

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
ESCUELA DE POSGRADO
SECCIÓN DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LA ELECTRÓNICA
MENCION EN TELECOMUNICACIONES



“INGENIERÍA DE TRÁFICO EN REDES IP”

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS
DE LA ELECTRONICA, MENCION EN TELECOMUNICACIONES**

AUTOR: José Carlos Castañeda Meza

CALLAO - PERÚ

2011

Id- Exmplan: 57228

JURADO SUSTENTACIÓN DE TESIS DE MAESTRIA

DR. JUAN HERBER GRADOS GAMARRA	Presidente
MG. NICANOR RAÚL BENITES SARAVIA	Secretario
MG. FRANCO IVAN VÉLIZ LIZÁRRAGA	Miembro
DR. MARCELO NEMESIO DAMAS NIÑO	Miembro
MG. MANUEL ARIAS BARANDIARAN	Asesor

N° DE LIBRO : 01

N° DE ACTA : 08

FECHA : MAYO 26, 2011.

**RESOLUCION DE LA SECCION POSGRADO DE LA FIEE N° 038-2011-
DSPG-FIEE**

DEDICATORIA

A Dios, por haberme siempre apoyado en este duro trajinar que es la vida

A mis padres, por las enseñanzas que siempre me dieron

A mi esposa, por ser mi fiel compañera de toda la vida y estar permanentemente alentándome en todos mis proyectos profesionales y académicos.

A mis hijos, por entender que no hay edad para lograr objetivos académicos y siempre debemos mirar el futuro con mucho optimismo.

A mi asesor, por haberme dado la luz necesaria para terminar este proyecto

A todos los amigos que me apoyaron y ayudaron en este proyecto.

ÍNDICE

CARÁTULA	I
HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACION	II
DEDICATORIA	III
ÍNDICE	IV
PROLOGO	VII
RESUMEN	VIII
<i>ABSTRACT</i>	IX
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.1 Identificación del problema	11
1.2 Formulación del problema	12
1.3 Objetivos de la investigación	12
1.4 Justificación	13
1.5 Limitaciones y facilidades	13
1.6 Hipótesis de partida	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	16
2.1 Antecedentes del estudio	16
2.2 Base epistémica	17

2.3	Definición de términos	18
2.4	Abreviaturas utilizadas	23
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		26
3.1	Relación entre las variables de la investigación	26
3.2	Tipo de investigación	26
3.3	Diseño de la investigación	26
3.3.1	MPLS y la Ingeniería de Tráfico	26
3.3.2	La Ingeniería de Tráfico (TE)	38
3.3.3	Tráfico explícito, CSPF, MIRA y <i>Fairness</i>	46
3.3.4	<i>Max-Min Fairness</i> básico para caminos fijos	50
3.3.5	<i>Max-Min Fairness</i> básico para caminos fijos con cotas	51
3.3.6	<i>Max-Min Fairness</i> para múltiples caminos	51
3.3.7	Primero el enlace más corto con restricciones (CSPF – <i>Constraint Shortest Path First</i>)	52
3.3.8	La Ingeniería de Tráfico en la práctica	60
3.3.9	Experiencia de simulación	76
3.4	Metódica de cada momento de la investigación	81
3.5	Operacionalización de variables	82
3.6	Población y muestra	82
3.7	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	83

3.8	Procedimientos de recolección de datos	83
3.9	Procesamiento estadístico y análisis de datos	83
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		84
4.1	Resultados parciales	84
4.2	Resultados finales	84
CAPÍTULO V: DISCUSION DE RESULTADOS		91
5.1	Contrastación de hipótesis con los resultados	91
5.2	Contrastación de resultados con otros estudios similares	91
CONCLUSIONES		92
RECOMENDACIONES		96
REFERENCIALES		97
ANEXOS		99
1.	Matriz de consistencia	99

PRÓLOGO

La presente tesis de Maestría en Telecomunicaciones forma parte de los requerimientos académicos para la obtención del título de Grado Académico de Maestro, que otorga la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional del Callao, según consta en los planes de estudio vigentes aprobados por la RESOLUCION RECTORAL N° 1359-09-R DE 29 DE DICIEMBRE DE 2009.

Como asesor de esta tesis fue elegido el profesor - Mg. Manuel Alejandro Arias Barandiaran, quien propuso varios temas de tesis y el que suscribe eligió el presente, el cual fue remitido a la Comisión responsable de la Facultad, donde fue evaluado y aprobado según consta en la resolución del Director de la Sección de PosGrado de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica con fecha 03 de febrero del 2011.

Este trabajo se ha realizado con la importante ayuda del Simulador **OPNET MODELLER** en su versión Académica, instalado en el Laboratorio de Informática de la **FIEE DE LA UNAC** y también en la oficina de mi centro de labores.

RESUMEN

Es ampliamente conocido el comportamiento del tráfico sensible a congestión (**TCP = Transmission Control Protocol**) y del tráfico no sensible (**UDP = User Data Protocol**) cuando comparten un enlace común. Cualquier aumento del tráfico no sensible ocasiona efectos adversos a la *performance* del tráfico sensible (debido al mecanismo de control de congestión). Este trabajo de tesis presenta los principales conceptos de Ingeniería de tráfico en redes IP y al final un ejemplo de escenario de red para ilustrar los beneficios del uso de la Ingeniería de tráfico del **MPLS (Multi Protocol Level Switching)** y **QoS (Calidad de Servicio)**, que reduce los efectos indeseables de mezclar flujos insensibles con flujos sensibles a congestión. Usamos flujos de datos **TCP** para representar flujos sensibles y **UDP** para representar flujos de datos no sensibles a congestión.

Con los resultados, se efectúa un análisis comparativo del comportamiento, vía simulación de: 1) De una red no **MPLS**; 2) Una red con 2 **LSP (Label Switching Path)**, uno para un flujo sensible puro y el otro combinado de un flujo sensible y otro no sensible y 3) Una red con 3 **LSP**, una para cada flujo de tráfico y diferenciación de tráfico usando **WFQ (Weighted Fair Queuing)** el enlace que transporta los tráficos sensibles y no sensibles, basados en el *throughput* alcanzado por los flujos sensibles y no sensibles cuando comparten los recursos de red.

ABSTRACT

*It is a well-known behavior that when congestion-sensitive (**TCP**) and congestion-insensitive (**UDP**) traffic share a common path, an increase in congestion-insensitive traffic adversely affects congestion-sensitive traffic's performance (e.g., due to **TCP's** congestion control mechanism). This thesis analyse the basics concepts of the traffic engineering and uses an example network scenario to illustrate the benefits of using **MPLS** traffic engineering and **QoS** in eliminating the undesirable effects of mixing congestion-insensitive flows with congestion-sensitive flows. We use a **UDP** data flow to represent a congestion-insensitive traffic flow and **TCP** data flows to represent congestion-sensitive traffic flows. A comparative simulation analysis is provided for 1) Non-**MPLS** enabled network, 2) A network with two **LSPs**, one for a pure congestion-sensitive flow, and another combined one for congestion-insensitive and congestion-sensitive flow and 3) A network with three **LSPs**, one for each traffic flow, and traffic differentiation using **WFQ** on the link carrying both congestion-insensitive and congestion-sensitive flow, based on the throughput achieved by the congestion-insensitive and congestion-sensitive flows when they share the network resources.*

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO INICIAL DE LA INVESTIGACIÓN

En términos de redes, en estos momentos se busca principalmente la convergencia de los servicios de datos, voz y video en tiempo real sobre la *Internet*. La continua expansión de la capacidad de la red no es suficiente para asegurar la calidad de servicio necesaria para estas y otras aplicaciones. La política “*best effort*” (mejor esfuerzo) de la *Internet* actual no lo permite. Es imprescindible nuevas políticas. En los últimos años el *IETF (Internet Engineering Task Force)* ha propuesto dos modelos con este objetivo. El primero de ellos, el modelo *IntServ*, ha tenido problemas de escalabilidad al procurar brindar calidad de servicio con una granularidad muy fina, para cada flujo individual de datos. El segundo modelo, *DiffServ*, busca solucionar los problemas del *IntServ* agrupando los flujos en clases y ofreciendo calidad de servicio para cada clase. Este modelo continúa adoleciendo de problemas originados principalmente por los fenómenos conocidos de “sobre agregación” de tráfico en determinados recursos de la red debido a las características del ruteo IP. Como consecuencia, se torna imprescindible implementar entre otros, recursos de Ingeniería de Tráfico en las redes IP, si se pretende ofrecer calidad de servicio y optimizar el uso de los recursos.

En los últimos años el *IETF* ha propuesto también una nueva arquitectura conocida como *Multi Protocol Label Switching (MPLS)* que define una arquitectura que posibilita, entre otras facilidades, implementar Ingeniería de Tráfico en redes IP. Este trabajo de investigación se propone revisar las principales características

“ventajas e inconvenientes”, de la implementación de Ingeniería de Tráfico vía **MPLS**.

1.1 Identificación del problema

TE (*Traffic Engineering*) no es una característica específica del **MPLS**. **TE** simplemente tiene que ver con la manipulación del tráfico para ajustar los recursos de la red. Muchos de los beneficios del **MPLS** son normalmente asociados a sus recursos de **TE**, pero no es esta la única forma de implementación. **TE** puede ser implementado también manipulando las métricas **IP** en las *interfaces de los routers*, de hecho, esto no es muy adecuado para grandes redes. Aun cuando el modelo **IP** sobre **ATM** proporciona **TE** a través de canales virtuales privados, introduce problemas como: Mapeo entre 2 arquitecturas diferentes que requieren la definición y mantenimiento de topologías separadas, espacios para direcciones, protocolos de enrutamiento, protocolos de señalización y esquemas de distribución de recursos. **MPLS-TE** alivia muchos de estos problemas e intenta usar de la mejor forma las técnicas de **TE** orientadas a la conectividad junto con el enrutamiento **IP**. Los aspectos más relevantes del uso de la Ingeniería de Tráfico en las redes, son los siguientes:

- Minimización del problema de congestión.
- Mejora de la confiabilidad de las operaciones de red.
- Facilitación de recursos de **QoS (Calidad de Servicio)**.

1.2 Formulación del problema

La importancia de disponer recursos de Ingeniería de Tráfico puede visualizarse mejor de la siguiente forma: La minimización del problema de congestión contribuye a la mejor utilización de los recursos de la red. La mejora de la confiabilidad se da al introducir mecanismos de restauración y re-enrutamiento alternativos. Al disponer de rutas alternativas se generan más alternativas de rutas con diferentes parámetros de **QoS**.

Cuanto a la **QoS (Calidad de Servicio)**, **TE** es decisivo donde flujos de tráfico luchan entre ellos para conseguir alcanzar sus requisitos individuales.

1.3 Objetivos de la investigación

El principal objetivo de este trabajo, tiene que ver con los recursos inherentes de la Ingeniería de Tráfico. Se pretende estudiar profundamente sus características, aplicaciones y explicar la operación de las redes **IP** cuando disponen de **TE** y cuando no implementan **TE**. El otro objetivo adicional al anterior, es la divulgación de estos mecanismos entre los miembros de la comunidad académica e industrial para un mejor entendimiento del estado del arte de estos recursos y donde y cuando aplicarlos.

1.4 Justificación

La Ingeniería de Tráfico (TE) intenta optimizar la *performance* de las redes, a través de tres actividades integradas: Medición del tráfico, modelado de la red y selección de mecanismos para el control del tráfico. Desafortunadamente, no todos los Proveedores de Servicios de *Internet* (ISPs) disponen de sistemas de *software* y herramientas que soporten la medición del tráfico y el modelado de la red, pilares básicos de una Ingeniería de Tráfico efectiva. De manera similar, preguntas sencillas sobre la topología, tráfico y ruteo son sorprendentemente difíciles de contestar en las redes IP de hoy en día. Una gran cantidad de trabajo ha sido dedicada al desarrollo de mecanismos y protocolos para el control del tráfico. Como ejemplo de ello, la mayor parte del trabajo de la *Internet Engineering Task Force* (IETF) está relacionado al control del tráfico en lo que la Ingeniería de Tráfico concierne. Existen determinados factores que indican la necesidad de más y mejores herramientas de Ingeniería de Tráfico para las redes. Entre ellos se destacan la calidad del servicio, ajuste de los parámetros interdependientes, el crecimiento de las redes y la variabilidad del tráfico.

1.5 Limitaciones y facilidades

- Los obstáculos visualizados tienen que ver con la implementación de **MPLS** en sí. Considerando que la red *Internet* es inaccesible internamente, su implementación solo podrá darse en los extremos o en redes particulares.

- Las facilidades tienen que ver con la instalación del **MPLS** visto que intrínsecamente ya incluye recursos de **QoS (Calidad de Servicio)**. Mejorará más adicionando recursos de **TE**.

1.6 Hipótesis de partida

A comienzos de los años 90 los esquemas para adaptar de forma efectiva los flujos de tráfico a la topología física de las redes **IP** eran bastante rudimentarios, por lo que con los años y con el avance de la tecnología se implementó la Ingeniería de Tráfico, cuyo objetivo básico es adaptar los flujos de tráfico a los recursos físicos de la red. La idea es equilibrar de forma óptima la utilización de esos recursos, de manera de evitar que un subconjunto (enlaces, equipos, etc.) de la red se sature, mientras otro subconjunto de la misma red se encuentre subutilizado, mejorando de este modo el rendimiento de la red global.

