiquetado al dominio MPLS.

LERA (Label Edge Router Activo): Realiza la misma tarea que el LER, pero además se encarga de analizar la cabecera IP para saber si los paquetes tienen requerimientos de garantía de servicio (GoS) y si es así, codificar esos requisitos

en la cabecera MPLS. *Un flujo IP marcado con GoS sólo puede conservar esos atributos de GoS dentro del dominio MPLS si accede a él a través de un nodo LERA.*

LSR (Label Switch Router): Encargado de conmutar tráfico MPLS en el interior del dominio. Es un componente muy rápido, pues sólo observa la etiqueta puesta sobre el paquete por el LER/LERA de entrada al dominio MPLS. *Un nodo LSR nunca puede hacer de nodo de entrada al dominio MPLS pues no tiene capacidad para ello.*

LSRA (Label Switch Router Activo): Serán los encargados de conmutar tráfico MPLS en el interior del dominio. Además, el LSRA es el componente con capacidad de recuperación local de paquetes y de reestructuración de caminos (LSP) en un entorno local. También tendrá capacidad de almacenar paquetes de forma temporal, para así satisfacer las posibles solicitudes de retransmisión local de otro LSRA del dominio.

ENLACE: Es el elemento que une dos nodos cualesquiera de la red. Todo escenario de simulación debe tener sus componentes conectados mediante enlaces, por los que fluye el tráfico.

Para colocar cualquiera de los elementos en el área de diseño, simplemente se debe dar click sobre el elemento deseado y aparecerá una ventana con tres pestañas (general, rápida, avanzada) los que se muestran en la figura 11, en la pestaña general se deberá colocar el nombre y la posición del elemento, en la pestaña rápida, solamente se coloca la gama del elemento, mientras que en la

ultima pestaña, la avanzada se utiliza cuando se tiene conocimiento detallado del dominio MPLS, especialmente de ese elemento, como potencia de conmutación,

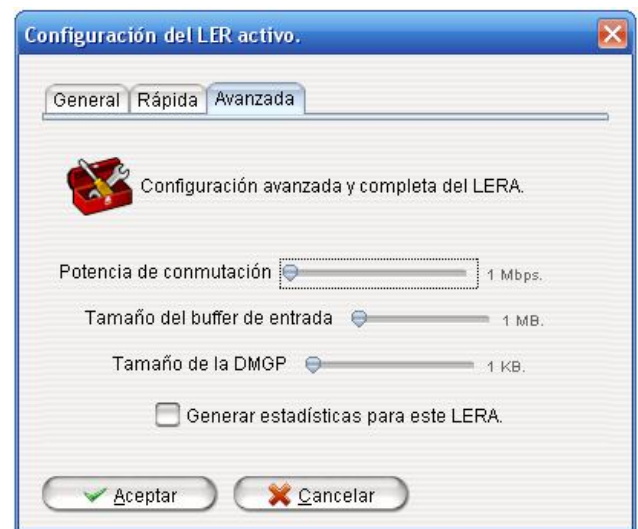
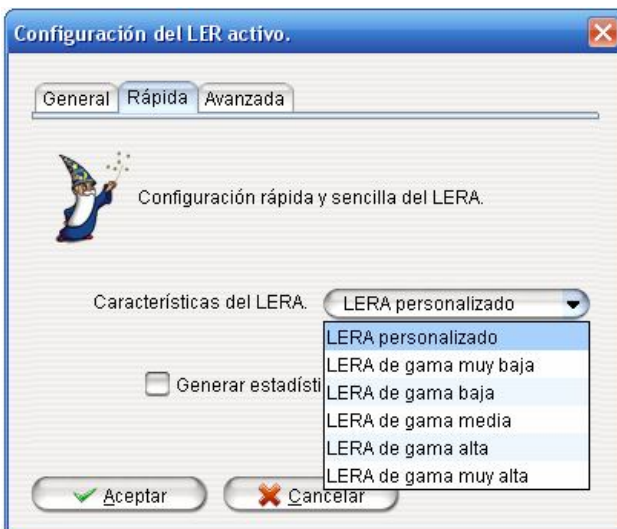
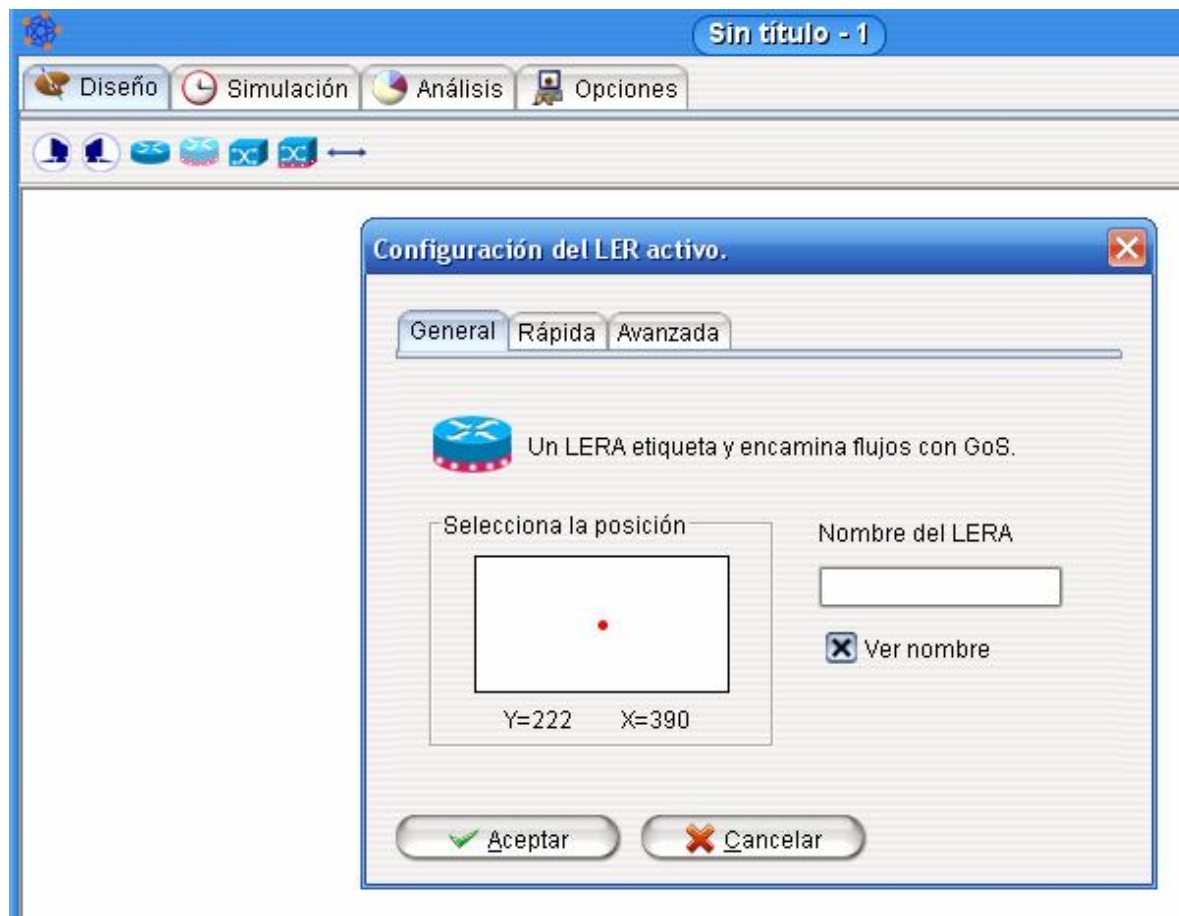


Figura 11. Ventanas de propiedades de un elemento

Para hacer una conexión entre dos elementos de un dominio MPLS, primero hay que hacer click sobre el icono de enlace¹, y aparecerá la ventana de propiedades, donde se deben seleccionar los dos elementos a conectar (uno en el extremo izquierdo y otro en el extremo derecho) y por que puerto se hará dicha conexión, esto para la primera pestaña, la cual hace referencia a general. En la figura 12 se muestran las ventanas de configuración de un enlace.

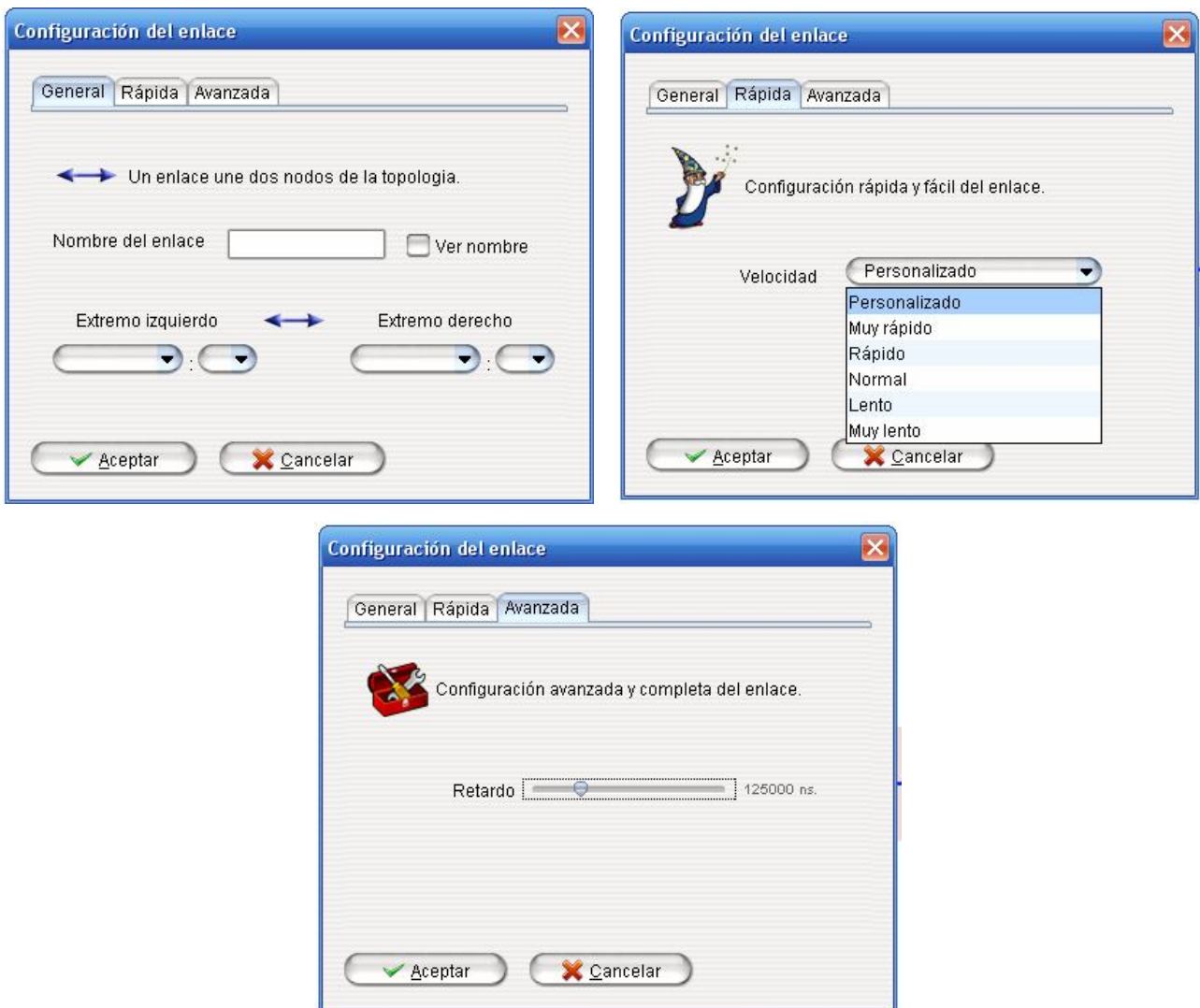


Figura 12. Ventanas de propiedades de un enlace

¹ Nota: para poder hacer click sobre este icono deben haber por lo menos dos elemento sobre el área de diseño.

En la segunda pestaña (configuración rápida) te da la opción de configurar el enlace según la velocidad máxima que permite el enlace creado (muy rápida, rápida, normal, etc.)

En la tercera pestaña (configuración avanzada) te da la opción de colocarle el retardo al enlace.

3.4 ÁREA DE SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

Después de finalizar la creación de la topología del escenario debe pasarse al *Área de Simulación*. La topología que se observa dentro de esta área es la correspondiente al escenario que se haya diseñado en el área de diseño. En este entorno puede analizarse visualmente el comportamiento de dicha topología una vez comiencen a generarse tráfico, y dentro de la simulación se pueden representar saturaciones, caídas de enlaces, etc. Con el fin de observar la respuesta de la topología simulada ante esos conflictos. El área de simulación presenta una estructura similar a la de diseño a diferencia de la barra de tareas que ahora presenta unos iconos para controlar el funcionamiento de la simulación. La barra de herramientas del área de simulación se muestran en la figura 13.

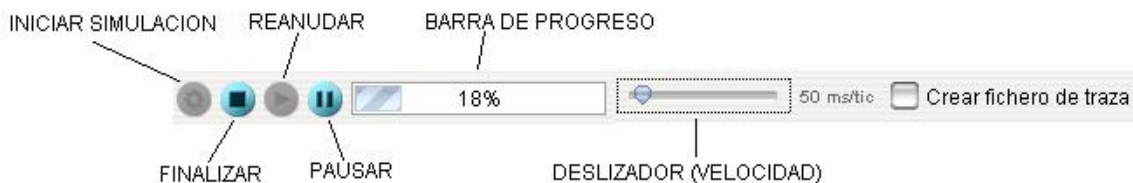


Figura 13. Barra de herramientas del área de simulación

Para iniciar la simulación hay que presionar el primer icono (simula un engranaje), al empezar la simulación la barra de progreso muestra el porcentaje transcurrido de la simulación, la simulación parará automáticamente cuando el porcentaje halla llegado al 100%. Además la barra de tareas de esta área cuenta con una barra deslizador, desde la cual se puede disminuir la velocidad de simulación, lo que permite observar detalladamente lo que ocurre en el recorrido de un paquete sin

necesidad de pausar y reanudar periódicamente la simulación. Dentro del simulador también es posible generar un fichero de traza donde se almacenan todos los eventos ocurridos durante la simulación: qué componente se ha visto afectado, en qué instante, consecuencias, etc. Este fichero se puede crear al seleccionar desde la barra de tareas la opción crear fichero de traza antes de dar inicio a la simulación, el archivo de traza queda grabado al lado del documento *.osm que se este simulando. Los paquetes permitirán conocer qué tipos de flujo (clasificados según su prioridad) se dan en el escenario. También informan sobre la cantidad y tipos de tráfico que se mueven por la red, cuándo y cómo se produce la señalización, caminos por los que circulan, velocidad a la que se mueven, etc. Por otro lado, además de circular por la red que se esté simulando, los paquetes podrán ser descartados en nodos que sufran un elevado nivel de congestión. En ese caso los paquetes aparecerán, visualmente, cayendo de dicho nodo. En la figura 14 se muestra una simulación.

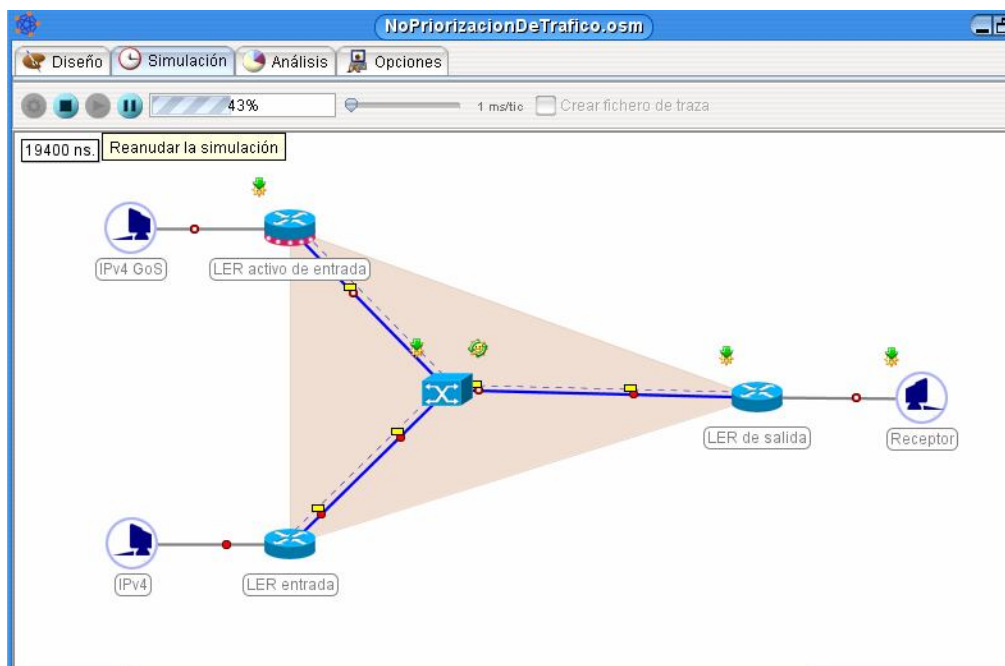


Figura 14. Ventana de simulación

El software también muestra una leyenda en la cual se puede observar todas las identidades de cada paquete que transcurre dentro de la simulación la cual se muestra en la figura 15.

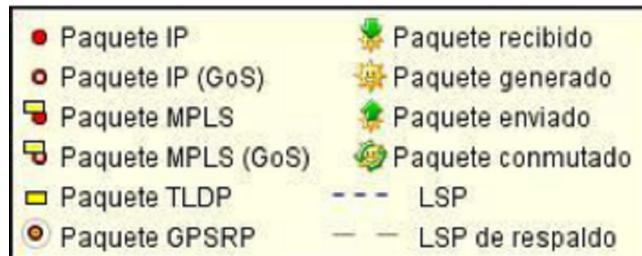


Figura 15. Leyenda informativa sobre tipos de paquetes, flujos y LSP

Los diferentes aspectos comentados sobre la representación de paquetes pertenecientes a diferentes tipos de tráfico.



Figura 16. Descartes de paquetes pertenecientes a diferentes tipos de tráfico.

El OpenSimMPLS permite simular averías en los enlaces (que en la vida real pueden ser causadas por descargas eléctricas, fallas humanas, etc.), para que el usuario observe como se comportaría los enlaces al presentarse una avería. Para simular una de estas averías, solamente basta con dar click sobre la línea donde se desea simular la falla y para restablecer el enlace se procede de la misma forma, todo esto mientras la simulación este en proceso, la rotura de un enlace se muestra en la figura 17.



Figura 17. Rotura de un enlace.

Otra manera de simular un problema es a través de una congestión, la cual se presenta por una elevada tasa de paquetes entrantes, dentro del simulador se puede simular, simplemente haciendo click sobre el nodo que queremos que la presente, esto con el fin de no tener que esperar hasta que se congestione el nodo por si solo, en la figura 16 se muestran descartes de varios tipos de trafico y en la figura 18 se muestra un nodo congestionado dentro de un enlace.



Figura 18. Congestión artificial de nodos.

3.5 ÁREA DE ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después del área de simulación, encontramos otra pestaña, la cual hace referencia al área de análisis de resultados, esta área se puede utilizar una vez se halla creado una topología correcta y se halla iniciado la simulación de la misma, ya que al simular la topología esta generará estadísticas o datos solicitados para los componentes particulares siempre y cuando se seleccione el nodo a que se desea inspeccionar², las graficas generadas nos permiten conocer de manera mas precisa lo que está ocurriendo en el nodo seleccionado. Las graficas que se generan depende del elemento seleccionado, por ejemplo si seleccionamos un emisor, se obtendrán dos graficas, la primera se refiere a los paquetes salientes, esta grafica básicamente maneja dos coordenadas, una de números de paquetes y la otra maneja el tiempo, la otra grafica que se genera en el área de análisis de resultados para un emisor es la de paquetes descartados (si se llegara a dar el caso), esta grafica maneja las mismas coordenadas que la grafica de paquetes salientes, un ejemplo de estas, aparecen en la figura 19.

² Nota: Esto se hace en el área de diseño, dándole click derecho al elemento que se quiere inspeccionar y dentro de las propiedades del elemento en la pestaña "rápida", se selecciona generar estadística.

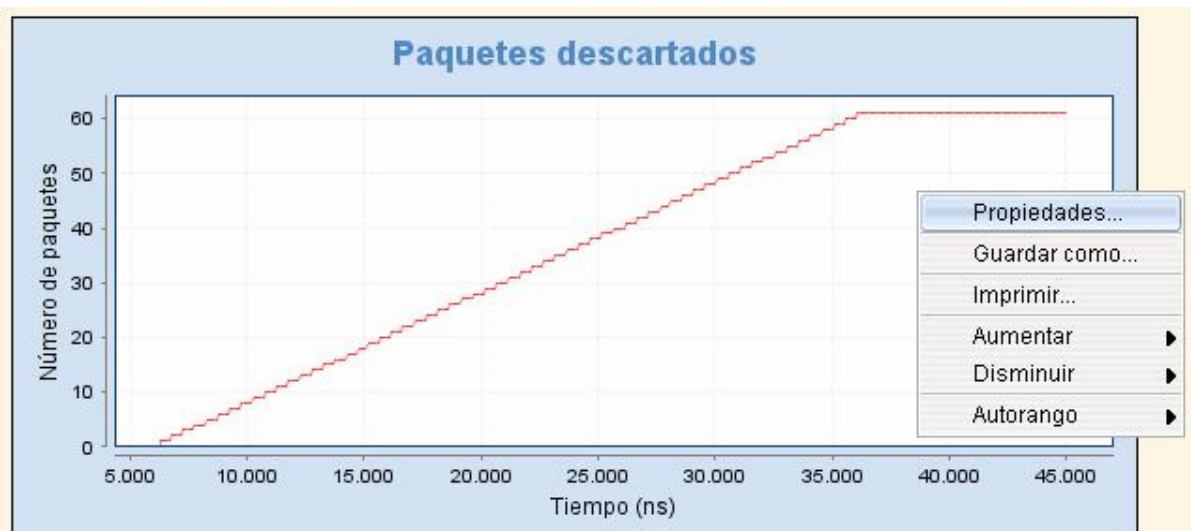


Figura 19. Graficas área de análisis de resultados

Si se selecciona un LSR activo, LER o LSR activo se podrán observar además de las graficas de paquetes salientes y paquetes descartados otras graficas como la de paquetes salientes, retransmisiones de paquetes con GoS atendidas, recuperaciones locales de paquetes con GoS, ejemplo de estas las podemos observar en las figuras 20, 21 y 22.



Figura 20. Grafica de paquetes descartados.

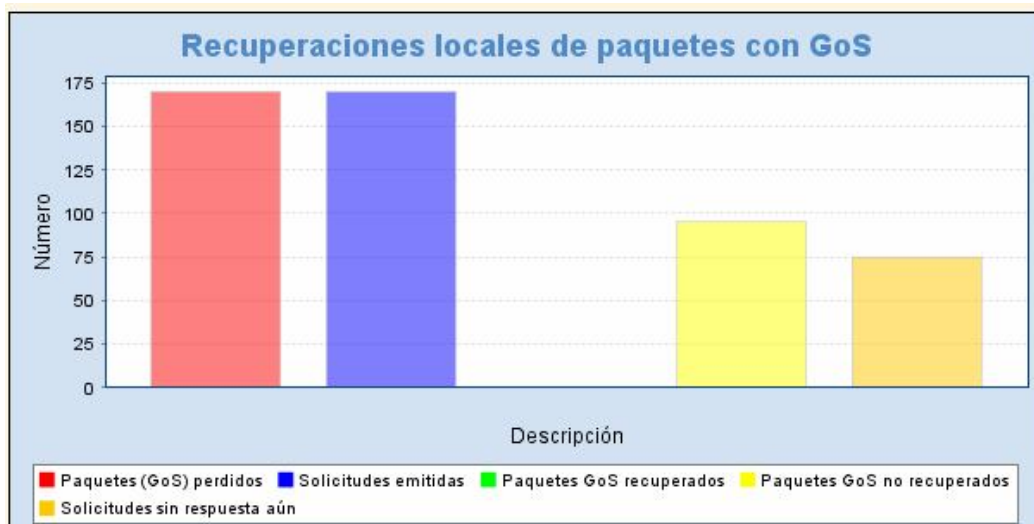


Figura 21. Grafica de recuperaciones locales de paquetes GoS.

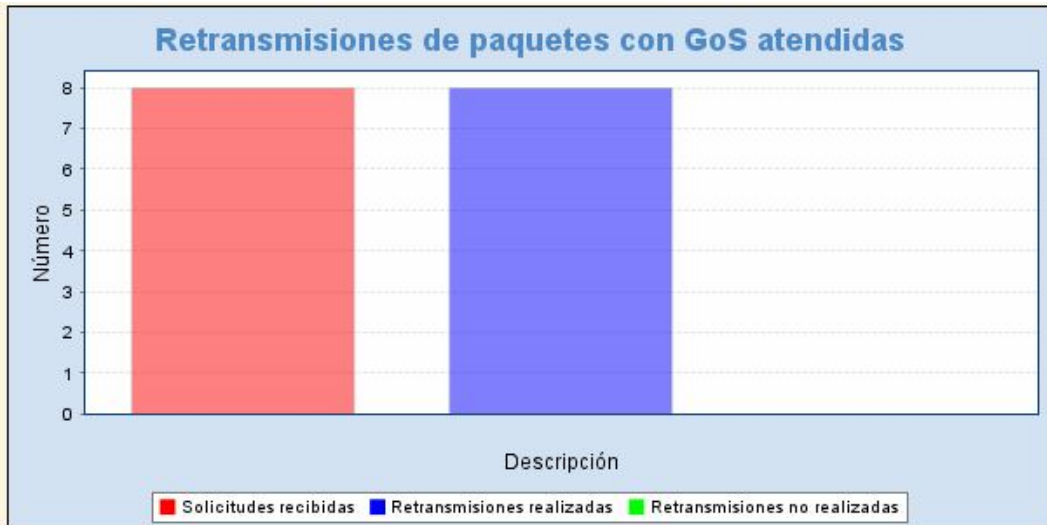


Figura 22. Grafica de retransmisión de paquetes con GoS atendidas.

Además en estas graficas se puede desplegar un menú emergente con opciones sobre cada una de las graficas, simplemente haciendo click derecho sobre las graficas, de esta manera se desplegaran opciones, tales como imprimir, propiedades, aumentar, disminuir, entre otras.

3.6 ÁREA DE OPCIONES

En esta área encontramos tanto los parámetros generales del escenario como los parámetros de tiempo, entre estos parámetros generales encontramos, el título del escenario en el cual se puede colocar el título al escenario creado, la descripción del escenario, allí se puede hacer una breve descripción del escenario que se ha creado y el autor del escenario donde se puede colocar el nombre del autor, esta información introducida en estos campos aparecerá dentro del área de análisis, por otro lado en los parámetros de tiempo encontramos la duración de simulación y el paso de cada intervalo. La figura 23, muestra el área de opciones.

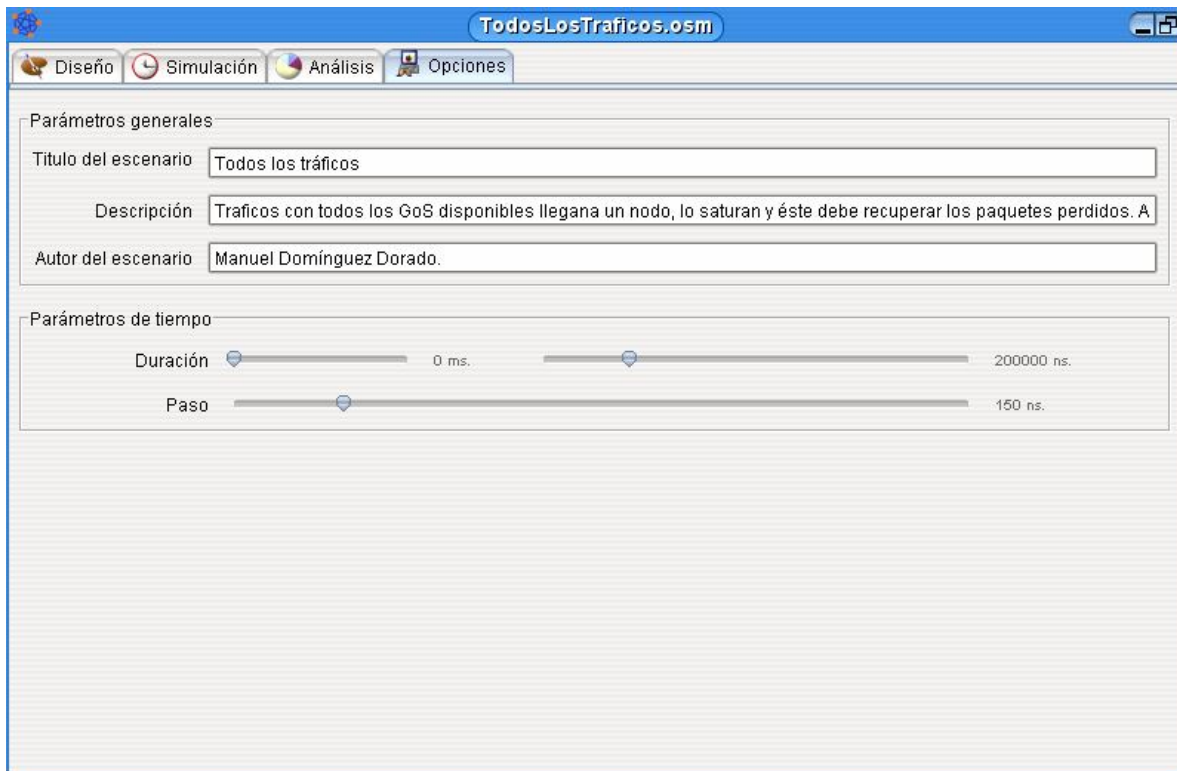


Figura 23. Área de opciones de simulación

4. CASOS

4.1 CASO # 1: FAMILIARIZACIÓN CON LA INTERFACE DEL SOFTWARE OPENSIMMPLS

4.1.1 OBJETIVOS:

- Familiarizarse con la interface del software OpenSimMPLS³.
- Practicar la forma en como se elabora un dominio MPLS dentro del software desde el comienzo hasta el final.
- Obtener destreza al momento de configurar los elementos dentro de un dominio MPLS.

4.1.2 DESCRIPCIÓN:

En este primer caso se creará un dominio MPLS para que el usuario se comience a familiarizar con la interface del simulador, esto es, aprender a configurar los elementos, los enlaces, simular el dominio MPLS creado.

El dominio MPLS a crear se muestra en la figura 24.