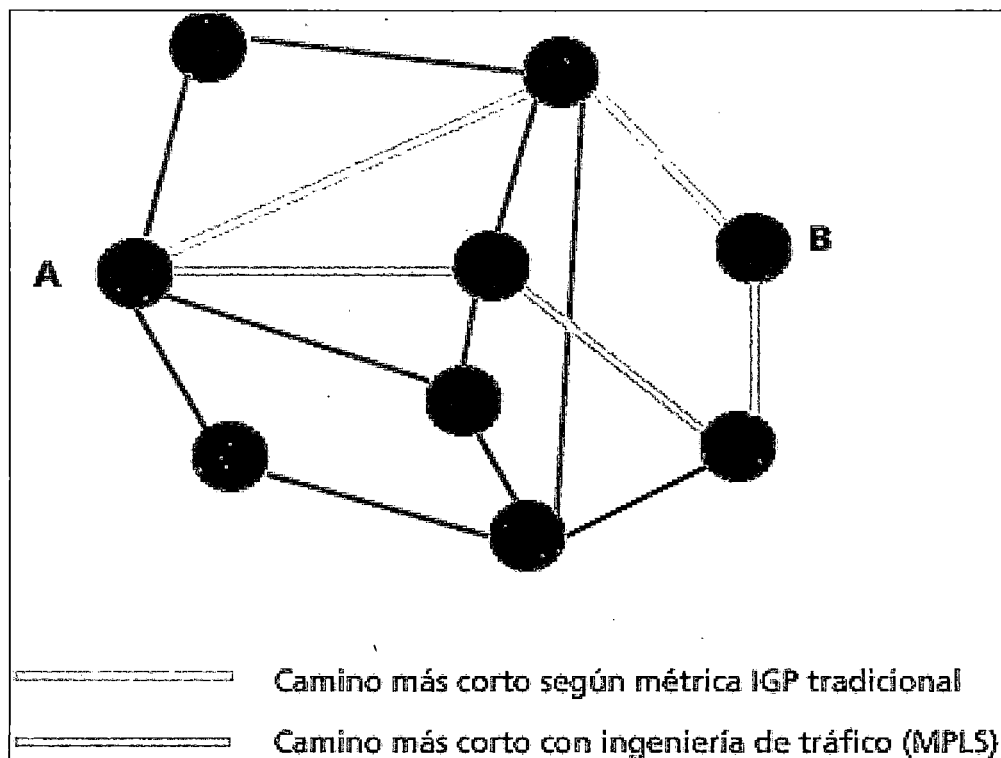
Como sabemos, los flujos de tráfico siguen el camino más corto calculado por el algoritmo IGP correspondiente (Internal Gateway Protocol = Protocolo de pasarela interna, que utiliza el algoritmo Dijkstra para calcular la ruta más corta posible) y en los casos de congestión de algunos enlaces, el problema se resolvía añadiendo más ancho de banda a los enlaces, lo que obviamente encarecía el flujo de tráfico en la red. Sin embargo al introducir la **Ingeniería de Tráfico MPLS** en la red, se logró trasladar determinados flujos seleccionados por el algoritmo IGP que fluían sobre enlaces más congestionados, a otros enlaces que estaban siendo subutilizados (descargados), aunque para ello se utilicen rutas menos cortas (ó con más saltos).

En el esquema de la Fig. 1.1 se comparan estos dos tipos de rutas para el mismo par de nodos origen-destino.

El camino más corto entre A y B según la métrica normal IGP es el que tiene sólo dos saltos, pero puede que el exceso de tráfico sobre esos enlaces o el esfuerzo de los *routers* correspondientes haga aconsejable la utilización del camino alternativo indicado con un salto más. **MPLS** es una herramienta efectiva para esta aplicación en grandes *backbones*, visto que:

- Permite al administrador de la red el establecimiento de rutas explícitas, especificando el camino físico exacto de un **LSP** (*Label Switching Path* – camino físico efectuado por el **MPLS**).
- Permite obtener estadísticas de uso **LSP**, que se pueden utilizar en la planificación de la red y como herramientas de análisis de cuellos de botella y carga de los enlaces, lo que resulta bastante útil para planes de expansión futura.

Fig. 1.1: Caminos entre A y B.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio

Desde hace algunos años los servicios brindados a través de redes de telecomunicaciones han ido creciendo y han surgido nuevas ofertas, cada una con sus respectivos requisitos. Las operadoras están en la búsqueda continua de la integración de todos los servicios a una misma red, de manera de poder abaratar costos, simplificar el mantenimiento, la operación, la gestión de las mismas, aprovechando las ventajas del multiplexado estadístico. Las técnicas mayoritariamente utilizadas para cursar el tráfico correspondiente a los distintos servicios por una red, son aquellas basadas en algoritmos de optimización del camino más corto. Si bien esto es óptimo desde el punto de vista del camino atravesado, no lo es desde el punto de vista del aprovechamiento de los recursos existentes ni de la calidad que percibe el tráfico cursado. Es denominador común de las redes dorsales la existencia de redundancia en sus caminos, ya que los requerimientos de disponibilidad que tienen las mismas así lo exigen. Es por esto que se asegura que si el tráfico sobre una red está siguiendo el camino más corto no estará haciendo uso de todos los recursos disponibles en la red para llegar a su destino.

2.2 Base epistémica

Fundamento Ontológico.- Sabemos que el universo *ontológico* es el universo del ser, el contacto con la realidad para iniciar y para terminar un ciclo de conocimiento.

En nuestro proyecto, el fundamento ontológico se basa en el punto de partida del estudio científico que realizamos respecto a la problemática existente del tráfico de la red y teniendo el punto de llegada cuando implementamos la Ingeniería de Tráfico MPLS que optimiza el flujo en la red.

Fundamento Metodológico.- El universo *metodológico* es el universo del hacer para conocer cierto objeto con cierta intención; en él se diseñan, desde la estrategia metodológica más general, hasta la técnica más particular.

En el caso de nuestro proyecto, hacemos que el comportamiento del tráfico sensible a congestión en la red sea llevado a varios escenarios vía una estrategia de simulación empleando el Opnet Modeller en su versión académica para luego realizar un análisis comparativo del comportamiento de los tráficos de flujos en la red.

Fundamento Epistemológico.- El universo *epistemológico* es el universo del conocer. En él se precisan las intenciones de esta actividad y a él pertenecen los resultados del hacerlo.

En el caso de nuestro proyecto, se conoce y se acepta que en Telecomunicaciones, el traslado de información a través de una red IP, presenta problemas en la transmisión de la información, tales como los tiempos en la variación de retraso (*jitter*), pérdida de paquetes (*Packet Loss*) lo que contribuye a tener una red con baja performance; pero con el desarrollo

de este proyecto (implementación de la Ingeniería de Tráfico) tenemos la intención de optimizar la performance de las redes, obteniendo como resultado una mejora en el rendimiento de la red y en el modo de utilización de los recursos.

El presente proyecto de tesis lleva en cuenta la denominada Epistemología aplicada a la Investigación Científica y tiene el propósito de formar a nivel epistemológico a los internautas, investigadores, docentes y estudiantes, de manera que adquieran en primer lugar, una cultura científica general y en segundo lugar, manejen criterios para seleccionar, procesar, analizar, interpretar y comprender toda la información disponible a la hora de elaborar un informe o un trabajo de investigación para ser presentado ante un público especializado, ante jurados de tesis, o ante expertos, nacionales o internacionales en determinada disciplina.

2.2 Definición de términos

Analizador de Redes de Caminos Virtuales, *software* que analiza el problema de brindar garantías de **Calidad de Servicio (QoS)** así como realizar Ingeniería de Tráfico sobre redes de datos.

Autonomous System, áreas que en su conjunto modelan a una red y dentro de las cuales las rutas son determinadas por el ruteo intradominio.

Abstract Syntax Notation 1, lenguaje de definición de objetos estándar usado por **SNMP**.

Border Gateway Protocol, protocolo de ruteo interdominio.

Constraint Based Routing, ruteo que intenta encontrar un camino que optimice cierta métrica escalar y al mismo tiempo no viole un conjunto de restricciones.

OSI Connectionless Network Service, protocolo bajo el cual opera **SNMP v1**.

Constraint Route LDP, protocolo de distribución de etiquetas del tipo enrutamiento explícito que ofrece características de Ingeniería de Tráfico.

Constraint Shortest Path First, algoritmo para la computación de caminos que toma en cuenta al mismo tiempo un conjunto de restricciones.

AppleTalk Datagram-Delivery Protocol, protocolo bajo el cual opera **SNMP v1**.

Data Link Connection Identifier, ejemplo de etiqueta o encabezado que pueden utilizarse como etiqueta de **MPLS**.

Forwarding Equivalence Class, representación de un conjunto de paquetes que comparten los mismos requerimientos para su transporte en **MPLS**.

Internet Engineering Task Force, grupo de trabajo dedicado en su mayoría al control del tráfico en lo que a la Ingeniería de Tráfico se refiere.

Novell Internet Packet Exchange, protocolo bajo el cual opera **SNMP v1**.

Intermediate System to Intermediate System, protocolo de ruteo intradominio.

Internet Service Provider, proveedor de acceso a *Internet*.

Label Distribution Protocol, protocolo responsable de que el **LSP** sea establecido para que sea funcional mediante el intercambio de etiquetas entre los nodos de la red.

Label Edge Router, router encargado de la distribución de etiquetas.

Label Information Base, tabla de conectividad contra la cual es examinada y comparada la etiqueta **MPLS** al llegar del **LER** al **LSR**, determinando la acción a seguir.

Label Switched Paths, ruta que sigue un paquete entre dos nodos de la red **MPLS**.

Label Switch Router, router encargado de dirigir el tráfico dentro de la red **MPLS**.

Management Information Base, colección de información organizada jerárquicamente donde los objetos son accedidos usando **SNMP** y la cual reside en el elemento de red.

Minumum Interference Routing Algorithm, algoritmo de ruteo de caminos que intenta minimizar la “interferencia” que provoca el establecimiento de un nuevo camino a potenciales nuevos caminos que son desconocidos.

Max-Min Fairness, principio de asignación usado para formular el esquema de asignación de recursos en donde se intenta asignar la mayor cantidad de recursos a cada demanda, al mismo tiempo que se intenta mantenerlos lo más similares posible.

Maximum Network Flow, máximo ancho de banda que puede traficar la red entre determinado par de nodos ya sea por un único camino o varios.

Multi Protocol Label Switching (MPLS) tecnología de ruteo y reenvío de paquetes en redes IP que se basa en la asignación e intercambio de etiquetas, que permiten el establecimiento de caminos a través de la red.

Networking Traffic Engineering, nombre del *software* diseñado en este proyecto que hace alusión a la Ingeniería de Tráfico en redes; tema principal de éste trabajo.

Network Management System, estación administradora o, lo que es similar, elemento de red que contiene un agente **SNMP** y pertenece a la red administrada.

Quality of Service, distintos niveles de servicio que son ofrecidos al cliente en términos del ancho de banda o algún otro parámetro.

Reservation Protocol with Traffic Engineering, protocolo de enrutamiento explícito. En éste caso en particular, es una extensión de la versión original **RSVP** que incorpora el respaldo para **MPLS**.

Shortest Distance Path, ruteo basado en preservar los recursos de la red por medio de la selección de los caminos más cortos.

Service Level Agreement, acuerdo sobre el nivel de servicio con el cliente donde se especifican parámetros como *performance*, confiabilidad y seguridad.

Structure of Management Information, partes del **ASN.1** que usan **SNMP**. Es lo que en realidad describe la estructura de datos del **SNMP**.

Simple Network Management Protocol, protocolo de la capa de aplicación que facilita el intercambio de información de gestión entre elementos de la red y es parte del *stack* de protocolos **TCP/IP**.

Shortest Widest Path, ruteo que se basa en la búsqueda del camino con el ancho de banda más grande y, en caso de haber múltiples caminos, se queda con el que tiene la mínima cantidad de saltos.

Traffic Engineering, disciplina que procura la optimización de la *performance* de las redes operativas.

Traffic Engineering Especialized Data Base, base de datos contenida en cada *router*, la cual mantiene atributos de los enlaces de la red e información de la topología.

User Datagram Protocol, protocolo de transporte que provee servicios de datagramas por encima de **IP**.

Virtual Circuit Identifier used in ATM, etiqueta o encabezado que puede utilizarse como etiqueta de **MPLS** en redes **ATM**.

Widest Shortest Path, ruteo que se basa en la búsqueda de caminos con el mínimo número de saltos y, si encuentra múltiples caminos, se queda con el que tiene ancho de banda mayor.

2.3 Abreviaturas Utilizadas

ARCA: *Analizador de Redes de Caminos Virtuales.*

AS: *Autonomous System.*

ASN1: *Abstract Syntax Notation 1.*

BGP: *Border Gateway Protocol.*

CBR: *Constraint Based Routing.*

CLNS: *OSI Connectionless Network Service.*

CR-LDP: *Constraint Route LDP.*

CSPF: *Constraint Shortest Path First.*

DDP: *AppleTalk Datagram-Delivery Protocol.*

DLCI: *Data Link Connection Identifier.*

FEC: *Forwarding Equivalence Class.*

IETF: *Internet Engineering Task Force.*

IGP : *Internal Gateway Protocol*

IPX: *Novell Internet Packet Exchange.*

IS-IS: *Intermediate System to Intermediate System.*

ISP: *Internet Service Provider.*

LDP: *Label Distribution Protocol.*

LER: *Label Edge Router.*

LIB: *Label Information Base.*

LSP: *Label Switched Paths.*

LSR: *Lable Switch Router.*

MIB: *Management Information Base.*

MIRA: *Minumum Interference Routing Algorithm.*

MMF: *Max-Min Fairness.*

MNF: *Maximum Network Flow.*

MPLS: *Multi Protocol Label Switching.*

NET-TE: *Networking Traffic Engineering.*

NMS: *Network Management System.*

QoS: *Quality of Service.*

RSVP-TE: *Reservation Protocol with Traffic Engineering.*

SDP: *Shortest Distance Path.*

SLA: *Service Level Agreement.*

SMI: *Structure of Management Information.*

SNMP: *Simple Network Management Protocol.*

SWP: *Shortest Widest Path.*

TCP: *Transmission Control Protocol*

TE: *Traffic Engineering.*

TED: *Traffic Engineering Especialized Data Base.*

UDP: *User Datagram Protocol.*

VPI/VCI: *Virtual Circuit Identifier used in ATM.*

WFQ: *Weighted Fair Queueing*

WSP: *Widest Shortest Path.*

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Relación entre las variables de la investigación

- X = métricas de **QoS** (IPDT = métrica de retraso, IPDV = métrica de la variación de retraso (*jitter*), IPLR = métrica pérdida de paquetes).
- Y = Recursos de TE.

$$X = f(Y) \implies \text{QoS} = f(\text{IPDT}, \text{IPDV}, \text{IPLR})$$

3.2 Tipos de investigación

Descriptiva (recursos de TE que son parte del **MPLS**).

3.3 Diseño de la investigación

Documental.

3.3.1 MPLS y la Ingeniería de Tráfico

El enorme crecimiento de la red *Internet* ha convertido al protocolo **IP** (*Internet Protocol*) en la base de las actuales redes de telecomunicaciones, siendo responsable por más del 80% del tráfico cursado. La versión actual de **IP**, conocida como **IPv4** y detallada en la **RFC 791**, está operativa desde 1980. Este

protocolo de capa de red (nivel 3 **OSI**), define los mecanismos de la distribución o encaminamiento de paquetes en redes heterogéneas, de una manera no fiable y sin ser orientada a conexión, por lo que, para garantizar la entrega de los paquetes suele utilizarse junto con **TCP** (*Transmission Control Protocol*) (nivel 4 de **OSI**).