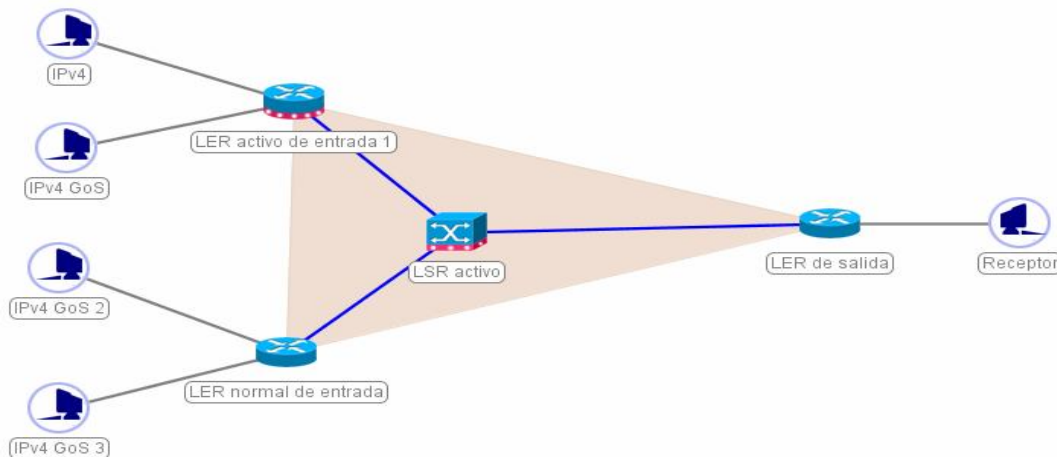


Figura 24. Diseño de dominio MPLS

³ Para realizar esta y todas las casos es necesario leerse previamente el manual de usuario.

4.1.3 PASOS:

- ❖ Inicialmente se crea un nuevo escenario, para lograr esto se debe dar click en **Escenario** → **Nuevo**.

- ❖ Con lo anterior se abre una ventana (**diseño**), en la cual se creará la topología del dominio MPLS, inicialmente insertamos un **LER activo**, para ello damos click sobre el icono de LER activo ubicado en el la barra de herramientas del área de diseño, de inmediato se abre una ventana de configuración de dicho elemento, en la pestaña **general** se le colocará el nombre al LER activo, que en este caso es “**LER activo de entrada**” además en esta ventana se puede colocar la posición del elemento dentro del área de diseño (la ubicación del elemento también se puede hacer al terminar la configuración, simplemente haciendo click sostenido sobre este y arrastrándolo hasta la posición deseada).

- ❖ Dando click en la pestaña “**avanzada**” configuramos los siguientes parámetros como se observa en la figura 25.
 - Potencia de conmutación con 10240Mbps
 - Tamaño del buffer de entrada 1024MB
 - Tamaño de la DMGP en 1Kb

Al finalizar de configurar dichos parámetro se da click en **aceptar**.

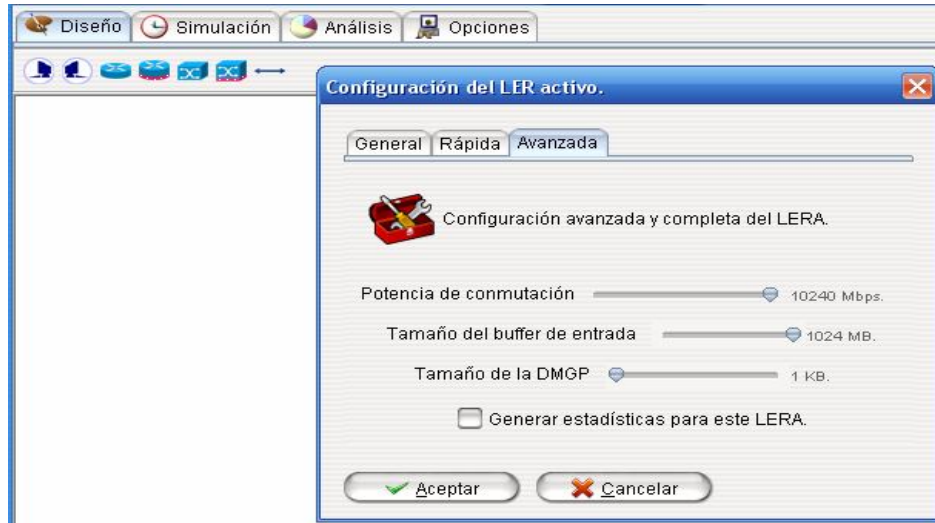


Figura 25. Configuración LER activo.

❖ El siguiente paso es insertar un **LER normal**, para esto se da click en el icono que dice **insertar LER** dentro de la barra de tareas del área de diseño, de inmediato se abre una ventana de configuración de dicho elemento, en la pestaña **general** se le colocará el nombre al LER normal, que en este caso es **“LER normal de entrada”**⁴.

❖ A continuación dentro de la ventana de configuración del LER damos click sobre la pestaña **avanzada** y configuramos los siguientes parámetros:

- Potencia de conmutación 10240Mbps
- Tamaño del buffer de entrada 1024MB.

Al finalizar de configurar estos parámetros (como se muestra en la figura 26) damos click sobre el botón de **aceptar**.

⁴ Si no se selecciono una posición para este elemento ni para el anterior, este se ubicara encima del anterior al terminar la configuración, por lo que se deberá ubicar en la posición deseada manualmente, esto pasara con todos los elementos.



Figura 26. Configuración LER activo.

- ❖ Como siguiente paso se creará un nuevo LER normal, que estará ubicado en la salida del dominio, como se mostró en la figura 24, y la configuración de este elemento se realizara de igual manera que el LER normal de entrada, excepto que ahora el nombre de dicho elemento será **“LER de salida”**.

Realizado todos los pasos hasta el momento se deberían tener ubicados dentro del área de diseño 3 elementos.

- ❖ A continuación configuramos el LSR activo, para esto se da click en el icono que dice **insertar LSR activo** dentro de la barra de tareas del área de diseño, de inmediato se abre una ventana de configuración de dicho elemento, en la pestaña **general** se le colocara el nombre al LSR activo, que en este caso es **“LSR activo”**
- ❖ Damos click en la pestaña **“avanzada”**, y en esta configuramos los siguientes parámetros, como se muestra en la figura 27.

- Potencia de conmutación 5125Mbps
- Tamaño de buffer de entrada 1MB

- Tamaño de la DMGP 1KB

Al finalizar de configurar estos parámetros damos click sobre el botón de **aceptar**.



Figura 27. Configuración LSR activo.

Ya con este último se han configurado 4 elementos del dominio MPLS, LER activo de entrada, LER normal de entrada, LER de salida y el LSR activo, por lo tanto podemos proceder a ubicarlos dentro del área de diseño tal como se muestra en la figura 28⁵.

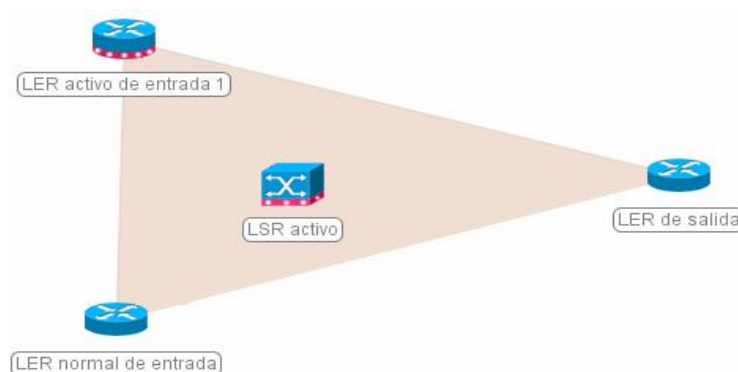


Figura 28. Ubicación de los elementos

⁵ Para ubicarlos en la posición deseada solamente se debe hacer click sostenido sobre el elemento y desplazarla hasta la posición deseada.

❖ Ahora se realizarán las conexiones entre los elementos que hay por el momento en el área de diseño, para esto damos click al icono **insertar enlace** ubicado en la barra de herramientas del área de diseño y se abre la ventana de configuración de enlace en las que se realizarán las siguientes configuraciones como se muestra en la figura 29.

- Nombre de el enlace⁶ (puede ser cualquiera en este caso se le colocará como nombre de enlace LERA-LSRA)
- Extremo izquierdo: Se selecciona LER activo de entrada y el puerto por el que queremos que se realice la conexión⁷
- Extremo derecho: Se selecciona LSR activo, y se selecciona el puerto de conexión
- Dentro de la pestañan “Rápida” seleccionamos en la lista de velocidad la que dice “muy rápido”

Damos click en **aceptar** y así queda creado el primer enlace.



Figura 29. Configuración del enlace

⁶ Los nombres de cada enlace deben ser únicos, y se puede utilizar cualquier nombre, pues estos solo se utilizan como referencia interna del software y no tienen función en especial.

⁷ Se puede seleccionar cualquier puerto de los que aparecen en la lista.

Los pasos para la configuración de enlace se repiten para los demás elementos, es decir para realizar los enlaces entre LER normal de entrada y el LSR activo (colocando como nombre del enlace el que usted desee) y entre el LSR activo y LER de salida (también se coloca el nombre deseado). Hasta el momento el dominio MPLS debe ir como se observa en la figura 30.

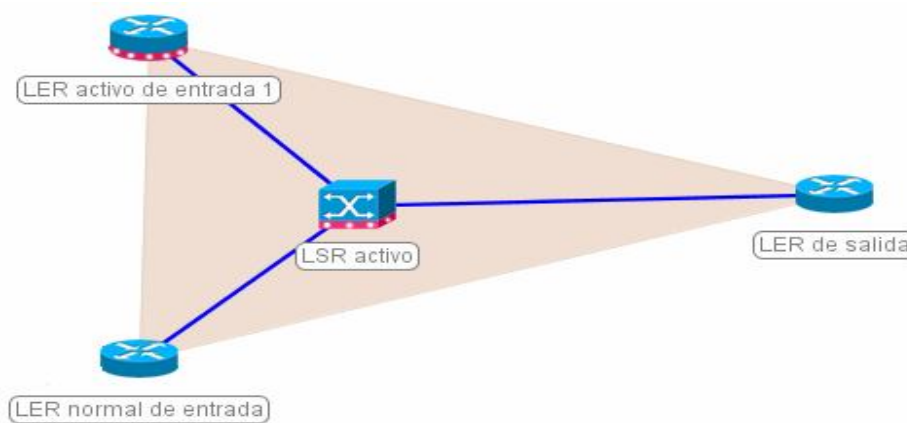


Figura 30. Ubicación y enlace de elementos.

- ❖ El siguiente paso es el de insertar y configurar el receptor, para esto, nos vamos al área de diseño y le damos click al icono **“Receptor”**⁸, de inmediato se desplegará un menú con el nombre de configuración del receptor, en la pestaña **“general”** le podrás colocar el nombre del receptor (en este caso se le dio el nombre de *receptor*), en la pestaña **“rápida”** podrás generar graficas de estadísticas después que se simule el dominio, esto en el área de análisis, como se muestra en la figura 31.

Al realizar esto, damos click en **aceptar**, así queda insertado y configurado el receptor.

⁸ Primero hay que colocar un receptor, pues el software no deja colocar un transmisor a menos que haya un destino final para estos (un receptor).



Figura 31. Configuración del receptor.

❖ Siguiendo con la configuración de los elementos en el ejemplo del dominio MPLS nos encontramos con los emisores de tráfico, por lo que a continuación configuraremos estos elementos como se muestra en la figura 32, para esto realizamos lo siguiente:

- Estando en el área diseño le damos click al icono “**emisor de tráfico**”, de inmediato se desplegará un menú con el nombre de configuración del emisor.
- En la pestaña “**general**”, colocamos el nombre del emisor (IPV4) y además debemos definir el destino del tráfico, por lo que escogemos al “**receptor**” antes configurado.
- En la pestaña “**rápida**” colocamos como tipo de tráfico el “**personalizado**”.

- Y por ultimo en la pestaña “**avanzada**” colocamos en tasa de trafico el valor de 10240 Mbps, en tipo de trafico colocamos “constante”, en tamaño de la carga útil colocamos el valor de 618 octetos y en el nivel del GoS colocamos “ninguno”.
- Por ultimo damos click en **aceptar**, así queda configurado el primer emisor de tráfico.



Figura 32. Configuración emisor de tráfico.

Lo anterior se repite para los otros 3 emisores de tráfico faltantes (IPV4 GoS, IPV4 GoS2, IPV4 GoS3), con la diferencia de que para cada emisor se le colocará un nivel de GoS diferente, es decir para los 3 emisores de trafico faltantes se les colocará “nivel 1” (para el segundo emisor cuyo nombre será IPV4 GoS), al otro “nivel 2” (para el tercer emisor cuyo nombre será IPV4 GoS2) y al ultimo “nivel 3” (para el cuarto emisor cuyo nombre será IPV4 GoS3), esto se realiza en la pestaña “**Avanzada**” en el ítem que dice “Nivel del GoS”.

Al finalizar este paso el dominio MPLS debe verse como se observa en la figura 33.

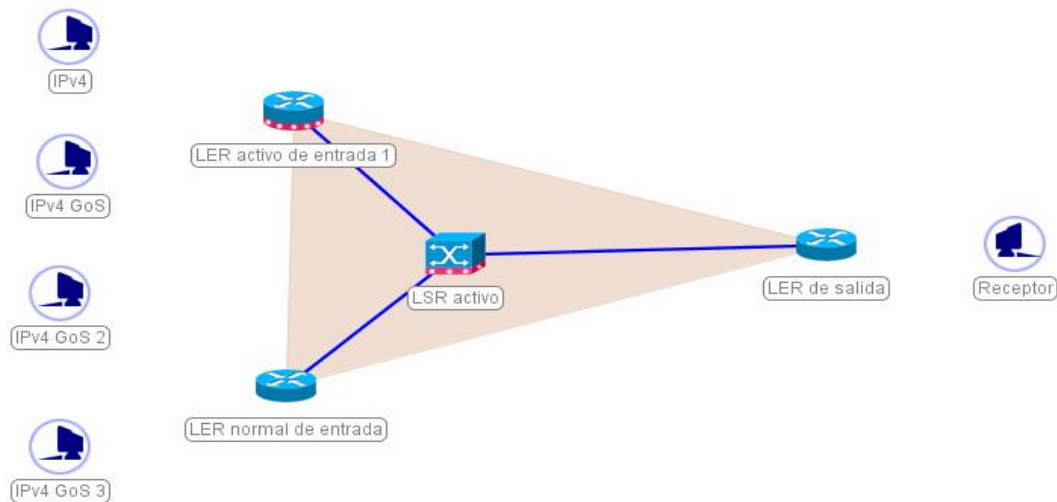


Figura 33. Ubicación de todos los elementos en el dominio MPLS.

❖ Ahora lo último que nos falta es la configuración de los enlaces que hacen falta, es decir, los enlaces entre los emisores de tráfico IPV4 y el LER activo de entrada, el enlace entre el IPV4 GoS y el LER activo de entrada a demás de los enlaces entre los emisores IPV4 GoS 2 y IPV4 GoS 3 con el LER normal de entrada y por último el enlace entre el LER de salida y el receptor, para lo anterior hacemos lo siguientes:

- Inicialmente en el área de diseño damos click al icono **“Insertar enlace”**, inmediatamente sale un menú con el nombre de **“Configuración de enlace”**, allí en la pestaña **“General”** colocamos el nombre de el enlace (el nombre que usted desee), además debemos elegir el extremo izquierdo y el extremo derecho del enlace, por lo que inicialmente se hará el enlace del IPV4 y el LER activo de entrada , por lo tanto se hace lo siguiente, en el extremo

izquierdo se selecciona el IPV4 y el puerto por el que queremos que se realice la conexión (el que usted desee), en el extremo derecho se selecciona LER activo de entrada , y se selecciona el puerto de conexión (el que usted desee).

- Dentro de la pestaña “**Rápida**” seleccionamos en la lista de velocidad la que dice “**muy rápido**”
- Damos click en **aceptar** y así queda creado el enlace.

Los pasos para la configuración de enlace se repiten para los demás elementos, es decir, el enlace entre el IPV4 GoS y el LER activo de entrada a demás de los enlaces entre los emisores IPV4 GoS 2 y IPV4 GoS 3 con el LER normal de entrada y por ultimo el enlace entre el LER de salida y el receptor.

- ❖ Después de hacer esto vamos a la pestaña de **opciones**, damos click sobre ella, y llenamos tanto los parámetros generales del escenario como los parámetros de tiempo del escenario que vamos a crear, para los parámetros de tiempo configuramos la duración en 100000ns y el paso en 50ns como se muestra a continuación en la figura 34, (los parámetros generales los podrá llenar como descripción al dominio MPLS creado):

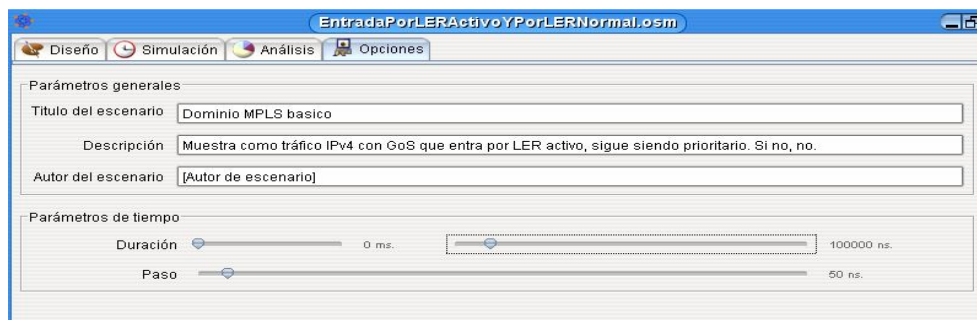


Figura 34. Configuración de área de opciones

Al término de estas configuraciones, ya hemos terminado la creación del dominio MPLS y quedamos listos para iniciar la simulación del mismo.

- ❖ **Simulación:** Para hacer la simulación del dominio que se ha creado dentro del área de diseño, primero debemos pasar al área de simulación, dando click en la pestaña “**simulación**”, dentro de esta área encontramos el dominio que se ha creado, además de una nueva barra de herramienta, para iniciar la simulación hay que dar click en el icono **iniciar la simulación** la cual tiene forma de engrane, y para que salga la leyenda, damos click en el fondo de la pantalla, en la leyenda podemos verificar cada uno de los elementos que intervienen en el proceso, como se muestra en la figura 35.

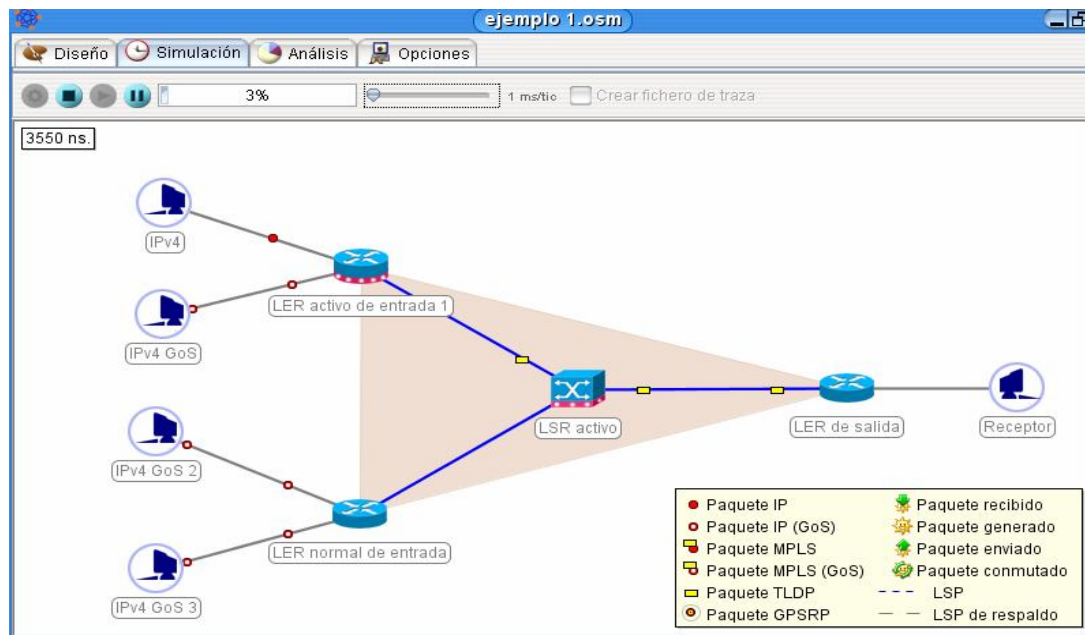


Figura 35. Inicio de la simulación

Al comienzo de la simulación se puede observar como se crean los enlaces LSP dentro del dominio, se pueden diferenciar los paquetes que tienen garantía de servicio (GoS) de los que no tienen, también se puede observar que los paquetes que pasan por el LER activo mantienen su nivel de GoS mientras que los paquetes que pasa a través del LER normal no. En el área de análisis se pueden observar diferentes graficas, simplemente dando click sobre el icono **seleccionar un elemento para generar estadísticas**, allí aparecerán los nodos, eso dependiendo de los nodos seleccionados (en este caso solo se selecciono el **receptor**), para seleccionar otros nodos se debe ir al área de diseño y dar click derecho al elemento al cual se le desea generar las graficas, al dar click derecho sobre el elemento se desplegará un submenú, con las opciones de eliminar, ver nombre y propiedades, se da click sobre propiedades, de inmediato se desplegara otra vez la ventana de configuración del elemento, allí en la pestaña de "**rápida o avanzada**" se selecciona **generar estadística**, y luego damos click en **aceptar**, luego se vuelve a la pestaña **simulación** y se inicia nuevamente la simulación, al finalizar la simulación nos dirigimos nuevamente al área de análisis y escogemos el nodo al que se desea ver las graficas.

Si se desea guardar el escenario creado, se procede a dar click en **escenario** y luego en **guardar como**, posteriormente se busca un lugar en su ordenador donde desee guardarlo, se le coloca un nombre y se da click en **guardar**, posterior a esto el simulador le hará la pregunta que si desea guardar un **código CRC "Código de redundancia cíclica"** en el fichero del escenario, código que insertado dentro del fichero del enlace permitirá con posterioridad averiguar si el escenario ha sido modificado manualmente, es un medio de seguridad, este código no es obligatorio.

4.2 CASO #2: RECUPERACIÓN DE LOS PAQUETES QUE HAN SIDO DESCARTADOS

4.2.1 OBJETIVOS:

- Poner en práctica lo aprendido anteriormente
- Congestionar artificialmente un nodo con el fin de generar descartes de paquetes y solicitudes de retransmisión.
- Mostrar una topología en la que se observen la recuperación de los paquetes que han sido descartados en un nodo activo.
- Concluir por medio de las graficas (obtenidas en el área de análisis) lo ocurrido en la simulación

4.2.2 DESCRIPCIÓN:

En este segundo caso se simulará una conexión con GoS entre Cartagena y Bogotá. En donde el nodo que se encuentra en Tunja comenzará a descartar paquetes (debido a una congestión que se realizara artificialmente⁹) y se intenta su recuperación vía Bucaramanga y/o vía Montería.

A continuación se muestra en la figura 36 la topología a simular.

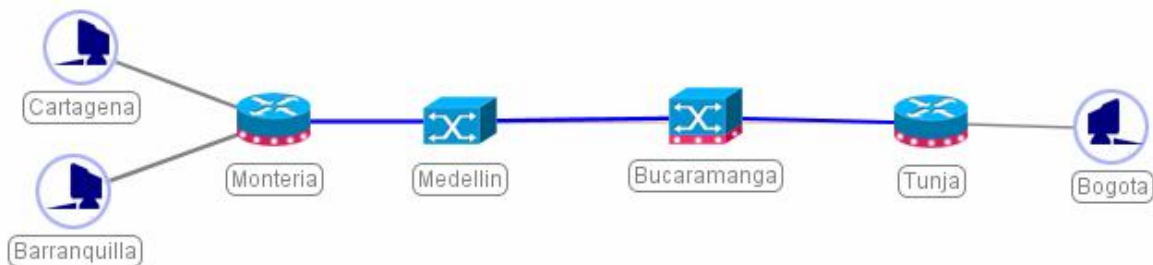


Figura 36. Diseño de topología caso #2

⁹ Esto se realiza simplemente dándole click al nodo que se desea saturar

4.2.3 PASOS:

- ❖ Inicialmente se crea un nuevo escenario, para lograr esto se debe dar click en **Escenario** → **Nuevo**.
- ❖ Para desarrollar este caso se utilizarán los elementos vistos en la figura anterior (figura 36), para esto se deben colocar los elementos al igual que se muestra en la figura anterior tal como se hizo en el primer caso.
- ❖ A continuación se mostrarán los parámetros de configuración del escenario, de cada elemento y de cada enlace presente en la figura 36, esto se hace en la pestaña de diseño.
- ❖ Receptor:
 - Nombre del receptor: Bogotá
- ❖ LER activo de salida:
 - Nombre del LERA: Tunja
 - Potencia de conmutación: 6000 Mbps
 - Tamaño de buffer de entrada: 1 MB
 - Tamaño de la DMGP: 10240 KB
 - Chulear generar estadísticas para este LERA
- ❖ LSR activo:
 - Nombre del LSRA: Bucaramanga
 - Potencia de conmutación: 10000 Mbps

- Tamaño de buffer de entrada: 6 MB
 - Tamaño de la DMGP: 100 KB
- ❖ LSR:
- Nombre del LSR: Medellín
 - Potencia de conmutación: 10000 Mbps
 - Tamaño de buffer de entrada: 5 MB
- ❖ LER activo de entrada:
- Nombre del LERA: Montería
 - Potencia de conmutación: 10000 Mbps
 - Tamaño de buffer de entrada: 100 MB
 - Tamaño de la DMGP: 1024 KB
- ❖ Emisor de trafico 1:
- Nombre del emisor: Cartagena
 - Tasa de trafico: 10000 Mbps
 - Tipo de trafico: Constante
 - Tamaño de la carga útil: 100 octetos
 - Nivel del GoS : Nivel 3
- ❖ Emisor de trafico 2:
- Nombre del emisor: Barranquilla
 - Tasa de trafico: 10000 Mbps
 - Tipo de trafico: Constante
 - Tamaño de la carga útil: 100 octetos

- Nivel del GoS : Ninguno

❖ En el dominio MPLS ya se encuentran todos los elementos, ahora lo que falta son los enlaces, los cuales unirán los elementos tal y como se disponen en la figura 36.

Para los puertos de conexión (coloque el que usted desee).

❖ Enlace Tunja – Bogotá:

- Nombre del enlace : Tunja – Bogotá
- Extremo izquierdo: Tunja
- Extremo derecho: Bogotá
- Determinar puertos de enlaces
- Retardo : 60000ns

❖ Enlace Bucaramanga – Tunja:

- Nombre del enlace : Bucaramanga – Tunja
- Extremo izquierdo: Bucaramanga
- Extremo derecho: Tunja
- Determinar puertos de enlaces
- Retardo : 3000ns

❖ Enlace Medellín - Bucaramanga:

- Nombre del enlace : Medellín – Bucaramanga
- Extremo izquierdo: Medellín
- Extremo derecho: Bucaramanga
- Determinar puertos de enlaces

- Retardo : 1000ns

❖ Enlace Montería - Medellín :

- Nombre del enlace : Montería – Medellín
- Extremo izquierdo: Montería
- Extremo derecho: Medellín
- Determinar puertos de enlaces
- Retardo : 1000n

❖ Enlace Cartagena - Montería :

- Nombre del enlace : Cartagena - Montería
- Extremo izquierdo: Cartagena
- Extremo derecho: Montería
- Determinar puertos de enlaces
- Retardo : 3000ns

❖ Enlace Barranquilla - Montería :

- Nombre del enlace : Barranquilla - Montería
- Extremo izquierdo: Barranquilla
- Extremo derecho: Montería
- Determinar puertos de enlaces
- Retardo : 1000ns

❖ Dentro de la pestaña de **opciones** dentro los parámetros de tiempo colocamos los siguientes

- Duración: 200000ns
- Paso :100ns

Al finalizar la configuración del dominio MPLS del caso # 2, el escenario se tiene que ver de la siguiente manera y con las siguientes características, como se muestra en la figura 37:

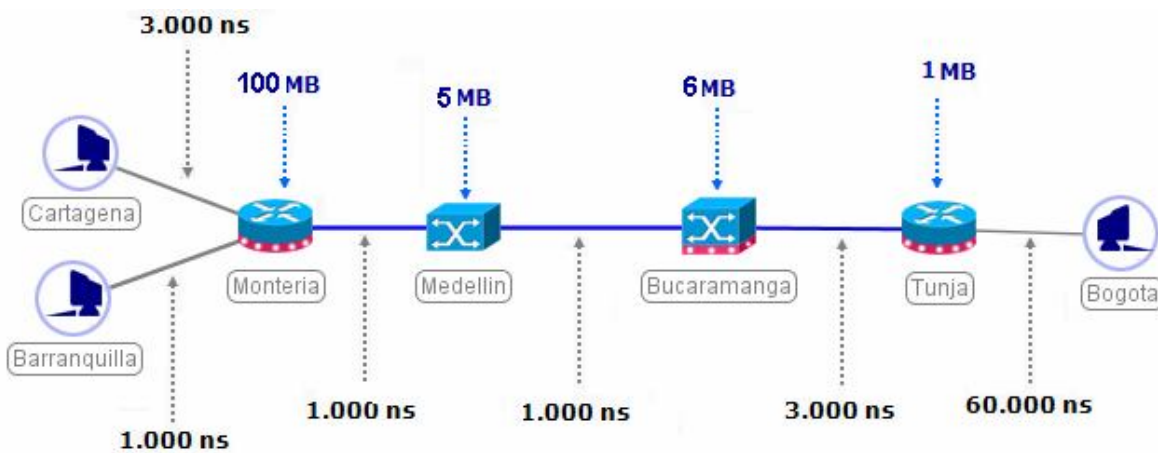


Figura 37. Dominio MPLS caso # 2.

Ya terminada el escenario del dominio MPLS del caso # 2, nos vamos a la pestaña de simulación y damos click en el botón **“Iniciar la simulación”**, después de iniciar la simulación le damos click sobre el nodo **“Tunja”**, esto se hace para saturar artificialmente el nodo, al dar click sobre este nodo este deberá tomar un color rojo dando la sensación de congestión, además este comenzara a descartar paquetes tal y como se observa en la figura 38, a demás en esta grafica también se logra observar en el nodo saturado que en el momento que el comienza a descartar paquetes también comienza a generar **“GPSRP”** (paquetes de solicitud de retransmisión), esto es solicitando al nodo activo anterior la retransmisión de los

paquetes que tengan GoS y que hayan sido descartados, esto se debe a que esta clase de paquetes poseen prioridad sobre los que no tiene garantía de servicio (GoS).