A mediados de la década de los 90, la demanda de aplicaciones multimedia con grandes anchos de banda y calidad de servicio o **QoS** (*Quality of Service*) garantizada, propiciaron la introducción de **ATM** (*Asynchronous Transfer Mode*) en la capa de enlace (nivel 2 de **OSI**) de las redes. En esos momentos, el modelo de **IP** sobre **ATM** satisfacía los requisitos de las nuevas aplicaciones, utilizando el encaminamiento inteligente de nivel 3 de los *routers IP* en la red de acceso, e incrementando el ancho de banda y rendimiento basándose en la alta velocidad de los conmutadores de nivel 2 y los circuitos permanentes virtuales de los *switches ATM* en la red troncal. Esta arquitectura, no obstante, presenta ciertas limitaciones, debido a: La dificultad de operar e integrar una red basándose en dos tecnologías muy distintas, la aparición de *switches ATM* e **IP** de alto rendimiento en las redes troncales, y la mayor capacidad de transmisión ofrecida por **SDH/SONET** (*Synchronous Digital Hierarchy/Synchronous Optical Network*) y **DWDM** (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) respecto a **ATM**.

Durante 1996, empezaron a aparecer soluciones de conmutación de nivel 2 propietarias diseñadas para el núcleo de *Internet* que integraban la conmutación **ATM** con el encaminamiento **IP**; como por ejemplo, *Tag Switching* de Cisco o *Aggregate Route-Based IP Switching* de IBM. La base común de todas estas tecnologías, era tomar el *software* de control de un *router IP*, integrarlo con el

rendimiento de reenvío con cambio de etiqueta de un *switch* **ATM** y crear un *router* extremadamente rápido y eficiente en cuanto a coste. La integración en esta arquitectura era mayor, porque se utilizaban protocolos **IP** propietarios para distribuir y asignar los identificadores de conexión de **ATM** como etiquetas; pero los protocolos no eran compatibles entre sí y requerían aún de infraestructura **ATM**.

Finalmente en 1997, el **IETF** establece el grupo de trabajo **MPLS** para producir un estándar que unificase las soluciones propietarias de conmutación de nivel 2. El resultado fue la definición en 1998 del estándar conocido por **MPLS**, recogido en la **RFC 3031**. **MPLS** proporciona los beneficios de la Ingeniería de Tráfico del modelo de **IP** sobre **ATM**, pero además, otras ventajas; como una operación y diseño de red más sencillo y una mayor escalabilidad. Por otro lado, a diferencia de las soluciones de conmutación de nivel 2 propietarias, está diseñado para operar sobre cualquier tecnología en el nivel de enlace, no únicamente **ATM**, facilitando así la migración a las redes ópticas de próxima generación, basadas en infraestructuras **SDH/SONET** y **DWDM**.

- **Conceptos de MPLS**

MPLS trata de proporcionar algunas de las características de las redes orientadas a conexión a las redes no orientadas a conexión. En el encaminamiento **IP** sin conexión tradicional, la dirección de destino junto a otros parámetros de la cabecera, es examinada cada vez que el paquete atraviesa un *router*. La ruta del paquete se adapta en función del estado de las tablas de encaminamiento de cada nodo, pero, como la ruta no puede predecirse, no es tan

fácil reservar recursos que garanticen la **QoS**; además, las búsquedas en tablas de encaminamiento hacen que cada nodo pierda cierto tiempo, el cual se incrementa en función de la longitud de la tabla.

Sin embargo, **MPLS** permite a cada nodo, ya sea un *switch* o un *router*, asignar una etiqueta a cada uno de los elementos de la tabla y comunicarla a sus nodos vecinos. Esta etiqueta es de un valor corto y de tamaño fijo transportado en la cabecera del paquete y sirve para identificar una **FEC** (*Forward Equivalence Class*), que es un conjunto de paquetes que son reenviados sobre el mismo camino a través de la red, incluso si sus destinos finales son diferentes. La etiqueta es un identificador de conexión que sólo tiene significado local y que establece una correspondencia entre el tráfico y una **FEC** específica. Dicha etiqueta se asigna al paquete basándose en su dirección de destino, los parámetros de tipo de servicio, la pertenencia a una **VPN**, o según otro criterio. Cuando **MPLS** está implementado como una solución **IP** pura o de nivel 3, que es la más habitual, la etiqueta es un segmento de información añadido al comienzo del paquete. Los campos de la cabecera **MPLS** (de 4 *bytes*), son los siguientes:

- **Label** (20 *bits*). Es el valor actual, con sentido únicamente local, de la etiqueta **MPLS**. Esta etiqueta es la que determinará el próximo salto del paquete.
- **CoS** (3 *bits*). Este campo afecta a los algoritmos de descarte de paquetes y de mantenimiento de colas en los nodos intermedios, es decir, indica la **QoS** del paquete. Mediante este campo es posible diferenciar distintos tipos de tráficos y mejorar el rendimiento de un tipo de tráfico respecto a otros.

- **Stack (1 bit).** Mediante este *bit* se soporta una pila de etiquetas jerárquicas, es decir, indica si existen más etiquetas **MPLS**. Las cabeceras **MPLS** se comportan como si estuvieran apiladas una sobre otra, de modo que el nodo **MPLS** tratará siempre la que esté más alto en la pila. La posibilidad de encapsular una cabecera **MPLS** en otras, tiene sentido, por ejemplo, cuando se tiene una red **MPLS** que tiene que atravesar otra red **MPLS** perteneciente a un **ISP** u organismo administrativo externo distinto; de modo que al terminar de atravesar esa red, se continúe trabajando con **MPLS** como si no existiera dicha red externa.

- **Elementos de una red MPLS**

En **MPLS** un concepto muy importante es el de **LSP** (*Label Switch Path*), que es un camino de tráfico específico a través de la red **MPLS**, el cual se crea utilizando los **LDPs** (*Label Distribution Protocols*), tales como **RSVP-TE** (*Reservation Protocol – Traffic Engineering*) o **CR-LDP** (*Constraint-based Routing – Label Distribution Protocol*); siendo el primero el más común.

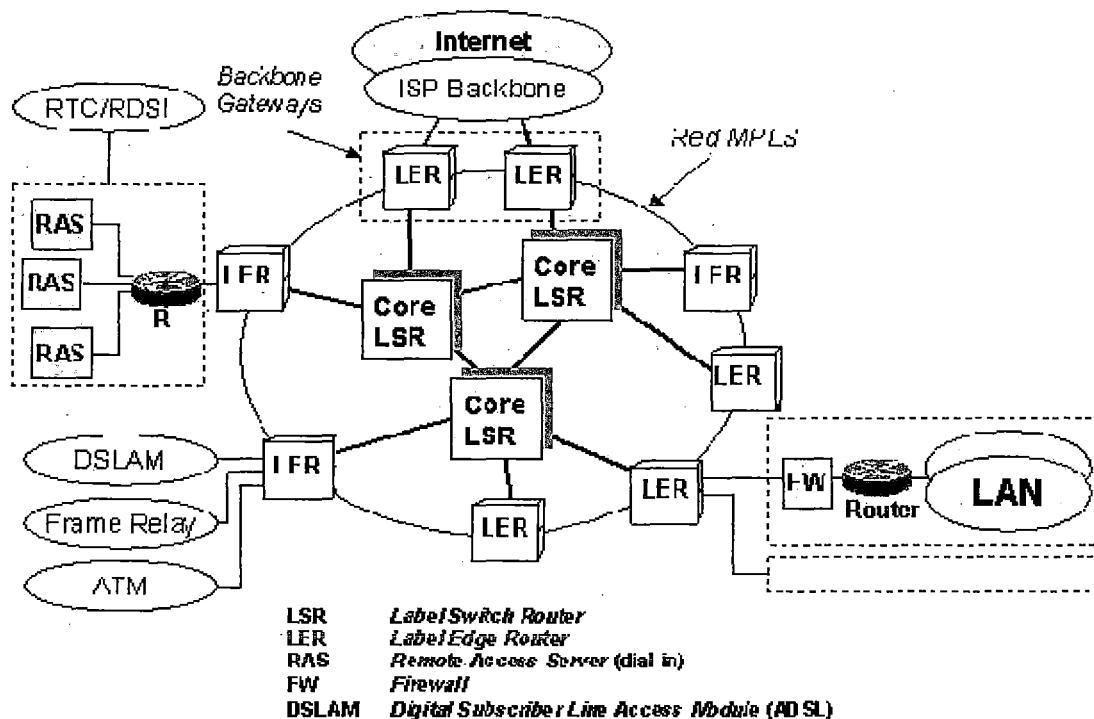
El **LDP** posibilita a los nodos **MPLS** descubrirse y establecer comunicación entre sí con el propósito de informarse del valor y significado de las etiquetas que serán utilizadas en sus enlaces contiguos. Es decir, mediante el **LDP** se establecerá un camino a través de la red **MPLS** y se reservarán los recursos físicos necesarios para satisfacer los requerimientos del servicio previamente definidos para el camino de datos.

Una red **MPLS** está compuesta por dos tipos principales de nodos, los **LER** (*Label Edge Routers*) y los **LSR** (*Label Switching Routers*), tal y como se muestra en el ejemplo de la Fig. 3.1. Los dos son físicamente el mismo dispositivo, un *router* o *switch* de red troncal que incorpora el *software MPLS*; siendo su administrador, el que lo configura para uno u otro modo de trabajo. Los nodos **MPLS** al igual que los *routers IP* normales, intercambian información sobre la topología de la red mediante los protocolos de encaminamiento estándar, tales como **OSPF** (*Open Shortest Path First*), **RIP** (*Routing Information Protocol*) y **BGP** (*Border Gateway Protocol*), a partir de los cuales construyen tablas de encaminamiento basándose principalmente en el alcance a las redes **IP** destinatarias. Teniendo en cuenta dichas tablas de encaminamiento, que indican la dirección **IP** del siguiente nodo al que le será enviado el paquete para que pueda alcanzar su destino final, se establecerán las etiquetas **MPLS** y, por lo tanto, los **LSP** que seguirán los paquetes. No obstante, también pueden establecerse **LSP** que no se correspondan con el camino mínimo calculado por el protocolo de encaminamiento.

Los **LERs** están ubicados en el borde de la red **MPLS** para desempeñar las funciones tradicionales de encaminamiento y proporcionar conectividad a sus usuarios, generalmente *routers IP* convencionales. El **LER** analiza y clasifica el paquete **IP** entrante considerando hasta el nivel 3, es decir, considerando la dirección **IP** de destino y la **QoS** demandada; añadiendo la etiqueta **MPLS** que identifica en qué **LSP** irá el paquete. Es decir, el **LER** en vez de decidir el siguiente salto, como haría un *router IP* normal, decide el camino entero a lo largo de la red que el paquete debe seguir. Una vez asignada la cabecera **MPLS**, el **LER** enviará el paquete a un **LSR**. Los **LSR** están ubicados en el núcleo de la red

MPLS para efectuar encaminamiento de alto rendimiento basado en la conmutación por etiqueta, considerando únicamente hasta el nivel 2. Cuando le llega un paquete a una interfaz del **LSR**, éste lee el valor de la etiqueta de entrada de la cabecera **MPLS**, busca en la tabla de conmutación la etiqueta e interfaz de salida, y reenvía el paquete por el camino predefinido escribiendo la nueva cabecera **MPLS**. Si un **LSR** detecta que debe enviar un paquete a un **LER**, extrae la cabecera **MPLS**; como el último **LER** no conmuta el paquete, reduciendo así cabeceras innecesarias.

Fig. 3.1: Ejemplo de una red MPLS



- **Implementaciones de MPLS**

Una vez visto los conceptos de **MPLS**, veremos los distintos tipos de implementaciones en la práctica: **MPLS** como una solución **IP** sobre *Ethernet*, **IP** sobre **ATM**, e **IP** sobre *Frame Relay*. No se incluye aquí la aplicación de **MPLS** a las redes ópticas de próxima generación, conocida como **GMPLS** (*Generalized MPLS*), por encontrarse aún en proceso de estudio y estandarización por parte del IETF. **GMPLS** es una extensión natural de **MPLS** para ampliar el uso de **MPLS** como un mecanismo de control y provisión, no únicamente de caminos en dispositivos basados en paquetes, sino también de caminos en dispositivos no basados en paquetes; como los conmutadores ópticos de señales multiplexadas por división en longitud de onda, los conmutadores de fibras ópticas, y los conmutadores de señales digitales multiplexadas por división en el tiempo. Es decir, **GMPLS** busca una integración total en la parte de control de las redes de conmutación de paquetes **IP** y las redes ópticas **SONET/SDH** y **DWDM**; dando lugar a las redes ópticas inteligentes de próxima generación, cuya evolución final será la integración de **IP** directamente sobre **DWDM** utilizando algún mecanismo de encapsulamiento como los "*digital wrappers*".

La implementación de **MPLS** como una solución **IP** sobre *Ethernet*, *Fast Ethernet* o *Gigabit Ethernet*, es la conocida como **IP** pura. Puesto que **IPv4** es un protocolo diseñado mucho antes que **MPLS**, en este caso, la etiqueta **MPLS** está ubicada después de la cabecera de nivel 2 y antes de la cabecera **IP**. Los **LSR** saben cómo conmutar utilizando la etiqueta **MPLS** en vez de utilizar la cabecera **IP**. El funcionamiento de **IPv4** ha sido totalmente satisfactorio, no obstante, el sorprendente crecimiento de *Internet* evidenció importantes carencias, como: La

escasez de direcciones **IP**, la imposibilidad de transmitir aplicaciones en tiempo real y los escasos mecanismos de seguridad. Estas limitaciones propiciaron el desarrollo de la siguiente generación del protocolo *Internet* o **IPv6**, definido en la **RFC 1883**. La versión **IPv6** puede ser instalada como una actualización del *software* en los dispositivos de red de *Internet* e interoperar con la versión actual **IPv4**, produciéndose esta migración progresivamente durante los próximos años. En este caso, la etiqueta **MPLS** forma parte de la propia cabecera **IPv6**, estando su uso descrito en la **RFC 1809**.