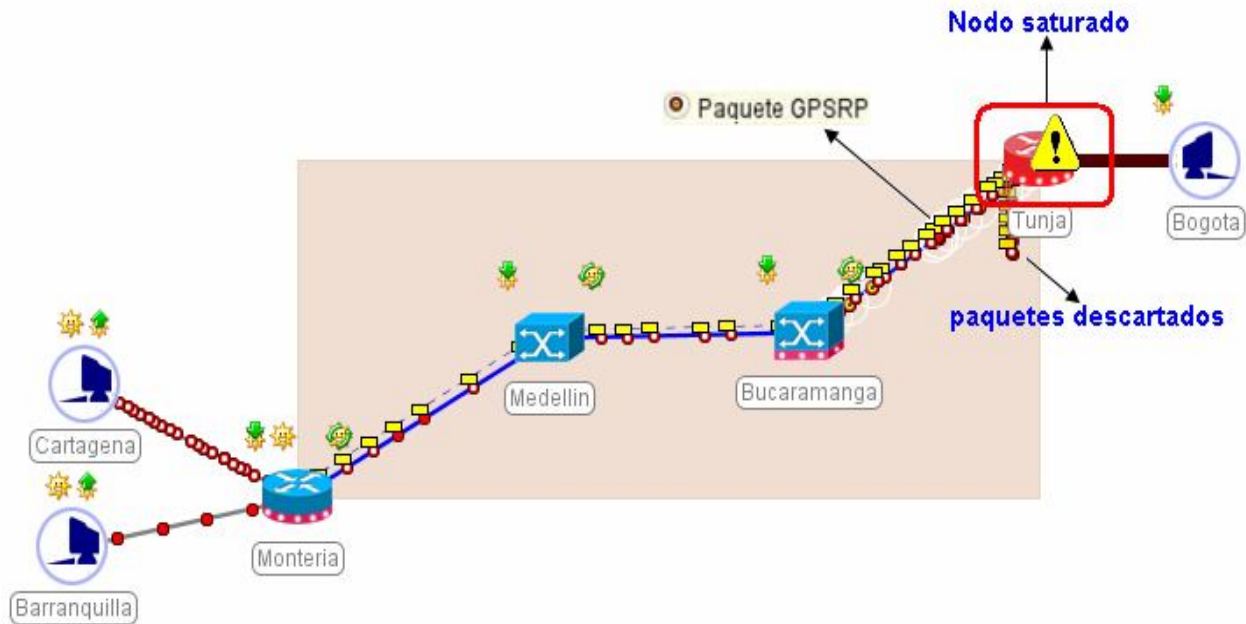


Figura 38. Simulación caso # 2 dominio MPLS

Al término de la simulación nos vamos al área de **análisis**, allí seleccionamos un elemento para observar sus estadísticas, para este caso seleccionamos el nodo saturado “Tunja”, al seleccionar este nodo se desplegarán diferentes graficas como las que se muestran a continuación (figura 39 a la figura 42):

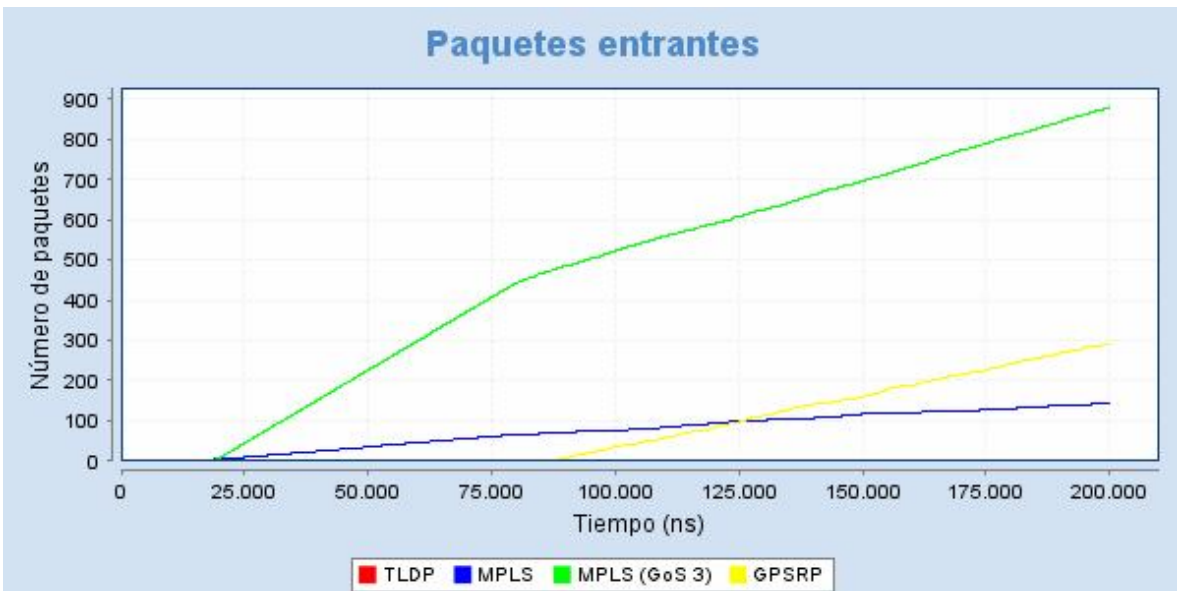


Figura 39. Paquetes entrantes nodo Tunja

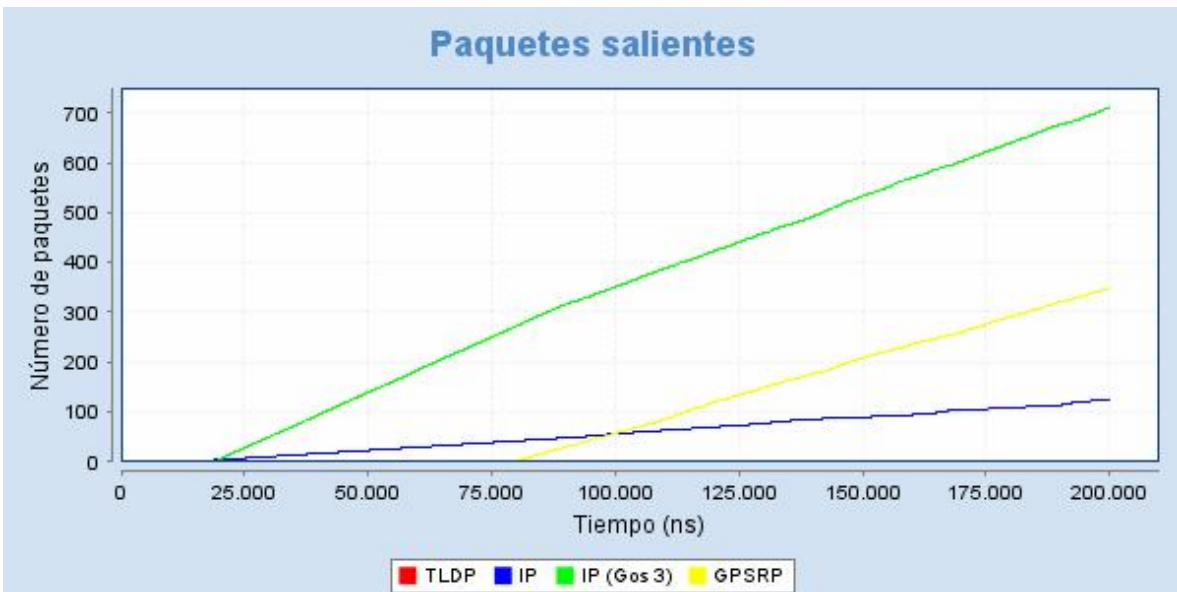


Figura 40. Paquetes salientes nodo Tunja



Figura 41. Paquetes descartados nodo Tunja



Figura 42. Recuperaciones locales de paquetes con GoS nodo Tunja

En las figuras podemos destacar que a pesar de que de los dos nodos emisores (Cartagena y Barranquilla) envían paquetes a la misma velocidad, los paquetes que poseen GoS llegan a este nodo con mayor cantidad, esto se debe a que poseen prioridad sobre los demás.

Además de lo anterior se puede observar que los paquetes entrantes en el nodo Tunja con garantía de servicio (MPLS GoS 3) posee un pequeño quiebre en su pendiente en un tiempo aproximado de 80.000ns, esto se debe a que precisamente en este punto el nodo de Tunja comienza descartar paquetes, algo que también es de mucha importancia y que se observa en las graficas es que en el mismo tiempo en que el nodo Tunja comienza a descartar paquetes, se genera una disminución de paquetes entrantes, además en ese mismo instante de tiempo comienzan a generarse paquetes GPSRP solicitando la retransmisión de los paquetes descartados con GoS, y poco tiempo después (aproximadamente 7.500ns después) que se ha pedido la retransmisión llegan los paquetes solicitados.

De la figura 42, Recuperaciones locales de paquetes con GoS nodo Tunja en particular, se puede observar los paquetes perdidos y las solicitudes emitidas, estas poseen las mismas cantidades ya que debido a que poseen GoS se espera que no se pierda ningún paquete, por otro lado se observa los paquetes GoS recuperados los cuales no poseen la misma cantidad que los paquetes perdidos (solo equivalen a un 79.22% de las solicitudes de retransmisión), esto se debe a que hay un retardo, ya que hay un lapso de tiempo entre el momento en que se

pide la retransmisión y la respuesta a esta retransmisión, los paquetes que no llegan son los que se observan en la columna de paquetes GoS no recuperados.

Por otra parte se puede observar en la grafica de paquetes descartados que la cantidad de paquetes descartados es similar tanto para los paquetes que poseen GoS como los que no poseen, esto es debido a que a los paquetes se les da el mismo trato cuando se trata de descartarlos, con el fin de afectar lo menos posible a los paquetes que no poseen GoS debido a que estos paquetes no se pueden recuperar localmente. También se puede observar que los paquetes retransmitidos son descartados con menor frecuencia que los demás paquetes, es decir que tienen prioridad superior a los otros.

Como conclusión podemos afirmar que la recuperación de paquetes con GoS funciona, ya que no solo se han procesado más paquetes con Nivel GoS 3 que paquetes MPLS tradicional, sino que se han recuperado 280 paquetes de los 350 que se han descartados; estos paquetes no pudiesen ser recuperables localmente de no ser por esta propuesta (esto es, contar con un nodo activo cercano al nodo saturado que responda a la solicitud de retransmisión), hubiesen tenido que ser recuperados extremo a extremo, con el retardo que ello supone.

Podemos hacer varios cálculos para observar como se ha ahorrado tiempo por cada paquete perdido y recuperado, de la siguiente manera:

Si Tunja no fuese un nodo activo y allí se descartare paquetes provenientes de Cartagena a Bogotá, se tardaría en recuperar el paquete:

- Tiempo en detectar los TCP fuera del orden de Bogotá : X
- Tiempo en solicitar retransmisión a Cartagena : 68.000 ns
- Tiempo en llegar la retransmisión Cartagena – Bogotá : 68.000 ns
- **Tiempo total : 136.000 ns + Xns**

Si el paquete perdido requiere GoS y los nodos son activos, como es el caso, si el paquete se descarta en Tunja, en este caso se tardaría en recuperar el paquete y llegar a Bogotá:

En el mejor de los casos (Bucaramanga reenvía)

- Tunja – Bucaramanga : 3.000 ns
- Bucaramanga – Tunja : 3.000 ns
- Tunja – Bogotá : 60.000 ns
- **Tiempo total: 66.000 ns**

Si se requiere de Montería para la retransmisión:

- Tunja – Bucaramanga : 3.000 ns
- Bucaramanga – Tunja : 3.000 ns
- Tunja – Bucaramanga : 3.000 ns
- Bucaramanga – Montería : 2.000 ns
- Montería – Bucaramanga: 2.000 ns
- Bucaramanga - Tunja : 3.000 ns
- Tunja – Bogotá : 60.000 ns
- **Tiempo Total: 76.000 ns**

De lo anterior se puede concluir que el peor de los casos la recuperación local ahorra un tiempo de $136.000 \text{ ns} - 76.000 \text{ ns} = 60.000 \text{ ns}$, por cada paquete descartado.

4.3 CASO #3: EFECTO DEL NIVEL DE GOS EN LAS RECUPERACIONES DE PAQUETES

4.3.1 OBJETIVOS:

- Observar el efecto del nivel de GoS en las recuperaciones de paquetes.
- Congestionar artificialmente un nodo (Tunja al iniciar la simulación) con el fin de generar descartes de paquetes y solicitudes de retransmisión.
- Estudiar el efecto que produce el nivel de GoS del tráfico en el número de paquetes que se consiguen recuperar localmente.

4.3.2 DESCRIPCIÓN:

En este tercer caso se simulará una conexión que será la continuación del caso número 2, en la que se observará más detalladamente lo que ocurre al variar los niveles de GoS de un Emisor, para este caso se cambiara los niveles de GoS del Emisor de trafico "Cartagena" simulando para niveles 1, 2 y 3. A demás de colocar para ambos emisores (Barranquilla y Cartagena) 618 octetos en el "Tamaño de la carga útil".

Tanto la topología del domino MPLS como la configuración de sus elementos será la misma que se observa en la figura 43, lo único es que para la primera simulación el emisor de trafico "Cartagena" se colocara en el nivel del GoS "1", en la segunda "nivel de GoS 2" y en la tercera "nivel de GoS 3".

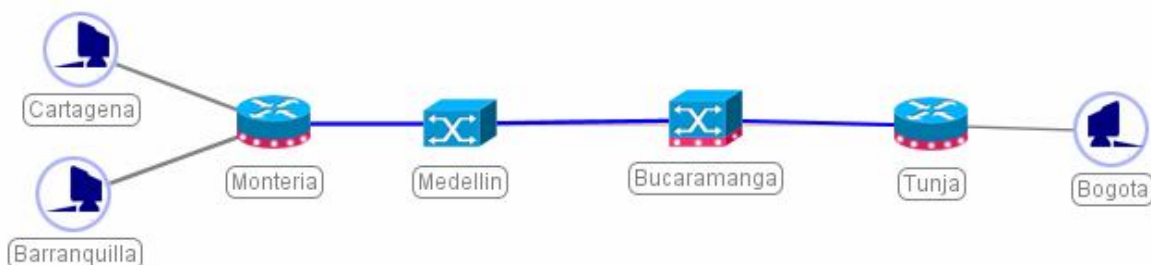


Figura 43. Diseño de topología caso #3

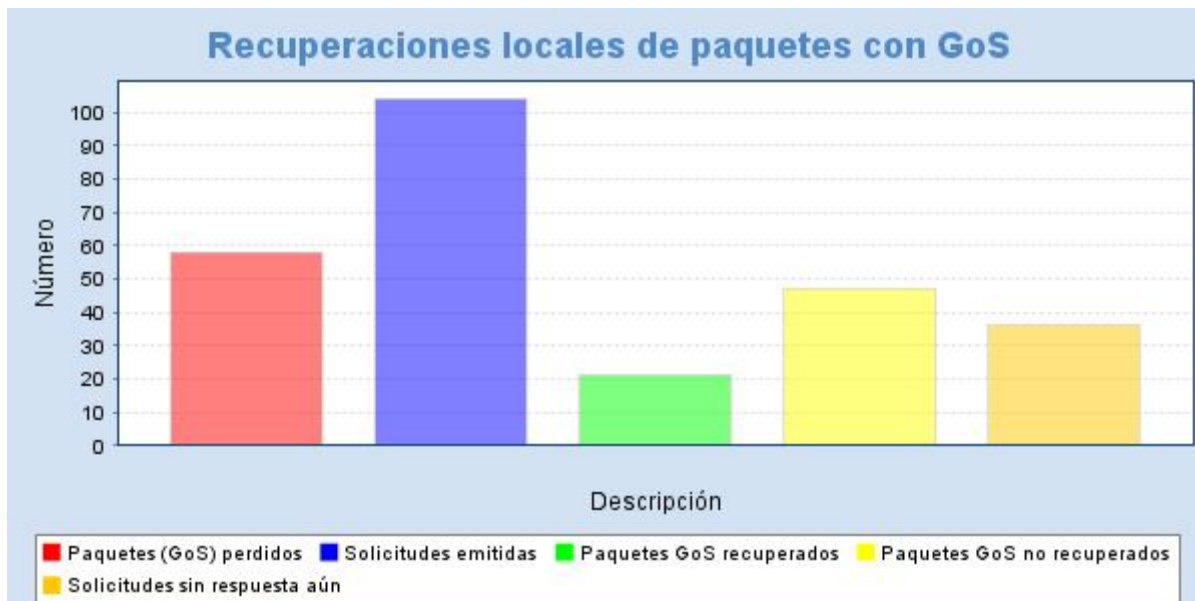


Figura 44. Recuperación de paquetes (nivel de GoS 1)

La figura 44 corresponde a la grafica de paquetes recuperados realizado en la primera simulación (nivel del GoS 1) , en ella podemos observar que la solicitudes emitidas para la recuperación de paquetes es mucho mayor que la cantidad de paquetes que se ha recuperado, y esto es porque un bajo porcentaje de la memoria de los componentes activos es destinada para guardar paquetes que posean GoS (alrededor de un 5%) y el paquete no se encuentra dentro de el LSR ubicado en Bucaramanga, este envía una negativa diciendo que el paquete no se encuentra en este LSR, entonces se emite una solicitud de retransmisión al LSR ubicado en montería.

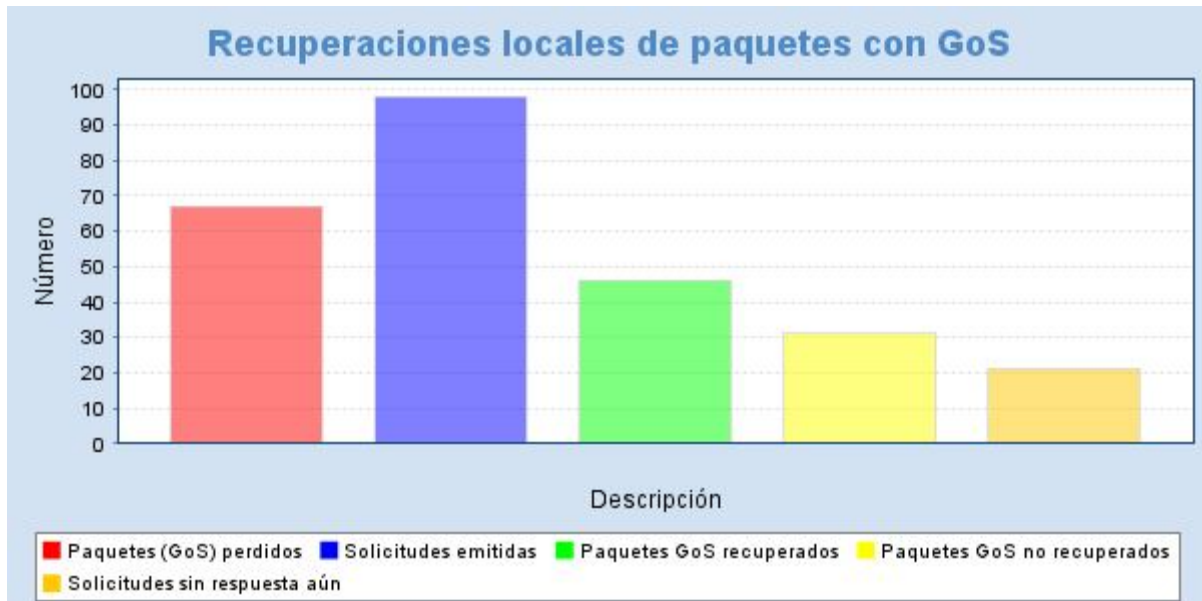


Figura 45. Recuperación de paquetes (nivel de GoS 2)

La figura 45 corresponde a la grafica de paquetes recuperados realizado en la segunda simulación (nivel del GoS 2), en esta se puede observar que el numero de peticiones de retransmisión se ha reducido, debido a que ahora los paquetes tienen un nivel de GoS 2 y los componentes activos destinan mas capacidad de su DMGP a almacenarlos temporalmente (alrededor de un 8%) y la mayoría de paquetes es recuperada en el LSR activo de Bucaramanga, además los paquetes no recuperados en este LSR activo son muy pocos debido a que el tamaño de su DMGP para almacenar los paquetes privilegiados ha aumentado.

En esta figura se puede observar el hecho que en comparación con la figura 44, ha incrementado los paquetes perdidos, esto obedece al hecho de que en la primera simulación (nivel de GoS 1), casi no se hacían retransmisiones desde Bucaramanga, la mayoría se hacían desde Montería y no eran demasiadas. Para

este caso la retransmisiones se hacen de manera inmediata desde el nodo ubicado en Bucaramanga, lo que hace que el flujo de paquetes entre Bucaramanga y Tunja aumente, lo que provoca que se tengan que descartar más paquetes al tener que darle mayor prioridad al flujo que ha sido reenviado y no a aquel que se manda por primera vez.



Figura 46. Recuperación de paquetes (nivel de GoS 3)

La figura 46 corresponde a la grafica de paquetes recuperados realizado en la tercera simulación (nivel del GoS 3), en esta ocurre lo mismo que ocurrió en la segunda simulación (nivel del GoS 2) con respecto a la cantidad de paquetes perdido, es decir, que aumentan gracias a que las recuperaciones se hacen de manera directa en el nodo ubicado en Bucaramanga, generando que la cantidad de paquetes recuperados aumente y descarten mayor cantidad de paquetes que se han enviado por primera vez.

4.4 CASO # 4: EFECTO DEL TAMAÑO DE LA DMGP EN LAS RECUPERACIONES DE PAQUETES

4.4.1 OBJETIVOS:

- Observar el efecto del tamaño de la DMGP en las recuperaciones de paquetes.
- Congestionar artificialmente el nodo Tunja con el fin de generar descartes de paquetes y solicitudes de retransmisión y observar que efecto produce el tamaño de la DMGP en el nodo al que se le solicitan retransmisiones en el número de paquetes que se consiguen recuperar localmente.

4.4.2 DESCRIPCIÓN:

En este tercer caso se utilizará la misma topología que se ha venido utilizando, nos referimos a la topología observada en la figura 47, básicamente lo que se va a realizar en este escenario es simular tres veces cambiando una y otra vez el tamaño de memoria DMGP de Bucaramanga, esto para estudiar el comportamiento del nodo al que se le solicitan retransmisiones en el número de paquetes que se consiguen recuperar localmente.

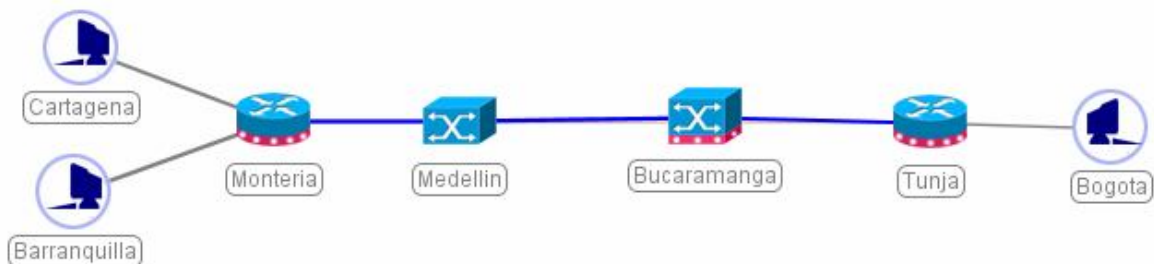


Figura 47. Diseño de topología caso #4

La configuración de los elementos es como se observa en las siguientes tablas (tabla 1 a la tabla 3):

CONFIGURACIÓN DE ENLACES		
Origen del enlace	Destino del enlace	Retardo (ns)
Cartagena	Montería	3.000
Barranquilla	Montería	1.000
Montería	Medellín	1.000
Medellín	Bucaramanga	1.000
Bucaramanga	Tunja	3.000
Tunja	Bogotá	60.000

Tabla 1. Configuración de enlaces caso # 4.

CONMUTADORES / ENRUTADORES			
Nombre	Potencia Conmutación	Tamaño del Buffer	Tamaño del DMGP
Montería	10Gbps	100MB	1KB
Medellín	10Gbps	5MB	N/A
Bucaramanga (1ra simulación)	10Gbps	6MB	32KB
Bucaramanga (2da simulación)	10Gbps	6MB	64KB
Bucaramanga (3ra simulación)	10Gbps	6MB	96KB
Tunja	6.139Gbps	1MB	10.240KB

Tabla 2. Configuración conmutadores / enrutadores caso # 4.

EMISORES						
Nombre	Tasa de generación	Tipo de trafico	Carga útil de los paquetes	Sobre MPLS	Nivel GoS	LSP de respaldo
Cartagena	10Gbps	Constante	100B	No	3	No
barranquilla	10Gbps	constante	100B	No	No	No

Tabla 3. Configuración emisores caso # 4.

El receptor es ideal y no se parametriza, y por ultimo la configuración temporal es de una duración de 200.000ns y un paso de 100ns.

Bueno después de la configuración podemos empezar la primera simulación, en la cual se le colocará en el nodo de Bucaramanga un tamaño de DMGP de 32KB.

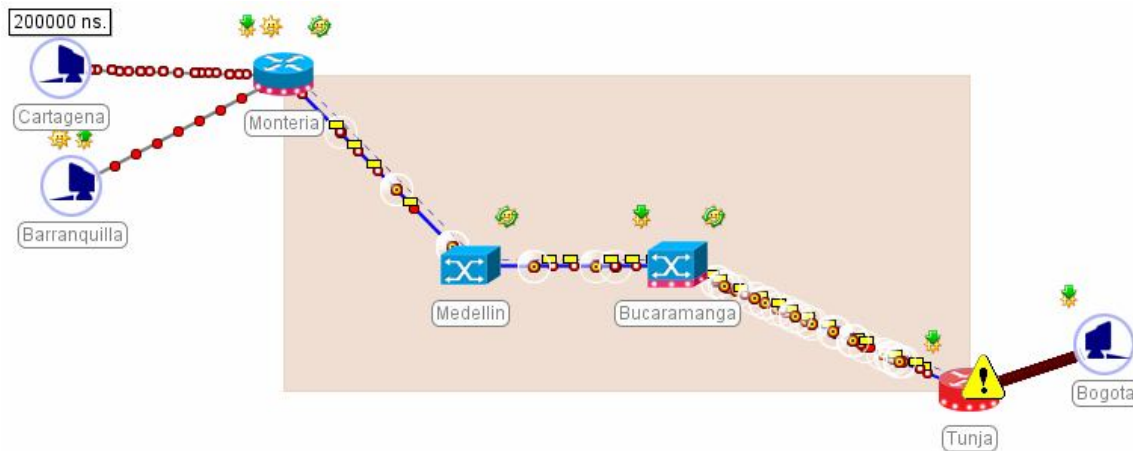


Figura 48. Pantalla simulador caso # 4.

En la figura 48, se puede observar los dos tipos de tráfico generados, uno con GoS y otro sin GoS, esto se hace con el propósito de observar como trata a un tráfico en la red, por otro lado se estableció la DMGP de Montería a 1KB, esto en la practica le impedirá resolver las peticiones que Bucaramanga no le pueda resolver a Tunja, esto se observa muy claro en la figura 48, donde Tunja le envía paquetes GPSRP a Bucaramanga, este no lo puede resolver y por lo tanto Bucaramanga le envía paquetes GPSRP a Montería.

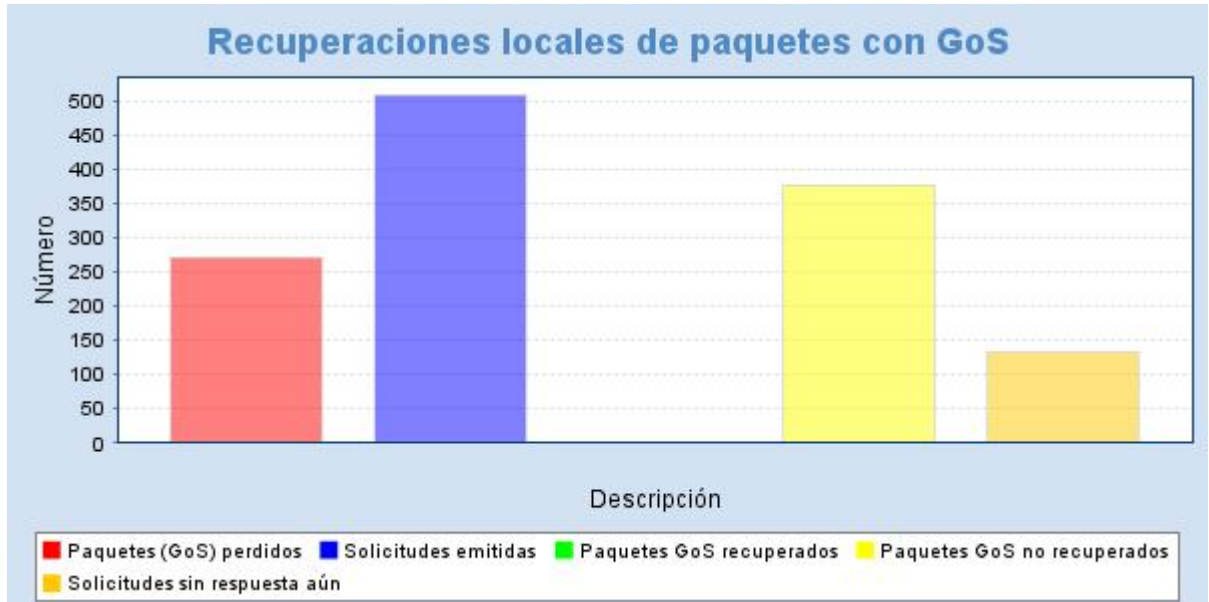


Figura 49. Recuperación de paquetes locales con GoS y DMGP de 32KB.

En el primer caso correspondiente a la figura 49 (DMGP Bucaramanga de 32KB) sucede lo siguiente:

- Paquetes GoS perdidos =271
- Solicitudes emitidas =508
- Paquetes GoS recuperados = 0
- Paquetes GoS no recuperados = 376
- Solicitudes sin respuesta aun = 132

El procedimiento es el siguiente, por cada paquete que se pierde en Tunja por la congestión, este envía una solicitud de retransmisión (GPSRP) a el nodo activo mas cercano, en este caso Bucaramanga, pero Bucaramanga posee una DMGP de 32KB que le impide almacenar mas de unos pocos paquetes del flujo privilegiado y cuando le llegan las solicitudes, los paquetes a los que hace referencia ya no se encuentran en su DMGP; por lo que contesta a Tunja con

negaciones, por lo tanto Tunja debe volver a solicitar la retransmisión de paquetes pero esta vez a el próximo nodo activo, que sería Montería, pero Montería se ha configurado a propósito con 1KB de DMGP, esto para que siempre conteste con negaciones, por lo que todo paquete que no pueda recuperar Bucaramanga tampoco lo recuperará Montería, por lo tanto y tal como se ve en la figura 49, en la barra de Paquetes GoS recuperados existe un valor igual al 0%.

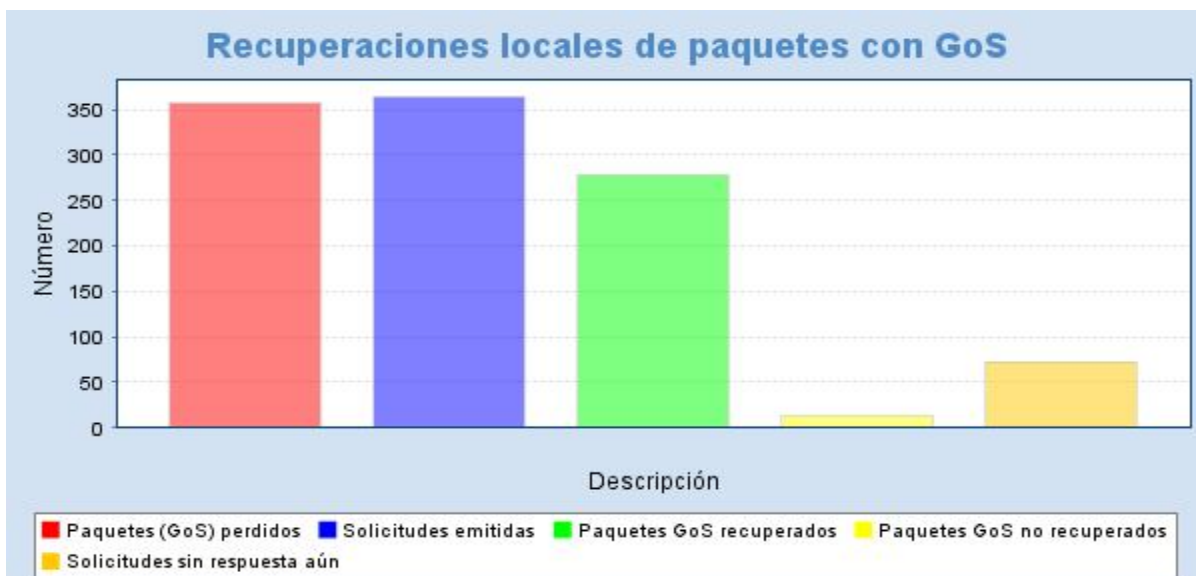


Figura 50. Recuperaciones de paquetes con GoS y con DMGP de 64 KB.