La implementación de **MPLS** como una solución **IP** sobre **ATM** también está muy extendida. Primeramente indicar, que **MPLS** no fue desarrollado para reemplazar **ATM**, sino para complementarlo. De hecho, la aparición de *switches* **ATM** e **IP** con soporte de **MPLS**, ha integrado las ventajas de los *routers* **IP** y los *switches* **ATM** y ha supuesto una mejora de la relación precio/rendimiento de estos dispositivos. La diferencia principal entre **MPLS** y otras soluciones de **IP** sobre **ATM**, es que las conexiones **MPLS** se establecen utilizando **LDP**, y no por los protocolos de señalización **ATM** tradicionales, tales como **PNNI** (*Private Network to Network Interface*). Por otro lado, **MPLS** elimina la complejidad de hacer corresponder el direccionamiento **IP** y la información de encaminamiento directamente en las tablas de conmutación de **ATM**, puesto que **LDP** entiende y utiliza direcciones **IP** y los protocolos de encaminamiento utilizados en las redes **MPLS** son los mismos que los utilizados en las redes **IP**. En este caso, descrito en la **RFC 3035**, la etiqueta es el valor del **VPI/VCI** (*Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier*) de la cabecera de la celda **ATM**.

Finalmente, **MPLS** también se ha desarrollado como una solución **IP** sobre *Frame Relay*. En este caso, descrito en la **RFC 3034**, la etiqueta es el **DLCI** (*Data Link Control Identifier*) de la cabecera *Frame Relay*.

- **Beneficios del MPLS**

La migración a **IP** está provocando profundos cambios en el sector de las telecomunicaciones y configura uno de los retos más importantes para los **ISP**, inmersos actualmente en un proceso de transformación de sus infraestructuras de cara a incorporar los beneficios de esta tecnología. **MPLS** nació con el fin de incorporar la velocidad de conmutación del nivel 2 al nivel 3; a través de la conmutación por etiqueta; pero actualmente esta ventaja no es percibida como el principal beneficio, ya que los *gigarouters* son capaces de realizar búsquedas de rutas en las tablas **IP** a suficiente velocidad como para soportar todo tipo de *interfaces*. Los beneficios que **MPLS** proporciona a las redes **IP** son: Realizar Ingeniería del Tráfico o **TE** (*Traffic Engineering*), cursar tráfico con diferentes calidades de clases de servicio o **CoS** (*Class of Service*) o grados de calidad de servicio o **QoS** (*Quality of Service*), y crear redes privadas virtuales o **VPN** (*Virtual Private Networks*) basadas en **IP**.

La **TE** permite a los **ISP** mover parte del tráfico de datos, desde el camino más corto calculado por los protocolos de encaminamiento, a otros caminos físicos menos congestionados o menos susceptibles a sufrir fallas. Es decir, se refiere al proceso de seleccionar los caminos que seguirá el flujo de datos con el fin de balancear la carga de tráfico entre todos los enlaces, *routers* y *switches* en la red; de modo que ninguno de estos recursos se encuentre infrutilizado o

sobrecargado. La **TE**, descrita en la **RFC 2702**, se ha convertido en la principal aplicación de **MPLS** debido al crecimiento impredecible en la demanda de recursos de red.

Mediante **MPLS**, los **ISP** pueden soportar servicios diferenciados o **DiffServ**, como viene recogido en la **RFC 3270**. El modelo **DiffServ** define varios mecanismos para clasificar el tráfico en un pequeño número de **CoS**. Los usuarios de *Internet* demandan continuamente nuevas aplicaciones, teniendo los servicios actualmente soportados varios requerimientos de ancho de banda y de tolerancia a retrasos en la transmisión muy distintos y para satisfacer estas necesidades óptimamente, los **ISP** necesitan adoptar no sólo técnicas de Ingeniería de Tráfico, sino también de clasificación de dicho tráfico. De nuevo, **MPLS** ofrece a los **ISP** una gran flexibilidad en cuanto a los diferentes tipos de servicios que puede proporcionar a sus clientes.

Finalmente, **MPLS** ofrece también un mecanismo sencillo y flexible para crear **VPN**. Una **VPN** simula la operación de una **WAN** (*Wide Area Network*) privada sobre la *Internet* pública. Para ofrecer un servicio de **VPN** viable a sus clientes, un **ISP** debe resolver los problemas de seguridad de los datos y soportar el uso de direcciones **IP** privadas no únicas dentro de la **VPN**. Puesto que **MPLS** permite la creación de circuitos virtuales o túneles a lo largo de una red **IP**, es lógico que los **ISP** utilicen **MPLS** como una forma de aislar el tráfico. No obstante, **MPLS** no tiene en estos momentos ningún mecanismo para proteger la seguridad en las comunicaciones, por lo que el **ISP** deberá conseguirla mediante cortafuegos y algún protocolo de encriptación tipo **IPsec**. Existen varias

alternativas para implementar **VPNs** mediante **MPLS**, pero la mayoría se basan en la **RFC 2547** (request for comment).

- **Foro MPLS**

El foro **MPLS** es una organización internacional constituida a inicios del año 2000, con el objetivo de acelerar la adopción y desarrollo de **MPLS** y sus tecnologías asociadas. Este foro sirve como un punto de encuentro y discusión para los proveedores de servicios, fabricantes de equipos, vendedores de componentes y compañías de integración y verificación de soluciones, con el fin de establecer las necesidades de la industria **MPLS**. Esto incluye la creación de servicios empresariales sobre redes **MPLS** y el desarrollo de productos que incorporen tecnologías **MPLS**. El foro consigue estos objetivos a través de iniciativas de interoperabilidad, acuerdos de desarrollo y cooperación, y programas educativos.

Este organismo está abierto a cualquier organización, persona, o agencia gubernamental dedicada al progreso de *Internet* y de las redes **IP** en general, a través de la pronta adopción de la tecnología **MPLS**. Los miembros fundadores fueron: *Data Connection Ltd.*, *Integral Access*, *Lucent Technologies*, *Marconi*, *NetPlane*, *Qwest*, *Telcordia Technologies*, *Tenor Networks* y *Vivace Networks*; y en la actualidad, se han integrado empresas como: *Alcatel*, *Ericsson*, *Equant*, *Huawei America Inc.*, *Intel*, **NEC**, *Siemens AG*, etc.

El papel del foro **MPLS** es totalmente complementario al de otros organismos de estandarización existentes previamente, tales como el **IETF**

(*Internet Engineering Task Force*), el **ITU** (*International Telecommunications Union*), u otros foros de la industria como el foro **ATM**. Únicamente tiene la intención de desarrollar acuerdos de implementación en aquellas áreas de **MPLS** donde no desempeñan actividad otros organismos de estandarización y después, trabajar con total colaboración con ellos.

La mayor parte de los *routers* y *switches* actuales destinados a redes troncales están preparados para utilizar **MPLS**, y muchos de los antiguos podrían soportarlo actualizando su *software*. No obstante, aunque varios **ISP** han realizado experiencias pilotos o han implantado **MPLS** en la parte troncal de sus redes, no se espera una introducción masiva hasta el final de la década de 2000, cuando los fabricantes alcancen una compatibilidad total en sus equipos. Del mismo modo que ocurrió con la actualización de las infraestructuras *X.25* y *Frame Relay* a **ATM**, la migración a **MPLS** como núcleo de las redes multiservicio con soporte de voz, video y datos, se realizará de forma gradual durante varios años; máxime dada la crisis mundial del sector de las telecomunicaciones, que está repercutiendo muy activamente en las inversiones de las operadoras de red y fabricantes de equipos.

3.3.2 La Ingeniería de Tráfico (TE)

- **Introducción**

La Ingeniería de Tráfico (**TE**) es una disciplina que procura la optimización de *performance* de las redes operativas. Abarca la aplicación de la tecnología y los principios científicos a la medición, caracterización, modelado, y control del

tráfico que circula por la red. Las mejoras del rendimiento de una red operacional, en cuanto a tráfico y modo de utilización de recursos, son sus principales objetivos. Esto se consigue enfocándose a los requerimientos del rendimiento orientado al tráfico, mientras se utilizan los recursos de la red de una manera fiable y económica. Una ventaja práctica de la aplicación sistemática de los conceptos de Ingeniería de Tráfico a las redes operacionales es que ayuda a identificar y estructurar las metas y prioridades en términos de mejora de la calidad de servicio ofrecida a los usuarios finales de los servicios de la red. También la aplicación de los conceptos de Ingeniería de Tráfico ayuda en la medición y análisis del cumplimiento de éstas metas. La Ingeniería de Tráfico se subdivide en dos ramas principalmente diferenciadas por sus objetivos:

- **Orientada a tráfico:** Ésta rama tiene como prioridad la mejora de los indicadores relativos al transporte de datos, como por ejemplo: Minimizar la pérdida de paquetes, minimizar el retardo, maximizar el *throughput*, ofrecer distintos niveles de calidad de servicio, etc.
- **Orientada a recursos:** Ésta rama se plantea como objetivo, la optimización de la utilización de los recursos de la red, de manera que, no se saturen partes de la red mientras otras permanecen subutilizadas, tomando principalmente el ancho de banda como recurso a optimizar. Ambas ramas convergen en un objetivo global, que es minimizar la congestión. Un reto fundamental en la operación de una red, especialmente en redes IP públicas a gran escala, es incrementar la eficiencia de la utilización del recurso mientras se minimiza la posibilidad de congestión. Los paquetes luchan por el uso de los recursos de la red

cuando se transportan a través de la red. Un recurso de red se considera que está congestionado si la velocidad de entrada de paquetes excede la capacidad de salida del recurso en un intervalo de tiempo definido. La congestión puede hacer que algunos de los paquetes de entrada sean retardados e incluso descartados. La congestión aumenta los retardos de tránsito, las variaciones del retardo, la pérdida de paquetes, y reduce la oferta de los servicios de red. Claramente, la congestión es un fenómeno nada deseable y es causada por ejemplo por la insuficiencia de recursos en la red. En casos de congestión de algunos enlaces, el problema se resolvía a base de añadir más capacidad a los enlaces. La otra causa de congestión es la utilización ineficiente de los recursos debido al mapeado del tráfico. El objetivo básico de la Ingeniería de Tráfico es adaptar los flujos de tráfico a los recursos físicos de la red equilibrando de forma óptima la utilización de esos recursos, de forma a evitar que haya algunos que estén sobre-utilizados, creando cuellos de botella, mientras otros puedan estar subutilizados. En general, los flujos de tráfico siguen el camino más corto calculado por el algoritmo **IGP** correspondiente. La Ingeniería de Tráfico consiste en trasladar determinados flujos seleccionados por el algoritmo **IGP** sobre enlaces más congestionados, a otros enlaces más descargados, aunque estén fuera de la ruta más corta (con menos saltos). En resumen la Ingeniería de Tráfico proporciona, capacidad para realizar lo siguiente:

- Mapear caminos primarios alrededor de conocidos cuellos de botella o puntos de congestionamiento en la red.

- Lograr un uso más eficiente del ancho de banda agregado disponible, asegurando que subgrupos de la red no se vuelvan sobre-utilizados, mientras otros subgrupos de la red no son utilizados a lo largo de caminos potenciales alternativos.
- Maximizar la eficiencia operacional.
- Mejorar las características de la *performance* del tráfico orientado de la red, minimizando la pérdida de paquetes, minimizando períodos prolongados de congestión y maximizando el *throughput*.
- Mejorar los valores límites de los parámetros de *performance* de la red (como tasa de pérdidas, variación del *delay* y *delay* fin-a-fin).
- Proveer de un control preciso sobre cómo el tráfico es re-enrutado cuando el camino primario se enfrenta con una sola o múltiples fallas.

- **Componentes de la Ingeniería de Tráfico**

Hay cuatro componentes que se pueden destacar dentro de la Ingeniería de Tráfico: La componente del *packet forwarding*, la componente de distribución de información, la componente de selección de camino y la componente de señalización.

Dentro de la primera componente, de *packet forwarding*, tenemos al **MPLS**, responsable de dirigir un flujo de paquetes **IP** a lo largo de un camino predeterminado a través de la red por medio del intercambio de etiquetas.

Esa es una de las principales diferencias entre **MPLS** e **IP**, ya que en **IP**, en vez de seguir los paquetes un camino ya preestablecido, lo hacen salto a salto.

Antes de continuar con la segunda componente veamos una breve descripción del funcionamiento del **MPLS**.

La clave detrás del **MPLS** es el mecanismo de asignación e intercambio de etiquetas en que se basa. Esas etiquetas son las que permiten que se establezcan las rutas que siguen los paquetes entre dos nodos de la red. Esa ruta a seguir se la conoce como ruta conmutada de etiquetas (**Label Switching Path = LSP**). Se crea concatenando uno o más saltos (*hops*) en los que se produce el intercambio de etiquetas, de modo que cada paquete se envía de un “conmutador de etiquetas” (**Label Switching Router = LSR**) a otro, a través de la red **MPLS**. Los *routers* en este tipo de redes pueden ser de dos tipos, *routers* de frontera de etiquetas (**Label Edge Router = LER**) y *routers* de conmutación de etiquetas (**LSR**). Los **LER** operan en los extremos de la red **MPLS** y se encarga de interconectar a ésta con la red de acceso. Al llegar un paquete a un **LER**, éste examina la información entrante y chequeando una base de datos, le asigna una etiqueta. A la salida de la red **MPLS**, estos mismos dispositivos se encargan de remover la etiqueta para entregar así el paquete tal como fue recibido. Los paquetes, una vez etiquetados por el **LER**, viajan por la red **MPLS** a través de los *routers* de conmutación de etiquetas (**LSR**). Estos se encargan básicamente de dirigir el tráfico en el interior de la red, según sea la etiqueta que contenga el paquete. Al llegar un paquete a un **LSR**, éste examina su etiqueta y usándola como índice en una tabla, determina el siguiente “salto” y una nueva etiqueta para el paquete. Cambia una por otra y lo envía hacia el siguiente *router*, formando así el **LSP**. Un conjunto de paquetes que comparten los mismos requerimientos para su transporte, pertenecen a la misma **FEC** (*Forwarding Equivalence Class*). Las **FEC** son una manera de distinguir un tipo de tráfico de otro. Todos los paquetes

que pertenezcan a la misma **FEC** seguirán el mismo **LSP** para llegar a su destino. A diferencia del enrutamiento **IP** convencional, la asignación de un paquete a determinado **FEC** se hace sólo una vez. Otra diferencia con **IP**, es que las etiquetas en **MPLS** no contienen una dirección **IP**, sino un valor numérico acordado entre dos nodos consecutivos para brindar una conexión a través de un **LSP**. Este valor se asocia a una determinada **FEC**. Finalmente, luego que cada *router* tiene sus tablas de etiquetas puede comenzar el direccionamiento de paquetes a través de los **LSP** preestablecidos por un determinado **FEC**. Habiendo señalado las principales características de **MPLS**, continuamos con la segunda componente de **TE**. Ésta requiere un conocimiento detallado de la topología de la red así como también información dinámica de la carga en la red.

La segunda componente, de distribución de información, es implementada definiendo extensiones relativamente simples a los **IGP**, de tal forma que los atributos de los enlaces son incluidos como parte de cada aviso del estado del enlace en cada *router*. Cada *router* mantiene atributos de los enlaces de la red e información de la topología de la red en una base de datos de **TE** especializada (**Traffic Engineering Data = TED**). La **TED** es usada exclusivamente para el cálculo de rutas explícitas, para la ubicación de **LSP** a lo largo de la topología física. En forma aparte, una base de datos es mantenida, de manera que el cálculo subsiguiente de la Ingeniería de Tráfico sea independiente del **IGP** y de la base de datos del estado del enlace del **IGP**. Mientras tanto, el **IGP** continúa su operación sin ninguna modificación, realizando el cálculo tradicional del camino más corto, basado en información contenida en la base de datos del estado del enlace en el *router*.

En cuanto a la componente de selección de caminos, luego que los atributos de los enlaces y la información de la topología han sido inundados por IGP y localizados en la TED, cada *router* de ingreso utiliza la TED para calcular los caminos de su propio conjunto de LSP a lo largo del dominio de ruteo. El camino para cada LSP puede ser representado tanto por lo que se denomina, una ruta explícita estricta o sin trabas ("*strict or loose explicit route*"). El *router* de ingreso determina el camino físico para cada LSP aplicando por ejemplo, un algoritmo de restricciones de camino más corto (CSPF, *Constrained Shortest Path First*) a la información en la TED. A pesar de que se reduce el esfuerzo de administración (resultado del cálculo online del camino) una herramienta de planeamiento y análisis *offline* es necesaria si se quiere optimizar la TE globalmente. En el cálculo *online* se toma en consideración las restricciones de los recursos y se va calculando un LSP a la vez, a medida que van llegando las demandas. Esto implica que el orden en que los LSP son calculados es muy importante, ya que depende de los LSP ya establecidos, por dónde se dirigirá cada nuevo LSP que llega. Si se cambiara el orden de llegada de los LSP, es muy probable que los caminos elegidos para establecerlos cambien también. De esta manera, los LSP que se calculan primero tienen más recursos disponibles para utilizar, que los que llegan más tarde, ya que todo LSP calculado previamente consume recursos. Por otro lado, una herramienta de planeamiento y análisis *offline*, examina en forma simultánea las restricciones de recursos de cada enlace y los requerimientos de cada LSP. Si bien el acercamiento *offline* puede tardar varias horas en completarse, realiza cálculos globales comparando los resultados de cada cálculo y selecciona entonces la mejor solución de la red tomada como un conjunto. La salida del cálculo es un conjunto de LSP que optimizan la utilización de los

recursos de la red. Una vez finalizado el cálculo *offline*, el **LSP** puede ser establecido en cualquier orden ya que cada uno ha sido instalado siguiendo las reglas para una solución óptima global.

Por último, la componente de señalización es la responsable de que el **LSP** sea establecido para que sea funcional mediante el intercambio de etiquetas entre los nodos de la red. La arquitectura **MPLS** no asume un único protocolo de distribución de etiquetas; de hecho se están estandarizando algunos existentes con las correspondientes extensiones como son **RSVP (Protocolo de Reserva de Recursos)** y **LDP (Label Distribution Protocol)**.

Debido a la importancia del establecimiento de los **LSP**, cómo elegirlos y dónde ubicarlos de manera de cubrir de la mejor manera posible las demandas, es indicado en "Ingeniería de Tráfico en redes **MPLS**", **una herramienta de software** que tiene distintos mecanismos (algoritmos) para ofrecer al usuario, al momento de elegir cómo y por dónde ubicar a los **LSP**, son: **Tráfico explícito**, **CSPF (Constraint Shortest Path First)**, **MIRA (Minimum Interference Routing Algorithm)** y **Fairness**.

En primer lugar, dentro de los algoritmos que podrían ser considerados "online" tenemos al Tráfico Explícito y al CSPF. En ambos se considera que las demandas van llegando una a la vez, de manera que la clave es ver la manera de alojar tal demanda por determinado **LSP** considerando las restricciones exigidas por el usuario en términos del ancho de banda y el estado actual de la red (posibles **LSP** ya existentes que ocupan recursos de la red). Por otro lado tenemos a los algoritmos "offline" que son el **MIRA** y los de **Fairness**. En este caso, se consideran todas las demandas existentes hasta el momento de manera conjunta y se determina la mejor manera de alojarlas en la red, haciendo un

aprovechamiento inteligente de los recursos de manera que la mayoría de ellos vean sus requerimientos satisfechos. Otra importante funcionalidad en la que se hizo hincapié fue la de implementar un mecanismo automático de carga de la red, que consiste básicamente en descubrir todos los *routers* presentes en la red, que estén intercambiando información de ruteo mediante el protocolo **OSPF** (*Open Shortest Path First*). Esta es una manera muy práctica de poder levantar la topología de la red en caso que el usuario no tenga conocimiento de la misma, o en caso que se trate de una red de gran tamaño en cuyo caso se consumiría mucho tiempo en crearla manualmente. En todo momento el usuario tiene la posibilidad de visualizar el estado actual de la red, como información sobre utilización de los enlaces **LSP** establecidos, etc. Esta información puede ser desplegada tanto de manera numérica como gráfica, visualizando en pantalla la utilización de los enlaces, por medio de la diferenciación por colores de los mismos. Los conceptos básicos sobre enrutamiento explícito, **CSPF**, **MIRA** y **Fairness**, son explicados a continuación y después son presentados los principales casos de uso.

3.3.3 Tráfico explícito, CSPF, MIRA y Fairness

A continuación son presentados los principales conceptos y diferencias entre los diferentes algoritmos de establecimiento de **LSP**.

a. Tráfico explícito

A partir de la elección del nodo de origen, se van analizando los posibles enlaces para ir creando salto a salto el **LSP** de manera explícita de origen a fin. La demanda se expresa en términos del ancho de banda. No utiliza algoritmo alguno, sino que sólo se basa en la decisión que tome el usuario y depende exclusivamente del camino que éste desee.

b. CSPF

La computación de caminos para protocolos de ruteo intradominio se basa en un algoritmo que optimiza (minimiza) una métrica escalar en particular. Para el caso del protocolo **OSPF** (*Open Shortest Path First*), el administrador de red asigna a cada enlace en la red una métrica administrativa. Dada la opción de múltiples caminos a un destino dado, **OSPF** usa el algoritmo de *Dijkstra* del camino más corto, también conocido en inglés como **SPF** (*Shortest Path First*), para computar el camino que minimiza la métrica administrativa del camino. Para el caso de algoritmos de ruteo basados en restricciones, **CBR** (*Constraint Based Routing*), se requiere la habilidad de computar un camino de manera tal que sea óptimo respecto a alguna métrica escalar y que no viole un conjunto de restricciones. La computación de un camino se puede lograr usando un algoritmo de **SPF**. El algoritmo **SPF** plano, computa un camino que es óptimo con respecto a cierta métrica escalar. Entonces, para computar un camino que no viole restricciones, todo lo que necesitamos es modificar el algoritmo de manera tal que pueda tomar en cuenta esas restricciones. Nos referiremos a tal algoritmo como

CSPF. El algoritmo **CSPF** requiere que el *router* que realiza la computación del camino tenga información sobre todos los enlaces en la red, lo cual impone una restricción en el tipo de protocolo de ruteo a usar restringiéndonos a protocolos de estado de enlace como *Intermediate System to Intermediate System (IS-IS)* u **OSPF**. La capacidad de ruteo explícito necesaria es implementada por el **MPLS**.

c. **MIRA**

El objetivo es minimizar la “interferencia” que provoca el establecimiento de un nuevo **LSP** a potenciales nuevos **LSP** que son desconocidos. Mapear un **LSP** en la red puede reducir el máximo ancho de banda disponible entre algunos pares de nodos ingreso-egreso críticos en la red, dependiendo de por dónde se dirija el mismo. Este fenómeno es conocido como “interferencia”. Si los caminos que reducen el **BW** (Bandwidth), entre nodos ingreso-egreso son evitados entonces la creación de cuellos de botella se evitarían también. En otras palabras, dada una nueva demanda entre los nodos [s (source), d (destine)], se considera el impacto de mapear esta demanda, en futuras demandas entre nodos ingreso-egreso. Dicho impacto se caracteriza al asignarle pesos a los enlaces que pueden ser usados por estas futuras demandas y pasando luego a calcular **SPF** con dichos pesos. Veamos ahora la implementación propia del algoritmo.

- a. Una vez identificados los nodos ingreso-egreso (s' , d'), se calcula el máximo flujo de red (**MNF = Maximum Network Flow**) para cada uno de ellos y lo llamamos $\theta^{s'd'}$. El **MNF** representa el máximo ancho de banda que puede

traficar la red entre el par de nodos (s' , d'), ya sea por varios caminos o por uno solo.

- b. Calculamos el peso $w(l)$ para cada enlace de la red: Calculamos la contribución de cada enlace de la red a este **MNF** entre s' y d' , lo cual se

representa por: $\frac{f_l^{s'd'}}{\theta^{s'd'}}$ donde $f_l^{s'd'}$ representa la cantidad de tráfico de **MNF** que pasa por el enlace l . Se caracteriza entonces el **BW** disponible en el enlace l de modo de incorporar la capacidad de mapear futuras demandas por el enlace, mediante el cálculo de la *contribución normalizada de ancho*

de banda del enlace l : $\frac{f_l^{s'd'}}{\theta^{s'd'} R(l)}$. Luego asignamos a cada enlace el peso total debido a las contribuciones de todos los pares de nodos ingreso-egreso (s' , d') que pueden originar **LSPs** en el futuro:

$$w(l) = \sum_{(s', d') \in \mathcal{L}} \frac{f_l^{s'd'}}{\theta^{s'd'} R(l)}, l \in E$$

- c. Se eliminan todos los enlaces que no cumplen con la restricción de ancho de banda del nuevo **LSP**.
- d. Corremos el **SPF** a una topología reducida con los $w(l)$ hallados.
- e. Establecemos el **LSP** en la red, actualizando los **BW** disponibles en cada enlace.

d. **Fairness**

Determinar cuánto tráfico de cada flujo debe ser admitido por la red y por dónde rutearlo una vez que ingresa, satisfaciendo los requerimientos de alta

utilización de la red y garantizando “justicia” a los usuarios, es uno de los retos más grandes en el diseño de las redes de telecomunicaciones de hoy en día. La pregunta que nos debemos hacer es la siguiente: ¿Qué principio debemos seguir al alojar las demandas entre los recursos que la red tiene para ofrecer, de manera de cumplir con algún criterio de justicia? Una posible respuesta es utilizar el esquema de asignación de recursos llamado **MMF** (*Max-Min Fairness*).

La idea básica de *Max-Min Fairness* es incrementar lo máximo posible el ancho de banda (**BW**) de una demanda sin que sea a expensa de otra demanda. Normalmente son implementados cuatro distintos algoritmos de **MMF**: *Max-Min Fairness* básico para caminos fijos, *Max-Min Fairness* para caminos fijos acotados, *Max-Min Fairness* con múltiples caminos y *MaxMin Fairness* con múltiples caminos acotados.

3.3.4 *Max-Min Fairness* básico para caminos fijos

Consideremos una red con enlaces de capacidades fijas y con caminos únicos prefijados y asignados para transportar los flujos de las demandas (o sea que en caso de existir varios caminos posibles calculados por **CSPF** entre determinado par de nodos, es usado solamente uno de ellos, pudiendo éste ser elegido por el usuario a su criterio). El usuario tiene como opciones de métrica para calcular los caminos en **CSPF**, el peso (se le asigna a cada enlace un determinado peso administrativo) o *minhop* (mínimo número de saltos). Con el *minhop*, se le asignan a los enlaces un peso igual a uno y se calcula el camino en base a la cantidad de saltos. Básicamente la idea es incrementar en pasos el **BW**

de cada demanda hasta que saturé al menos un enlace por el que pasan una o varias demandas.

3.3.5 *Max-Min Fairness* básico para caminos fijos con cotas

Ahora seguiremos considerando el caso del **MMF** para caminos fijos, pero agregándole ahora pesos a las demandas y cotas superior e inferior a los flujos asignados a esas demandas. Agrega a cada demanda un enlace virtual de capacidad igual al **BW** deseado multiplicado por la prioridad.

La implementación de este algoritmo consiste básicamente en agregar un enlace y nodo ficticio para cada demanda, de manera de asegurarse que por dicho enlace pase solamente esa demanda en particular. O sea que cada demanda tendrá un enlace y nodo ficticio propio de ella. La capacidad de dicho enlace ficticio será igual al ancho de banda requerido para la demanda en cuestión. De esta manera, nos aseguramos que el ancho de banda no se aumente más que el ancho de banda requerido por el usuario. Es una manera de poner un tope superior al ancho de banda.

3.3.6 *Max-Min Fairness* para múltiples caminos

Calcula todos los caminos posibles para cada demanda, sin considerar métrica alguna. Esto permite separar cada demanda en varias sub demandas. Tomemos x_{dp} como el flujo (en términos del **BW**) asignado al camino p de la demanda d , y a X_d como el flujo total asignado a la demanda d , $X = (X_1, X_2, \dots,$

X_p). Para este algoritmo aparece el índice $p = 1, 2, \dots, P_d$ para indicar los caminos candidatos para la demanda d . Dentro de las constantes tenemos ahora $\delta_{edp} = 1$ si el enlace e pertenece al camino p de la demanda d y 0 en caso contrario. Y finalmente, dentro de las variables tenemos a X_{dp} para representar el flujo (ancho de banda) asignado al camino p de la demanda d ; y a X_d como el flujo total asignado a la demanda d , $X = (X_1, X_2, \dots, X_p)$.

El vector final de volúmenes de asignación total $X^* = (X_1^*, X_2^*, \dots, X_D^*)$, obtenido en la última interacción del algoritmo, es único y constituye la solución buscada.