En el segundo caso (DMGP Bucaramanga de 64KB) sucede lo siguiente:

- Paquetes GoS perdidos =357
- Solicitudes emitidas =364
- Paquetes GoS recuperados = 278
- Paquetes GoS no recuperados = 13
- Solicitudes sin respuesta aun = 73

El procedimiento es el siguiente, por cada paquete que se pierde en Tunja por la congestión, este envía una solicitud de retransmisión (GPSRP) a el nodo activo mas cercano, en este caso Bucaramanga, pero Bucaramanga posee una DMGP de 64KB que le impide almacenar demasiados paquetes del flujo privilegiado aunque en este caso esta cantidad es suficiente para ofrecer un buen servicio. Cuando le llegan las solicitudes, los paquetes a los que hace referencia ya no se encuentran en su DMGP; por lo que contesta a Tunja con negaciones, por lo tanto Tunja debe volver a solicitar la retransmisión de paquetes pero esta vez a el próximo nodo activo, que sería Montería, pero Montería se ha configurado con a propósito con 1KB de DMGP, esto para que siempre conteste con negaciones, por lo que todo paquete que no pueda recuperar Bucaramanga tampoco lo recuperara Montería, por lo tanto y tal como se ve en la figura 50, en la barra de Paquetes GoS recuperados existe un valor igual al 278 paquetes.

Hay que mencionar un hecho que se observa al comparar la primera simulación de la segunda simulación, el hecho es que en la segunda simulación se pierden mas paquetes con GoS que en la primera simulación, la explicación se debe a que en la simulación con DMGP de 32KB casi no se hacían retransmisiones desde Bucaramanga ni desde Montería, mientras que en el segundo caso Bucaramanga transmite mas paquetes a Tunja que en el primer caso y lo hace directamente; Esto genera un aumento local de trafico que se suma al trafico proveniente de Medellín y provoca que Tunja que esta saturada descarte mas paquetes, en la mayoría de los casos los paquetes descartados son los retransmitidos, a los que se vuelve a solicitar retransmisión, pero en cualquier caso el porcentaje de recuperaciones aumenta. Este resultado negativo se debe a que la simulación se

esta realizando con trafico constante, el trafico a ráfagas y de tamaño variable de internet permite mejorar los resultados.



Figura 51. Recuperaciones de paquetes con GoS y con DMGP de 96 KB.

En el tercer caso (DMGP Bucaramanga de 96KB) sucede lo siguiente:

- Paquetes GoS perdidos =349
- Solicitudes emitidas =349
- Paquetes GoS recuperados = 281
- Paquetes GoS no recuperados = 0
- Solicitudes sin respuesta aun = 68

El procedimiento es el siguiente, por cada paquete que se pierde en Tunja por la congestión, este envía una solicitud de retransmisión (GPSRP) al nodo activo más cercano, en este caso Bucaramanga, este posee una DMGP de 96KB que le permite brindar servicio a todas las solicitudes de Tunja. Cuando le llegan las

solicitudes, los paquetes a los que hace referencia ya no se encuentran en su DMGP; por lo que contesta a Tunja con confirmaciones y retransmisiones, por lo tanto con esta configuración y tal como se ve en la figura 51, en la barra de Paquetes GoS recuperados existe un valor igual al 281 paquetes.

Al termino de proceso se puede concluir que entre mayor es la DMGP de los nodos a los que se les solicita retransmisión mayor numero de paquetes con GoS se recupera.

4.5 CASO #5: EFECTO QUE PROVOCA EL TAMAÑO DE LOS PAQUETES EN LAS RECUPERACIONES

4.5.1 OBJETIVOS:

- Observar el efecto que provoca el tamaño de los paquetes en las recuperaciones de estos.
- Congestionar artificialmente un nodo (Tunja al iniciar la simulación) con el fin de generar descartes de paquetes y solicitudes de retransmisión.

4.5.2 DESCRIPCIÓN:

En este quinto caso se realizará la simulación del mismo escenario haciendo unas variaciones en el tamaño de los paquetes tanto para los paquetes enviados de Cartagena como los enviados desde barranquilla y el nivel de GoS se mantendrá en 3 para los paquetes enviados desde Cartagena, con el fin de observar como afecta a las recuperaciones el hecho de que los paquetes aumenten de tamaño (para lograr esto la simulación se realizará sobre el mismo escenario utilizado anteriormente).

En este escenario se realizarán tres simulaciones, la primera se realizará cambiando el tamaño de los paquetes en 10 octetos, la segunda en 100 y para la tercera se colocará el número de octetos en 1000, para eliminar las retransmisiones originadas desde Montería, en todas las simulaciones se establecerá el tamaño de su DMGP a 1KB y el valor del DMGP del nodo de Bucaramanga se establece en 64KB.

La configuración de los elementos es como se observa en las siguientes tablas (tabla 4 a la tabla 6):

CONFIGURACIÓN DE ENLACES		
Origen del enlace	Destino del enlace	Retardo (ns)
Cartagena	Montería	3.000
Barranquilla	Montería	1.000
Montería	Medellín	1.000
Medellín	Bucaramanga	1.000
Bucaramanga	Tunja	3.000
Tunja	Bogotá	60.000

Tabla 4. Configuración de enlaces caso # 5.

CONMUTADORES / ENRUTADORES			
Nombre	Potencia Conmutación	Tamaño del Buffer	Tamaño del DMGP
Montería	10Gbps	100MB	1KB
Medellín	10Gbps	5MB	N/A
Bucaramanga	10Gbps	6MB	64KB
Tunja	6Gbps	1MB	10.240KB

Tabla 5. Configuración conmutadores / enrutadores caso # 5.

EMISORES						
Nombre	Tasa de generación	Tipo de trafico	Carga útil de los paquetes	Sobre MPLS	Nivel GoS	LSP de respaldo
Cartagena (1ra sim.)	10Gbps	Constante	10B	No	3	No
Cartagena (2da sim.)	10Gbps	Constante	100B	No	3	No
Cartagena (3ra sim.)	10Gbps	Constante	1000B	No	3	No
Barranquilla (1ra sim.)	10Gbps	Constante	10B	No	No	No
Barranquilla (2da sim.)	10Gbps	Constante	100B	No	No	No
Barranquilla (3da sim.)	10Gbps	Constante	1000B	No	No	No

Tabla 6. Configuración emisores caso # 5.

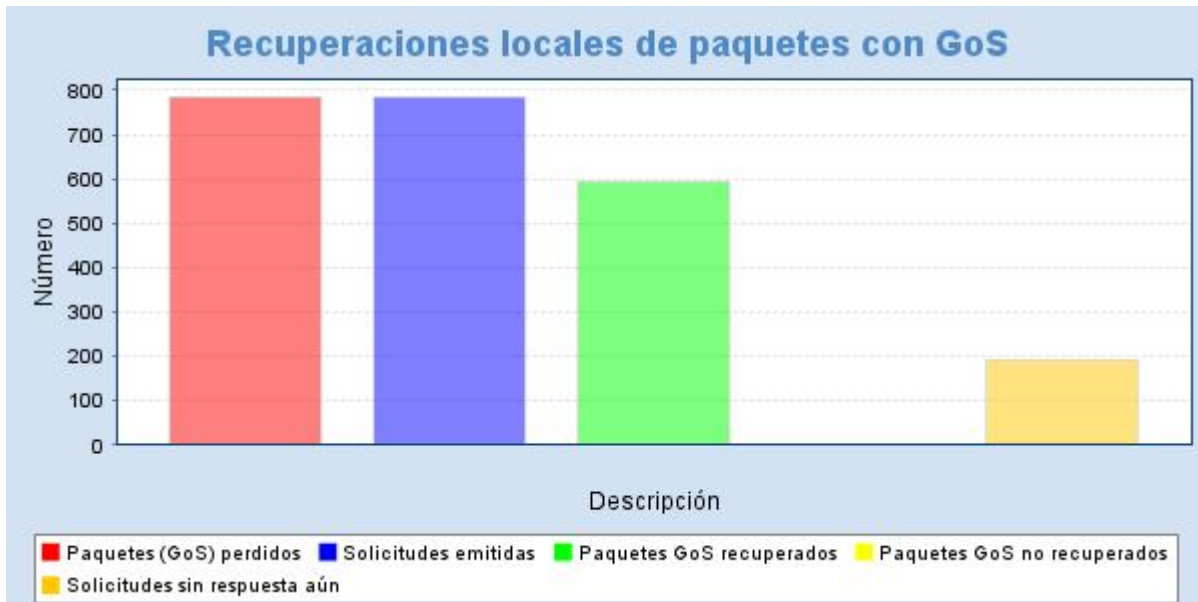


Figura 52. Grafico de recuperación de paquetes (primera sim).

Primera simulación (10 octetos)

- Paquetes GoS perdidos =798
- Solicitudes emitidas =798
- Paquetes GoS recuperados = 601
- Paquetes GoS no recuperados = 0
- Solicitudes sin respuesta aun = 197

En esta simulación se puede observar que el pequeño tamaño de los paquetes hace posible su recuperación, debido a que el nodo ubicado en Bucaramanga puede almacenarlos en una gran cantidad, y así cuando se le solicita la retransmisión de un paquete perdido hay una gran probabilidad de que este lo tenga en su memoria, de la simulación podemos observar que no hay ningún

paquete no recuperado hasta el momento, lo que pronostica una respuesta positiva para los 197 que se encuentran sin respuesta aun como se muestra en la figura 52.



Figura 53. Grafico de recuperación de paquetes (segunda sim).

Segunda simulación correspondiente a la figura 53 (100 octetos)

- Paquetes GoS perdidos =347
- Solicitudes emitidas =352
- Paquetes GoS recuperados = 276
- Paquetes GoS no recuperados = 8
- Solicitudes sin respuesta aun = 68

En esta simulación se puede observar que el tamaño de los paquetes influye en la recuperación de estos, porque para un tamaño de paquetes de 100 octetos empiezan a presentarse paquetes no recuperados, esto es debido a que la

memoria DMGP del nodo de Bucaramanga almacena menos paquetes que en la simulación anterior debido a que ahora ocupan más memoria.

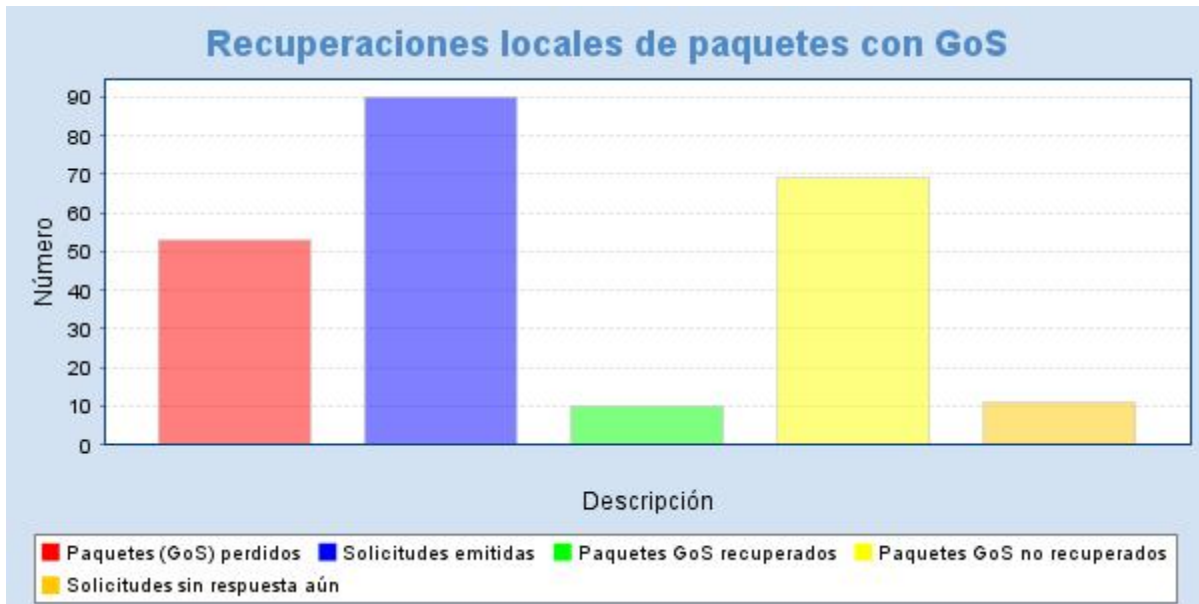


Figura 54. Grafico de recuperación de paquetes (tercera sim).

Tercera simulación correspondiente a la figura 54 (1000 octetos)

- Paquetes GoS perdidos =52
- Solicitudes emitidas =88
- Paquetes GoS recuperados = 9
- Paquetes GoS no recuperados = 66
- Solicitudes sin respuesta aun = 13

En esta simulación se puede observar muy claramente el efecto que tienen los paquetes sobre las recuperaciones, en esta simulación en comparación con las anteriores se puede observar que el tamaño de los paquetes de 1000 octetos causa que los paquetes no recuperados sean mucho mayor a los paquetes

recuperados, esto es porque la memoria DMGP del nodo de Bucaramanga se satura con menos paquetes debido a su gran tamaño.

Como conclusión se podría decir que entre más grande sea el tamaño de los paquetes que se intenta recuperar, su recuperación será más difícil.

4.6 CASO #6: EFECTO DE GENERAR UN LSP DE RESPALDO EN LOS ENLACES

4.6.1 OBJETIVOS:

- Observar el efecto de generar un LSP de respaldo en los enlaces y como se crean durante la simulación.
- Romper artificialmente un enlace con el fin de observar la respuesta del RLPRP (Protocolo de recuperación flexible de caminos locales) como mecanismo que obliga a restablecer LSP de seguridad para aquellos flujos que lo requieran.

4.6.2 DESCRIPCIÓN:

En este sexto caso se realizará la simulación del escenario que se observa en la figura 55, en donde se observará la respuesta del RLPRP en la utilización de los caminos de respaldo al romperse el enlace principal.