3.3.7 Primero el enlace más corto con restricciones (CSPF - *Constraint Shortest Path First*)

- **Principios básicos de CBR**

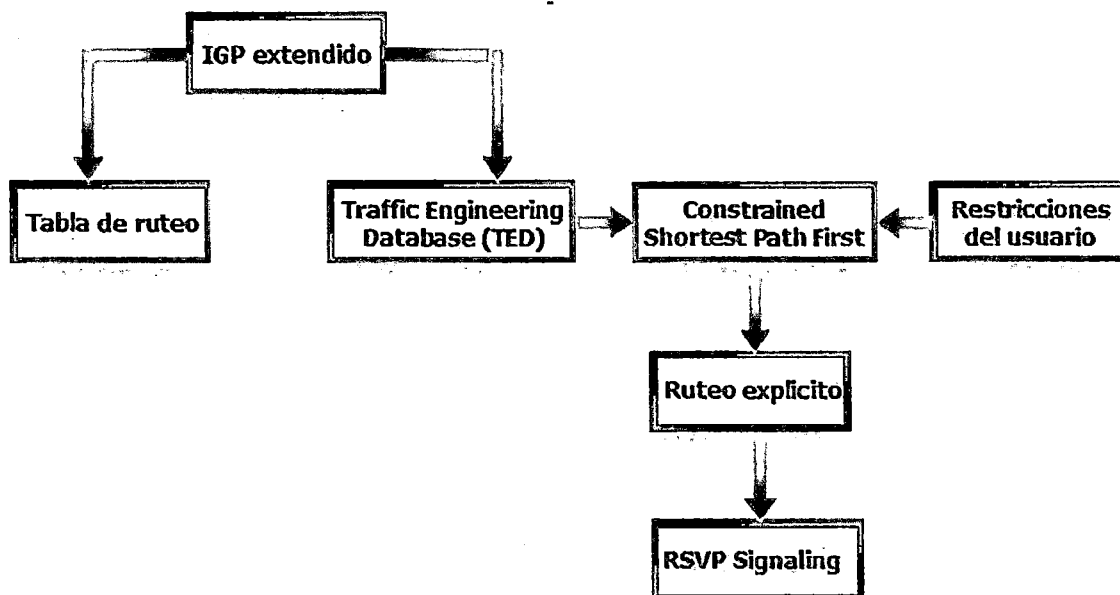
Para poder entender el concepto de **CBR** (*Constraint Based Routing*), debemos primero entender el sistema de ruteo convencional usado en redes **IP**, como la *Internet*. Una red es modelada como una colección de **AS** (Sistemas Autónomos), donde las rutas dentro de un **AS** son determinadas por ruteo intradominio y las rutas que atraviesan múltiples **AS** son determinadas por ruteo interdominio. Ejemplos de protocolos intradominio son **RIP**, **OSPF** y **IS-IS**. El protocolo de ruteo interdominio más usado hoy en día en redes **IP** es **BGP** (Border Gateway Protocol) . Enfocaremos de aquí en adelante al ruteo intradominio que utiliza para el cálculo de los caminos, algoritmos que buscan minimizar cierta métrica en particular, como es el caso de **CSPF**. La computación

de caminos para cualquiera de los protocolos de ruteo intradominio que mencionamos anteriormente, se basa en un algoritmo que optimiza (minimiza) una métrica escalar en particular. En el caso de **RIP**, dicha métrica es el número de saltos. En el caso de **OSPF** o **IS-IS** es la métrica administrativa de un camino. Esto es, con **OSPF** o **IS-IS**, el administrador de red asigna a cada enlace en la red una métrica administrativa. Dada la opción de múltiples caminos a un destino dado, **OSPF** o **IS-IS** usa el algoritmo de *Dijkstra* del camino más corto (**SPF**) para computar el camino que minimiza la métrica administrativa donde esta se define como la suma de las métricas administrativas en todos los enlaces a lo largo del camino. La diferencia principal entre el ruteo **IP** convencional y el ruteo basado en restricciones (**CBR**) es la siguiente. Los algoritmos de ruteo plano **IP** intentan encontrar un camino que optimiza una determinada métrica escalar, mientras que los algoritmos basados en **CBR** intentan encontrar un camino que optimice cierta métrica escalar y al mismo tiempo que no viole un conjunto de restricciones. Es precisamente la habilidad de encontrar un camino que no viole un conjunto de restricciones lo que distingue al ruteo basado en restricciones del ruteo plano **IP**. Los mecanismos claves necesarios para soportar ruteo basado en restricciones son a grandes rasgos los enumerados a continuación. El primer mecanismo es la habilidad de computar un camino, y de hacerlo de manera tal que no tome sólo en cuenta determinada métrica escalar usada como criterio de optimización, sino también un conjunto de restricciones que no deben ser violadas. Esto requiere que la fuente tenga toda la información necesaria para computar dicho camino. El segundo mecanismo es la habilidad de distribuir la información sobre la topología de la red y atributos asociados, a los enlaces a través de la red. Esto porque ya que cualquier nodo en la red es potencialmente capaz de generar tráfico que

tenga que ser ruteado basado en restricciones, la información que usa la fuente para computar el camino debe estar disponible a cualquier nodo de la red.

Una vez computado el camino, también necesitaremos soportar el envío a través de dicho camino. Por lo que el tercer mecanismo es aquel que sea capaz de soportar el ruteo explícito. Por último, establecer una ruta para un conjunto particular de tráfico, puede requerir la reserva de recursos a lo largo de esa ruta, alterando quizás el valor de los atributos asociados a enlaces individuales de la red. De esta forma el último mecanismo es uno a través del cual se puedan reservar recursos de la red y modificar los atributos de los enlaces como resultado del tráfico encaminado a través de ciertas rutas. En el próximo ítem será detallado y comentado el algoritmo **CSPF** (*Constraint Shortest Path First*), el cual, como se a mencionado anteriormente, es usado por **CBR** para computar un camino.

Fig. 3.2: Modelo del servicio CBR



- **CSPF**

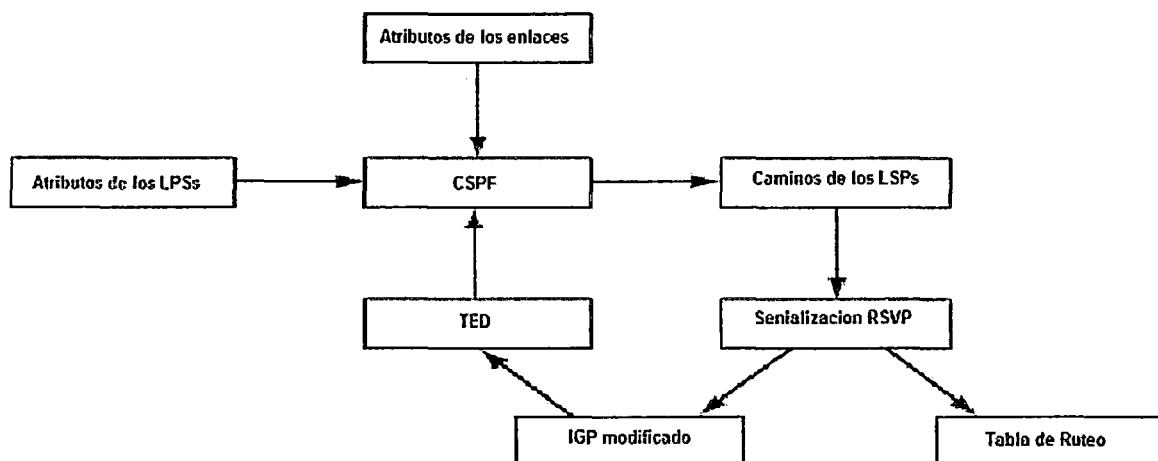
CBR requiere la habilidad de computar un camino de manera tal, que:

- Sea óptimo respecto a alguna métrica escalar (por ejemplo, el minimizar la cantidad de saltos o una métrica administrativa).
- No viole un conjunto de restricciones.

Una manera de lograr esos objetivos es usar el algoritmo **SPF** (*shortest path first*). El algoritmo **SPF** pleno (sin restricciones), computa un camino que es óptimo con respecto a cierta métrica escalar. Entonces, para computar un camino que no viole restricciones, todo lo que necesitamos hacer es modificar el algoritmo de manera tal que pueda tomar en cuenta esas restricciones. Nos referiremos a ese algoritmo como **CSPF** (*constraint shortest path first*). Para entender como **SPF** debe ser modificado para tomar restricciones en cuenta, miremos primero como es la operación del **SPF** pleno. El algoritmo **SPF** pleno trabaja empezando de un nodo llamado raíz, y creando luego a partir del mismo, una estructura en forma de árbol que contiene el camino más corto. En cada interacción del algoritmo, hay una lista de posibles nodos "candidatos" (inicialmente esta lista contiene sólo a la raíz). En general, los caminos de la raíz a los nodos candidatos no son los más cortos. Sin embargo, para el nodo candidato que está más cerca de la raíz (con respecto a la distancia usada por **SPF**), el camino a ese nodo es el más corto garantizadamente. Entonces, en cada interacción, el algoritmo toma de la lista de candidatos, al nodo con la distancia más corta a la raíz. Este nodo es agregado al árbol del camino más corto y removido de la lista de nodos

candidatos. Una vez que el nodo ha sido agregado al árbol del camino más corto, los nodos que no están en el árbol, pero son adyacentes a ese nodo, son examinados para una posible adición o modificación de la lista de candidatos. El algoritmo entonces interactúa nuevamente. Para el caso en donde se desee encontrar el camino más corto de la raíz a todo el resto de los nodos, el algoritmo termina cuando la lista de candidatos está vacía. Para el caso en que se desee simplemente encontrar el camino más corto de la raíz a algún otro nodo específico, el algoritmo termina cuando este otro nodo es agregado al árbol del camino más corto.

Fig. 3.3: Proceso de computación del CSPF



En la Fig. 3.3 se puede apreciar el proceso total de computación del algoritmo **CSPF**. Vale destacar que la **TED** es la Base de Datos de Ingeniería de Tráfico, la cual provee a **CSPF** con información actual sobre la topología de la red. Dadas las operaciones del **SPF** pleno, es bastante sencillo observar la modificación que debemos hacerle al mismo de manera de convertirlo a **CSPF**. Todo lo que tenemos que hacer es modificar el paso que maneja la adición o modificación de la lista de candidatos. Específicamente, cuando agregamos un

nodo al árbol del camino más corto y nos fijamos en los enlaces adyacentes a ese nodo, nos fijamos primeramente si esos enlaces satisfacen todas las restricciones planteadas. Sólo si el enlace satisface todas las restricciones, recién ahí examinamos el nodo que está ubicado en el otro extremo del enlace. En general, el procedimiento por el cual chequeamos si un enlace satisface una restricción en particular, es específico de la naturaleza de la restricción. Por ejemplo, cuando la restricción que queremos satisfacer es el ancho de banda disponible, entonces el chequeo es si el ancho de banda disponible en el enlace es mayor o igual al ancho de banda especificado por la restricción; sólo si lo es, es que examinamos el nodo ubicado en el otro extremo del enlace. También observar que si al chequear un enlace que satisface una restricción particular, asume que hay una información de restricción relacionada, asociada con el enlace. La naturaleza de esta información está relacionada a la restricción, por ejemplo, cuando la restricción que queremos satisfacer es el ancho de banda disponible, la información que necesitamos es tener el ancho de banda disponible en un enlace. Notar que el algoritmo **CSPF** requiere que el *router* que realiza la computación del camino, tenga información sobre todos los enlaces en la red. Esto impone una restricción en el tipo de protocolo de ruteo que podemos usar para soportar el ruteo basado en restricciones (**CBR**). Tenemos que usar protocolos de “estado de enlace” como **IS-IS** u **OSPF**, ya que protocolos de ruteo de vector de distancia como **RIP** no son capaces de encontrar estos requerimientos. Como comentario final sobre uno de los mecanismos restantes necesarios para soportar **CBR**, la capacidad de ruteo explícito necesaria es dada por el **MPLS**. El requerimiento usado en este proyecto fue el ancho de banda disponible en cada enlace de la red. Además se le agregó la posibilidad de que el usuario pueda obligar al **LSP**

hallado que pase por cierto enlace de la red así como que no pase por otro en particular. La razón por la cual se puede desear querer obligar que un **LSP** pase por cierto enlace y no lo haga por otro depende totalmente del usuario y de la forma en que él gestione su red. Además es importante destacar que con respecto a los pesos asignados a los enlaces al momento de correr el **SPF**, se le ofrece al usuario la oportunidad de usar distintos pesos, dependiendo de cuál sea la métrica en la que él esté interesado de usar (por ejemplo, la cantidad mínima de saltos, minimizar los pesos administrativos asignados por el mismo a los enlaces o hacer la métrica en función del ancho de banda disponible en los enlaces, entre otros).

- **Ruteo basado en QoS, WSP y SWP**

El ruteo basado en **QoS** ha sido un área de investigación muy activa por muchos años. Selecciona rutas en la red que atiendan la **QoS** requerida para una conexión o grupo de conexiones. Además, el ruteo basado en **QoS** logra una eficiencia global en la utilización eficiente de los recursos. Un ejemplo de esto es el algoritmo **WSP** (*Widest Shortest Path*), el cual usa el ancho de banda como una métrica y selecciona los caminos que tienen un embotellamiento en el ancho de banda mayor. El embotellamiento en el ancho de banda representa la capacidad mínima no usada de todos los enlaces en el camino. En el caso de dos caminos con el mismo embotellamiento en el ancho de banda, el camino con la mínima cantidad de saltos es seleccionado. Los algoritmos de ruteo usados en **CBR** y la complejidad de los mismos, depende del tipo y del número de métricas que son incluidas en el cálculo de la ruta. Algunas de las restricciones pueden ser

contradictorias (por ejemplo, costo vs. ancho de banda, *delay* vs. *throughput*). Resulta que el ancho de banda y la cuenta de saltos son en general restricciones más útiles en comparación con el *delay* y *jitter*, ya que muy pocas aplicaciones no pueden tolerar una ocasional violación de dichas restricciones, y como el *delay* y *jitter* se pueden determinar por medio del ancho de banda atribuido y número de saltos del camino donde va el flujo, éstas restricciones pueden ser mapeadas en restricciones de ancho de banda y número de saltos, en caso de ser necesario. Otro factor es que muchas aplicaciones en tiempo real requieren un determinado ancho de banda. El número de saltos de una ruta también es una métrica importante, ya que cuanto más saltos atraviese un flujo, más recursos consumirá. Con las implementaciones básicas del esquema de **CBR**, hay una especie de balance y equilibrio entre la conservación de recursos y el balance de carga. Un esquema de **CBR** puede seleccionar de las siguientes opciones para un camino viable para su flujo:

- *Shortest-Distance Path (SDP)*: éste acercamiento es básicamente el mismo que el ruteo dinámico. Hace énfasis en preservar los recursos de la red por medio de la selección de los caminos más cortos.
- *Widest-Shortest Path (WSP)*: éste acercamiento hace énfasis en balancear la carga por medio de la elección de caminos más “anchos” en cuanto al ancho de banda. Encuentra caminos con el mínimo número de saltos y, si encuentra múltiples caminos, se queda con el que tiene ancho de banda mayor.
- *Shortest-Widest Path (SWP)*: éste acercamiento hace una especie de intercambio entre los dos extremos. Favorece a los caminos más cortos