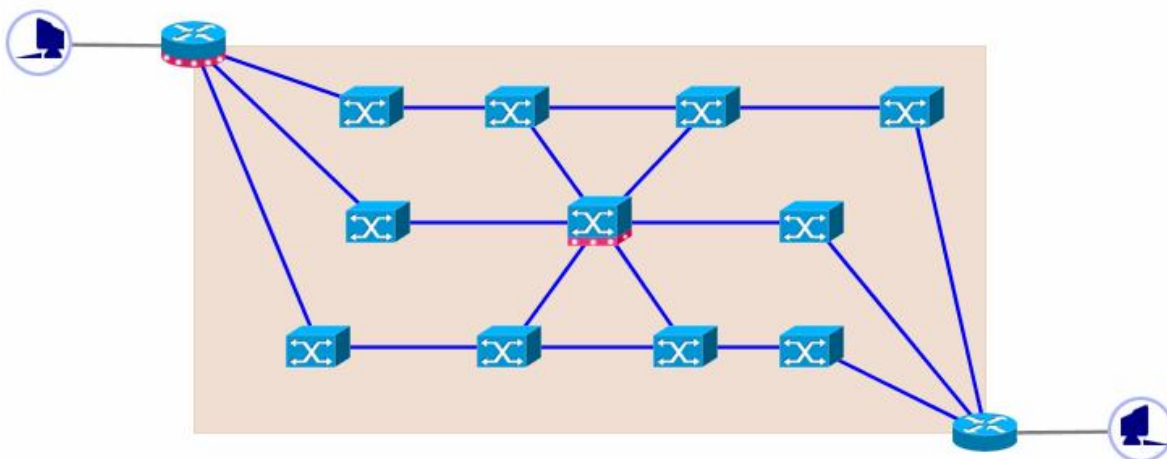


Figura 55. Escenario caso # 6.

Configuración de los elementos:

Nombre	Potencia de conmutación	Tamaño del buffer de entrada	Tamaño de la DMGP
LSR	10GB	1M	N/A
LER	10GB	1M	N/A
LSR activo	3GB	6M	128KB
LER activo	10GB	100M	10.240KB

Tabla 7. Configuración enrutadores / conmutadores caso # 6.

Nombre	Tasa de trafico	Tipo de trafico	Tamaño de la carga útil	Nivel del GoS	Crear LSP de respaldo
Emisor	3GB	constante	100 octetos	3	SI

Tabla 8. Configuración emisor caso # 6.

Todos los enlaces tendrán el mismo tiempo de retardo (1000 ns). Los elementos se dispondrán de la misma manera como se observa en la figura 55.

Durante la simulación del escenario se romperán unos enlaces para ver el comportamiento del dominio MPLS a esa situación, para iniciar la simulación, dentro del área de simulación damos click al icono **iniciar simulación**, e inmediatamente observaremos los paquetes de tipo TLDP recorriendo el escenario, pues estos son los encargados de establecer tanto los LSP principales como los de respaldo.

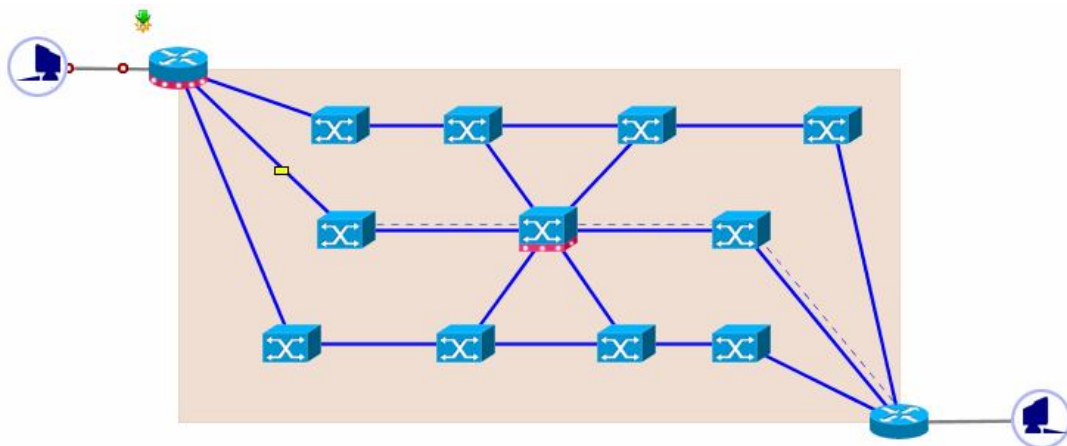


Figura 56. Generación del LSP principal y paquete TLDP.

En la figura 56 se muestra un paquete TLDP el cual después de llegar al LER normal (ubicado al lado izquierdo del receptor) se regresa al origen, y a medida que lo hace va estableciendo el LSP principal, dentro de esta simulación este camino se completa en aproximadamente 10125ns, en este mismo tiempo los paquetes MPLS comenzarán a circular dentro del dominio por medio del LSP principal, además de un nuevo paquete TLDP que se encarga de buscar una nueva ruta que servirá como respaldo de la principal (LSP de respaldo) el cual se completa dentro de esta simulación a los 29250ns de haber iniciado la simulación. En la figura 57 se muestran los paquetes circulando por el enlace principal y el LSP de respaldo.

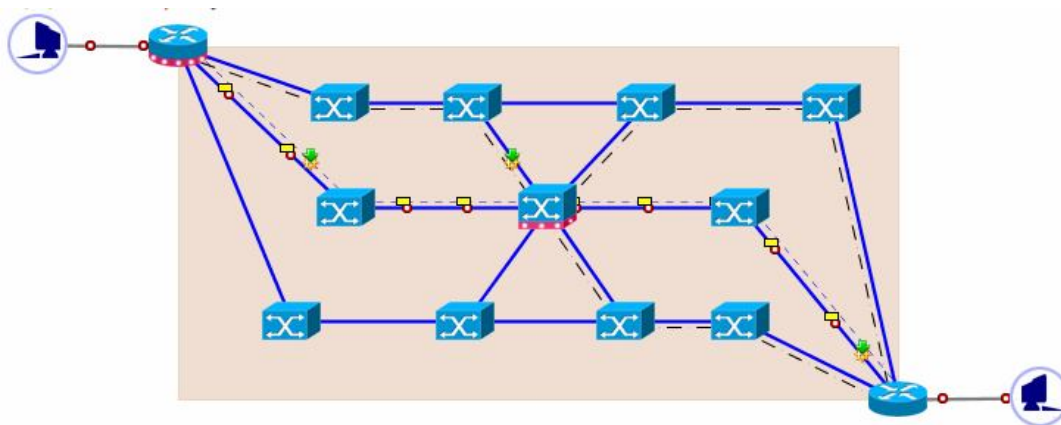


Figura 57. LSP principal y LSP de respaldo.

Ahora que están completos tanto el LSP principal como el LSP de respaldo se pueden provocar roturas en los enlaces que se han generado, con el fin de observar la forma en que se le da de baja al resto del enlace (mediante paquetes TLDP) y el direccionamiento casi inmediato al LSP de respaldo, que a su vez se convierte en principal y por tanto un nuevo TLDP sale en busca de una nueva ruta de respaldo.

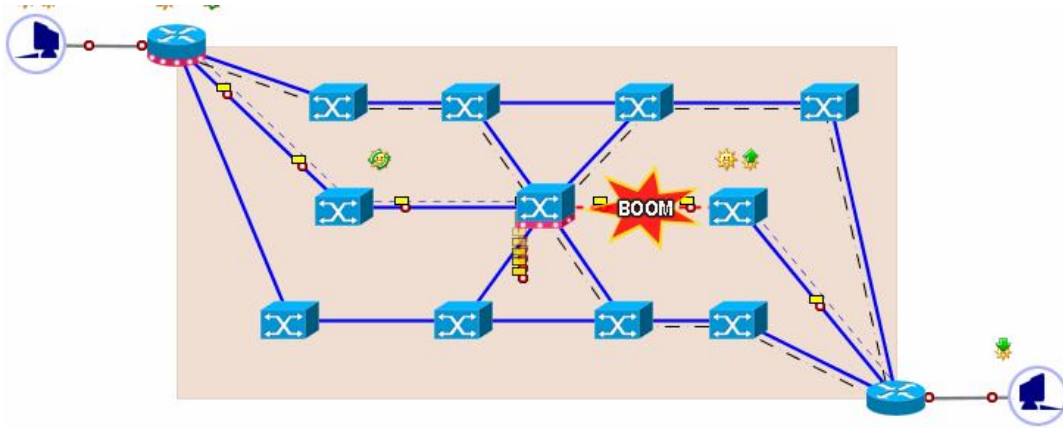


Figura 58. Rotura de enlace caso # 6.

En la figura 58, se puede observa un rompimiento artificial de el enlace principal lo cual genera una saturación en el LSR activo, posterior a esto un paquete TLDP genera una nueva LSP principal, tal y como se observa en la figura 59, direccionando nuevamente los paquetes a esta nueva ruta.

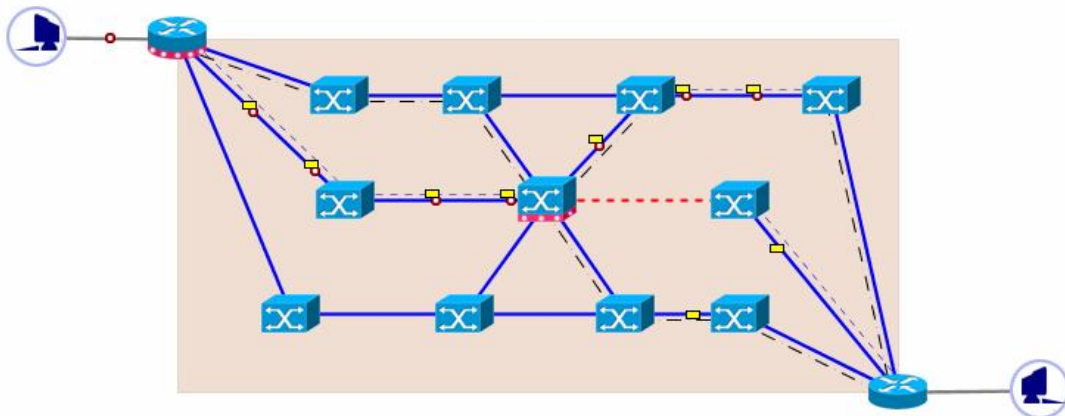


Figura 59. Cambio de ruta principal.

Al romper otro enlace dentro del dominio MPLS, entra nuevamente en funcionamiento el paquete TLDP creando un nuevo LSP principal y otro de respaldo que genere mas seguridad al enlace, esto en caso que se caiga otro enlace dentro del dominio, tal como se muestra en la figura 60.

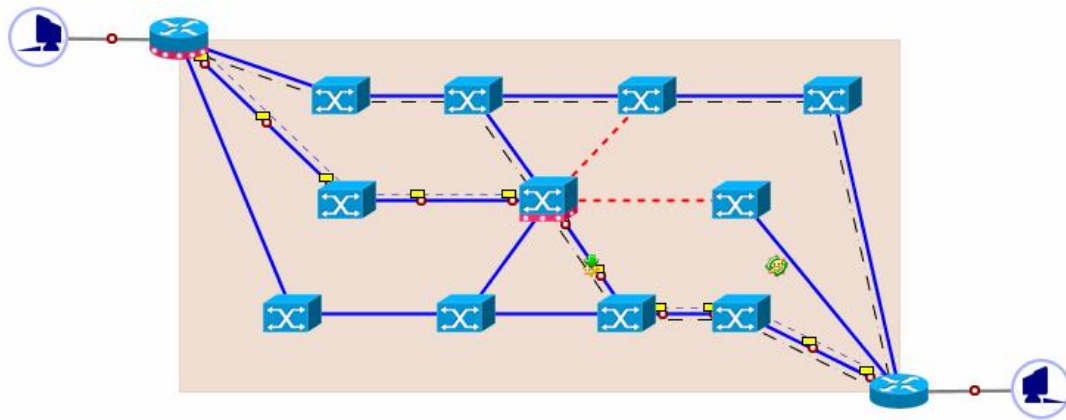


Figura 60. Rotura de otro enlace y generación de respaldo.

Si por algún motivo se llegara a romper el enlace de respaldo, el paquete TLDP tratará de generar un nuevo LSP para crear una nueva ruta de respaldo.

5. CONCLUSIONES

En cada uno de los casos que se realizaron se pudo aclarar varias situaciones que permiten que el dominio MPLS funcione de la mejor manera como es el caso de que entre mas grande sea el tamaño de los paquetes que se intenta recuperar, su recuperación será más difícil, o que entre mayor es la DMGP de los nodos a los que se les solicita retransmisión mayor numero de paquetes con GoS se recupera, o por lo menos dejar en claro que los paquetes perdidos pueden ser recuperables localmente (esto es, contar con un nodo activo cercano al nodo saturado que responda a la solicitud de retransmisión), esto para evitar tener que ser recuperados extremo a extremo, con el retardo que ello supone.

Un buen complemento de esta monografía seria evaluar el desempeño de un dominio MPLS real, a través de la simulación en OPEN SIMMPLS y plantear diferentes estrategias para mejorar su rendimiento, es decir simulando problemas como caídas de enlaces y saturaciones en nodos para así observar las implicaciones que traerían estos problemas a la red y proponer después de un análisis al problema la mejor solución.

Como propuesta se recomienda la utilización de este software en cursos en donde se hable de MPLS, pues este software posibilita un mejor entendimiento a este tema.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1]. OpenSimMPLS. Sitio online del simulador

<http://gitaca.unex.es/opensimmpls-/web/es/indiceES.html>.

[2]. International Engineering Consortium. "MPLS Tutorial"

<http://www.iec.org/online/tutorials/mppls/.2003>.

[3]. IETF, Grupo de Network Working. RFC 3031 Session Announcement Protocol (on ne). Disponible en Internet: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt> "Documento ubicado por el IETF por medio del grupo de trabajo de red, donde se definen las lip características de la arquitectura desarrollada por ellos MPLS".

[4]. Camilo Andrés Llerena y Karen Villacob Pineda, Monografía "MPLS conmutación de etiquetas multiprotocolo" , 2004.

[5]. F. Rodríguez-Pérez, M. Domínguez Dorado, Manual de usuario de Open SimMPLS <http://bcds.udg.es/papers/V-JITEL-SIMPLS-2005.pdf>, 2004

7. ANEXOS

7.1 REQUISITOS DEL SISTEMA

7.1.1 REQUISITOS MÍNIMOS:

- Procesador a 300 MHz.
- 64 MB. de memoria RAM.
- 30 MB. de espacio libre en disco.
- Java ® Runtime Enviroment 1.4.2 instalado y configurado.

7.1.2 REQUISITOS RECOMENDADOS:

- Procesador a 1,5 GHz.
- 512 MB. de memoria RAM.
- 1 GB. de espacio libre en disco.
- Java ® Runtime Enviroment 1.5 instalado y configurado.

7.1.3 SISTEMAS PROBADOS CON ÉXITO (SIN DIFICULTADES):

- **Windows 98 SE** en un Intel Pentium II 300 MHz, RAM de 64 MB.
- **Windows 2000 pro** en un AMD Athlon Thunderbird 800 MHz, RAM de 512 MB.
- **Windows Me** en un AMD Athlon 1 GHz, RAM de 256 MB.
- **Windows HP Home Edition** en un portátil con procesador AMD Turion 64, 1,8 GHz, 1024 MB de RAM.

- **GNU/Linux Red Hat 8.x** en un AMD Athlon Thunderbird 800 MHz, RAM de 512 MB.
- **GNU/Linux Red Hat 9.x** en un AMD Athlon Thunderbird 800 MHz, RAM de 512 MB.
- **GNU/Linux LinEx 3.x** en un AMD Athlon Thunderbird 800 MHz, RAM de 512 MB.
- **GNU/Linux LinEx 3.x** en un AMD Athlon 1 GHz, RAM de 256 MB.
- **GNU/Linux Fedora Core 1** en un portatil Intel Cetrino 2,5 GHz, RAM de 512 MB.
- **GNU/Linux Fedora Core 5** en un portátil con procesador AMD Turion 64, 1,8 GHz, 1024 MB de RAM.

7.1.4 SISTEMAS PROBADOS CON ÉXITO (CON DIFICULTADES):

- **GNU/Linux Debian Woody** en Sun Sparc Ultra 5 (64 bits), RAM de 256 MB.

7.1.5 SISTEMAS DONDE NO FUNCIONA:

- **MSDOS**, sobre cualquier plataforma i386.
- **PC-DOS**, sobre cualquier plataforma i386.