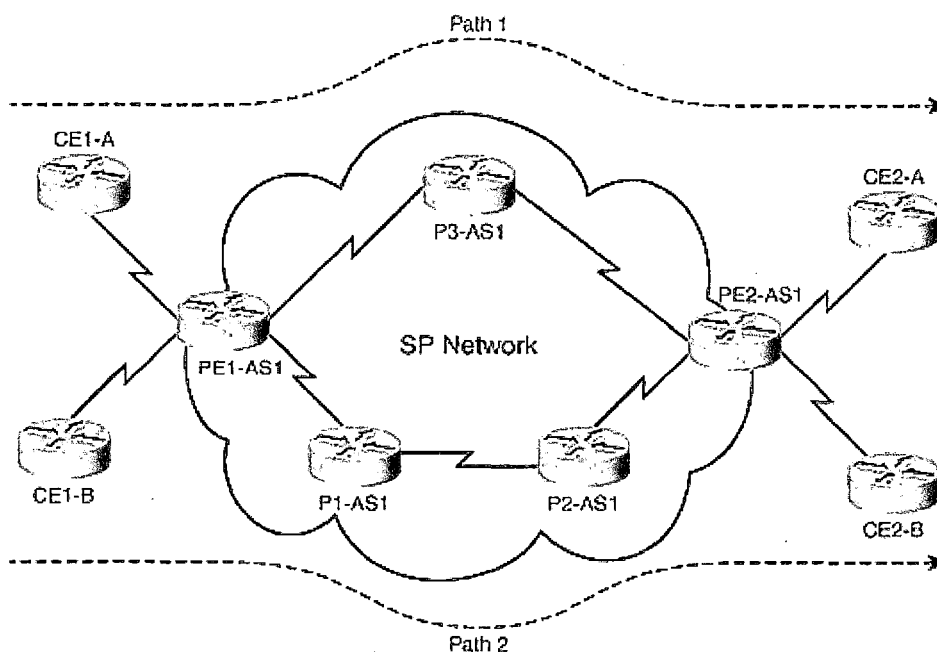
cuando la carga de la red es pesada y a los caminos más “anchos” cuando la carga de la red es moderada. Encuentra un camino con el ancho de banda más grande y, en caso de haber múltiples caminos, se queda con el que tiene la mínima cantidad de saltos.

En los últimos dos casos se consumen más recursos, lo cual no es eficiente cuando la utilización de la red es alta. Se debe hacer un balance o equilibrio entre la conservación de recursos y el balance de carga. Vale hacer notar en este momento, que cualquiera de las 3 opciones superiores se pueden implementar con la ayuda de algún *software*, combinando correctamente la elección del tipo de pesos para los enlaces con la elección del criterio de **TE**.

3.3.8 La Ingeniería de Tráfico en la práctica

Ingeniería de Tráfico (**TE**), normalmente representa el proceso por el cual se conduce el tráfico a través de un *backbone* de forma a facilitar el uso eficiente de la banda disponible entre un par de *routers*. Antes de la existencia del **MPLS**, **TE** la Ingeniería de Tráfico, era implementada a través del **IP** ó **ATM** dependiendo del protocolo en uso entre los dos *routers* de las bordas (**LER**) de la red. Aunque el término Ingeniería de Tráfico, ha ganado popularidad y es usado mas en el contexto de **MPLS TE**. Con **IP**, **TE** fue implementado principalmente mediante la manipulación del costo de la *interface* cuando existen múltiples enlaces entre dos puntos finales en la red. También cuando rutas estáticas habilitan la conducción del tráfico a través de un enlace específico a su destino. En la Fig. 3.4, se muestra una red **IP** básica con 2 clientes A y B, conectados al mismo proveedor de servicio.

Fig. 3.4: Red IP tradicional



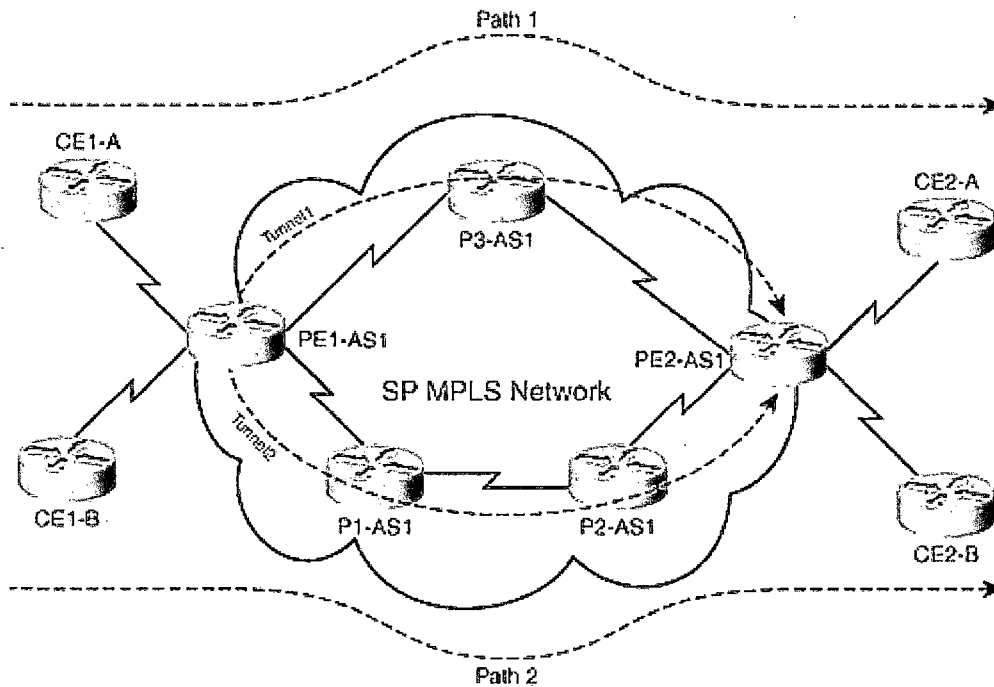
Se muestran 2 enlaces entre los *routers* CE1-A y CE2-A. Si todos los enlaces de la red fueran del mismo costo, el enlace preferido entre los *routers* podría ser el de menor costo vía PE1-AS1, P3-AS1 y PE2-AS1, o PATH1. Lo mismo se aplicaría a los *routers* de cliente CE1-B y CE2-B pertenecientes al cliente A B. Si todos los enlaces fuesen T3 (44Mbps), por ejemplo, en el caso de CE1-A enviando 45 **Mbps** de tráfico y CE1-B enviando simultáneamente 10 **Mbps** de tráfico, algunos paquetes serán descartados en PE1-AS1 debido a que el enlace preferencial de los 2 clientes está usando PATH1. El enlace PATH2 no será utilizado para encaminamiento del tráfico. Por consiguiente, TE puede utilizar esta banda disponible. Para implementar TE usando IP donde, los enlaces PATH1 y PATH2 son ambos de carga balanceada o usados igualmente es necesario implementar recursos de IGP tales como enlaces máximos con varianza o cambiar el costo asociado con el enlace sub-óptimo PATH2, para

hacerlo igual al actual enlace óptimo PATH1. En un ambiente de proveedor de servicio, esto es a menudo, complicado de implementar debido a la cantidad muy grande de *routers*.

En redes **ATM**, la solución es más factible. Pueden ser configurados **PVCs** entre los *routers* PE1-AS1 y PE2-AS1 con el mismo costo, pero esto podría crear una malla llena de **PVCs** entre un grupo de *routers*. Por otro lado, la implementación de **ATM** para **TE** tiene un problema inherente cuando un enlace o un nodo cae. Durante el periodo de falla los mensajes son "*flooded*" (inundados) en la red. La topología de capa 3 debe ser predominantemente de malla llena para tomar ventaja de la implementación de **TE** en la capa 2. A menudo esto puede caracterizar una restricción de escalabilidad para el **IGP** en uso, debido a problemas de re convergencia en la capa 3.

La mayor ventaja de la implementación de **TE** con **MPLS** es que proporciona una combinación de capacidades de **ATMs**, **TE** junto con diferenciación de clases de servicio **CoS (Class of service)** de **IP**. El *router head - end*, en la red controla el enlace tomado por el tráfico a cualquier destino en la red. Los requisitos para implementar una red de malla completa como en **ATM** no existen cuando se implementa **MPLS TE**. Por consiguiente, cuando **MPLS TE** es implementado, la red **IP** mostrada en la Fig. 3.4, se transforma en el dominio conmutado de etiquetas indicado en la Fig. 3.5 en el cual los enlaces conmutados de etiquetas de **TE** o túneles **TE** (tunel1 y tunel2) definen los enlaces que pueden ser usados por el tráfico entre PE1-AS1 y PE2-AS1.

Fig. 3.5: Red MPLS TE



○ **Enrutamiento basado en restricciones y operación con MPLS TE**

La más importante exigencia de TE es que las características bien como la disponibilidad de recursos en los enlaces de la red sean propagados a través de la red para permitir una escoja de los posibles enlaces TE-LSPs. En los protocolos de enrutamiento *link state*, el enlace preferido permanece predominantemente y lleva en cuenta la banda del enlace entre cualquier par de *routers* para calcular el costo o métrica asociada con ese enlace antes de la asignación al enlace preferido. Habilitar el uso de protocolos de enrutamiento *link state* para propagar eficientemente información relacionada con la disponibilidad de recursos en sus actualizaciones de enrutamiento, es efectuado con la ayuda de extensiones adicionales a la real operación del protocolo de enrutamiento "*link*

state". La mecánica de operación de un protocolo de enrutamiento "*link state*" envuelve el *flooding* de actualizaciones en la red hasta que el "*link state*" o métrica cambiar o en otros términos, la disponibilidad de banda desde una perspectiva de TE. Los atributos de los recursos son "*flooded*" por los *routers* en la red para hacerlos disponibles por el *head end router* en el túnel TE durante la computación del enlace LSP. Las actualizaciones del "*link state*" transportan información que lista los vecinos del *router*, las redes incluidas, información de recursos de la red y otras informaciones relevantes relacionadas con la actual disponibilidad de recursos que podrían ser más tarde solicitadas a ejecutar un cálculo SPF basado en restricciones. OSPF y IS-IS han sido previstos con extensiones que habilitan su uso en un ambiente MPLS TE para propagar información relacionada con disponibilidad de recursos y selección dinámica de enlaces LSP.

- **Banda máxima versus banda disponible**

Banda disponible (AB) es un valor clave tomado en consideración durante el proceso de cálculo del enlace LSP para identificar el enlace preferido para el túnel TE. Las bandas disponibles en las *interfaces* son configuradas con carácter de prioridad. El número de prioridades que pueden ser configuradas es 8 (0 a 7), donde 0 representa la más alta prioridad. Cuando la banda disponible para un cierto nivel de prioridad de una *interface* es configurada, es restado de la banda disponible en todos los niveles de prioridad abajo del que está configurado "on".

Si el *router* PE1-AS1 tiene una *interface* serial (T1- 1.544 Mbps), 1 *ethernet interface* (10 Mbps) y una *interface fast Ethernet* (100 Mbps), las bandas reales en las *interfaces* mapean a los valores de la banda máxima (MB) en los enlaces

respectivos. La banda disponible es usualmente la banda de la reserva requerida restada de la banda máxima. Sin embargo, esto no funciona si el valor de la banda disponible en el enlace es configurado mayor que el valor de la banda máxima del enlace. Reservas excediendo el valor de la banda máxima son rechazadas.

Cuando el *router* PE1-AS1 inicialmente propaga información sobre la banda máxima y la banda disponible en todos sus enlaces, los valores para la banda disponible en cada nivel de prioridad (P) para cada enlace podrían ser igual a sus máximos valores de banda (1.544 **Mbps** para serial, 10 **Mbps** para *Ethernet* y 100 **Mbps** para *fast Ethernet*).

Cuando un pedido de un túnel es aceptado y la banda deducida de la banda disponible en una cierta prioridad, esto es, también deducido de todas las prioridades menores que la prioridad a la cual los recursos solicitados fueron realizados. Si por ejemplo, la creación de un túnel **LSP** en PE1-AS1 consume 40 **Mbps** de banda en la interface *fast Ethernet* a un nivel de prioridad 5, los valores de banda disponible a las prioridades apropiadas en la *interface fast Ethernet* podrían cambiar para prioridades 5 y arriba ($100 - 40 = 60$ **Mbps**).

Consideremos la siguiente secuencia de pedidos:

1. Pedido de 10 **Mbps** de banda en la *interface Ethernet* con prioridad 1.
2. Pedido de 20 **MBps** en la *interface fast Ethernet* con prioridad 0.
3. Pedido de 1 **Mbps** de banda en la *interface Serial* con prioridad 0.
4. Pedido de 2 **Mbps** de banda en la *interface Ethernet* con prioridad 3.

Esta secuencia reducirá los valores de **AB**, como representado en el cuadro abajo.

Cuadro 3.1: Banda máxima y banda disponible

Table 9-3. PE1-AS1: Maximum Bandwidth and Available Bandwidth—All Interfaces

Interface	AB P = 0 (Mbps)	AB P = 1 (Mbps)	AB P = 2 (Mbps)	AB P = 3 (Mbps)	AB P = 4 (Mbps)	AB P = 5 (Mbps)	AB P = 6 (Mbps)	AB P = 7 (Mbps)
Serial	1.544 - 1 = .544	1.544 - 1 = .544	1.544 - 1 = .544	1.544 - 1 = .544	1.544 - 1 = .544	1.544 - 1 = .544	1.544 - 1 = .544	1.544 - 1 = .544
Ethernet	10	10 - 10 = 0	10 - 10 = 0	10 - 10 = 0	10 - 10 = 0	10 - 10 = 0	10 - 10 = 0	10 - 10 = 0
Fast Ethernet	100 - 20 = 80	100 - 20 = 80	100 - 20 = 80	100 - 20 = 80	100 - 20 = 80	60 - 20 = 40	60 - 20 = 40	60 - 20 = 40

Las salidas del cuadro arriba no reflejan los pedidos de 2 **Mbps** de banda en la *interface Ethernet* con prioridad 3. Este pedido es rechazado debido a indisponibilidad de banda con este nivel de prioridad en la *interface* cuando el pedido es recibido. Las actualizaciones del *link state* en lo relacionado a disponibilidad de recursos son efectuados (“*flooded*”) cuando el *status* del enlace cambia, durante reconfiguración manual de los parámetros que mapean la disponibilidad de recursos en el enlace, actualizaciones periódicas de los enlaces y su *status* y cuando el *setup* del enlace **LSP** falla debido a indisponibilidad de los recursos solicitados para el túnel **LSP TE**. Si los recursos correspondientes al enlace cambian constantemente, esto engatillará la generación de actualización, lo cual debe ser evitado. Durante el instante cuando los recursos pertenecientes a los enlaces cambian constantemente, el *router “head end”* puede ver el enlace como un probable enlace en el *path LSP*. Consecuentemente este enlace no actualizado puede ser usado en el cálculo del enlace mismo pensando que el enlace puede no tener los recursos requeridos para *setup* del enlace **LSP**.

Sin embargo, después del cálculo del enlace **LSP**, cuando el establecimiento del enlace es intentado, el *router* conteniendo el enlace con los recursos no disponibles genera una actualización con informaciones de los recursos disponibles. Límites pueden ser colocados por interface o por enlace en los *routers* donde las actualizaciones son generadas dentro de un rango definido de los recursos disponibles. Por consiguiente el límite mayor, bien como el límite inferior puede ser configurado, cuando una actualización será generada en el *router* conteniendo el enlace, Por ejemplo, si el límite inferior fue configurado a 50% del ancho del enlace en pasos a 60, 70, 80, y 90 y el límite superior configurado a 100%, actualizaciones relacionadas con la disponibilidad de recursos del enlace serán generadas y “*flooded*” en la red cuando 50%, 60%, 70%, 80%, 90% y 100% de la banda sean alcanzados.

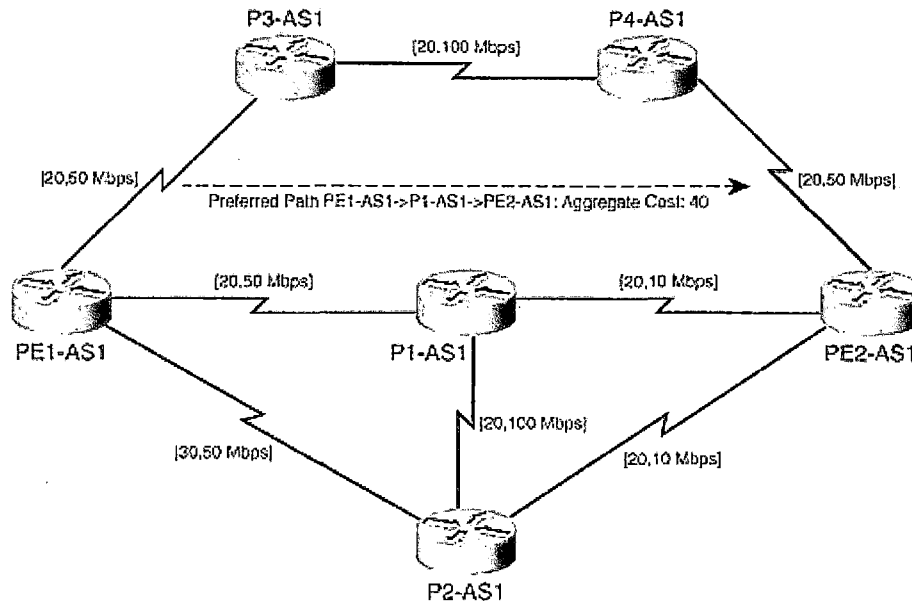
- **SPF basado en restricciones (*constraint-based SPF*)**

En el proceso normal de cálculo del **SPF**, un *router* se pone a la cabeza del árbol con el camino más corto calculado para cada uno de los destinos, sólo teniendo en cuenta el menor costo del sistema métrico o ruta hacia el destino.

Durante el funcionamiento normal del **SPF** en la red, ilustrado en la Fig. 3.6, sólo el costo es tomado en consideración, y el enlace de menor costo de un *loop back* en PE1-AS1 a un *loopback* en PE2-AS1 es PE1-AS1>P1-AS1> PE2-AS1. En este cálculo, un concepto clave a destacar sin tener en cuenta que el ancho de banda de los enlaces de las rutas de acceso de otros enlaces desde PE1-AS1 hasta PE2-AS1 vía los *routers* P3-AS1 > P4-AS1 y P2-AS1. El ancho de banda de

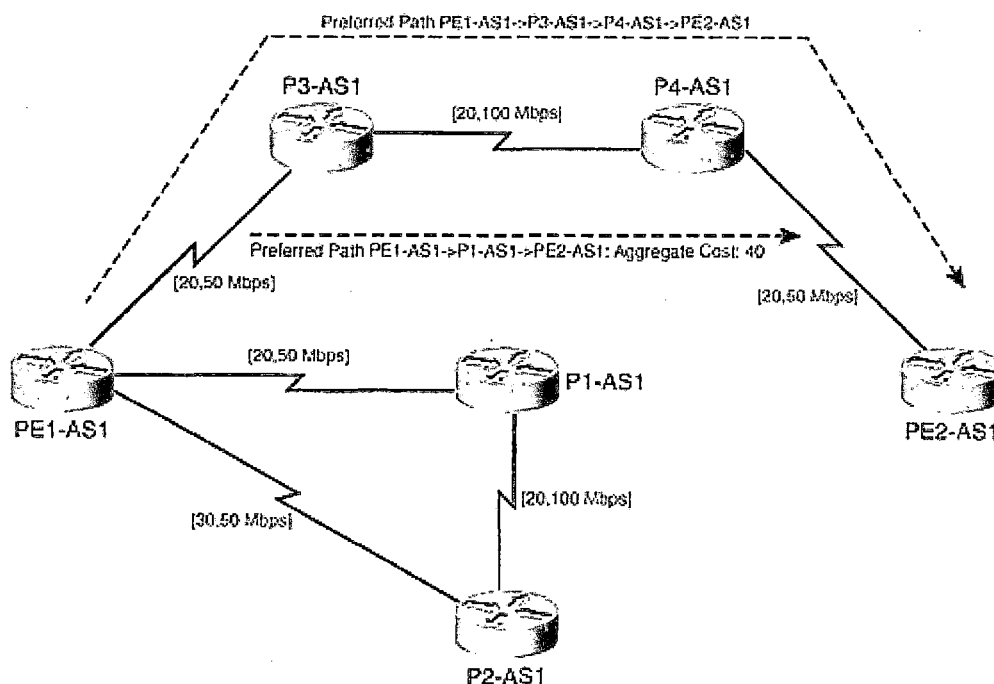
los enlaces se muestra como un par ordenado en la Fig. 3.6 con el primer valor mostrando el costo del enlace y el segundo el ancho de banda del enlace.

Fig. 3.6: SPF



Si los parámetros elegidos para el enlace preferido no son solamente los de menor costo, sino que también es considerado un requisito para soportar un ancho de banda de 50 **Mbps** en la Fig. 3.7, se puede eliminar los enlaces que no permiten atender el requisito mencionado. La red capaz de soportar la exigencia se vería como la que se muestra en la Fig. 3.7.

Fig. 3.7: CSPF



Con las mencionadas restricciones, el único camino capaz de ser utilizado como un LSP para TE es el camino de PE1-AS1 a PE2-AS1 vía P3-AS1 y de P4-AS1. Si cualquier enlace entre P1-AS1, P2-AS1, y PE2-AS1 eran para soportar un ancho de banda mayor que la exigencia, ellos se convertirán en una parte de la estructura del árbol CSPF con *router* PE1-AS1 o el *router* de cabecera como la raíz del árbol.

Con CSPF, utilizamos más de la relación costo para identificar los caminos posibles que se pueden ser usados para enlaces LSP TE. La decisión sobre cual enlace camino elegir para crear un enlace LSP TE se realiza en el *router* de cabecera después de descartar todos los enlaces que no cumplan con determinados criterios, tales como los requisitos de ancho de banda, adicional al costo del enlace. El resultado del cálculo por el CSPF en el *router* de cabecera es un conjunto ordenado de direcciones IP que mapean a las direcciones de

próximo salto (*next-hop*) de los *routers* que forman el **LSP TE**. Por lo tanto, múltiples **LSP TE** podrían ser utilizados por el **CSPF** para identificar probables enlaces en la red que cumple los criterios. Además, el usuario puede configurar un túnel estático TE o **LSP TE** en el *router* de cabecera que describe los próximos saltos en el enlace **LSP TE** y, por tanto, puede utilizar el **LSP** definido estáticamente como el enlace **LSP backup** en el caso de falla del **LSP TE** primario.

El resultado del cálculo **CSPF** es pasado después al proceso **RSVP** para iniciar el proceso de solicitud y reserva de recursos. El **RSVP** por lo tanto se utiliza junto con el resultado calculado por **CSPF** o la lista del próximo *hop* configurado por el usuario para señalización del **LSP** y establecimiento definitivo del **LSP TE**. Tenga en cuenta que el **LSP TE** formado como resultado de este proceso es unidireccional en naturaleza. Basada en restricciones **SPF**, puede utilizar pesos administrativos o métricas **IGP** (también llamado métricas **TE**) durante el cálculo basado en restricciones. En caso de empate, el camino con el mayor ancho de banda tiene prioridad, seguido por el menor número de saltos a lo largo del camino. Si todo lo demás es igual, **CSPF** toma un camino al azar y elige el mismo camino **LSP TE** de preferencia. Por lo tanto, la secuencia de pasos en la creación de un túnel **MPLS TE LSP** en la red es el siguiente:

1. El cálculo de **CSPF** se realiza desde el *router* de cabecera sobre la base de los límites definidos en la definición del túnel y los requisitos. Este cálculo se realiza por el **IGP** en uso, ya sea **OSPF** o **IS-IS**.
2. Después el camino **LSP** se calcula utilizando el proceso de **CSPF**, la salida del proceso de **CSPF**, que es un conjunto ordenado de las direcciones **IP** a

las direcciones de la cartografía del próximo salto en la **LSP TE**, se pasa a **RSVP**.

3. **RSVP** ahora realiza la solicitud de reserva de recursos y de confirmación en el **LSP**, según lo definido por el proceso de **CSPF**, para determinar si el **LSP** cumple con los requisitos de los recursos específicos solicitados por la definición del túnel.
4. Después del proceso de **RSVP** recibe un mensaje de reserva, señala que el **LSP** se ha establecido.
5. En esta coyuntura, el túnel **TE** está disponible para usar la **IGP**. De forma predeterminada, la información del túnel no se agrega en el cuadro de enrutamiento, sin embargo, el *router* puede ser configurado de modo que la interfaz del túnel se agrega al cuadro de enrutamiento.

Cuando se vincula el control de admisión, este realiza una comprobación en cada salto en la ruta **LSP** deseada, para ver si los recursos solicitados están disponibles antes de la creación del túnel **TE**. La admisión del vínculo de la función de control se realiza sobre la base del *loopback* con un *router* por cada camino **LSP** para comprobar la disponibilidad de recursos. Si los recursos solicitados están disponibles, el ancho de banda está reservado y el *router* espera el mensaje de reserva para confirmar esta asignación de recursos. Sin embargo, si los recursos solicitados no están disponibles, el **IGP** en uso envía mensajes afirmando falta de disponibilidad de recursos. Vincula el control de admisión a continuación, informando al **RSVP** la falta de recursos, y envía mensajes **RSVP PATHERR** en la cabecera para movilizar los recursos y la notificación de la falta de recursos.

Al configurar **TE** para caminos **LSP** en el control de enlace de admisión, es importante que las prioridades asignadas a los anchos de banda disponibles estén marcadas. Por tanto, si el ancho de banda en cuestión está en uso por un pedido de menor prioridad (prioridades 0-7, con 0 la prioridad más alta), el pedido de menor prioridad puede ser anulado. Si "*Preemption*" es soportada, cada *preempted reservation*, conduce a la creación de *PATHERR* y mensajes *RESVERR* porque la sesión ya no encaja en el perfil de la asignación de recursos.

- **Extensión de OSPF para MPLS TE**

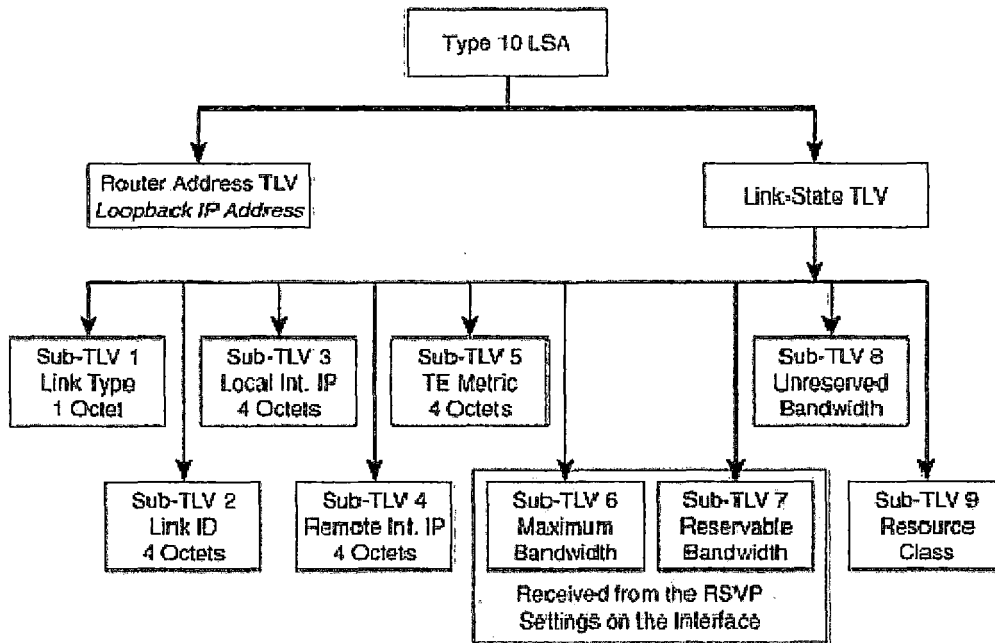
OSPF se puede utilizar como el protocolo de estado de enlace escogido con **MPLS TE** para encaminar la información de asignación de recursos a través de la red mediante la aplicación de extensiones a la versión normal del **OSPF** o vía **LSA** opaco. El tipo de **LSA** opaco en uso se define por el alcance de "inundación" requerido del **LSA**. **OSPF** también posee atributos de **TLV** y sub-**TLV** que se pueden configurar para propagar la información de disponibilidad de recursos de estado de enlace en las actualizaciones de enrutamiento.

LSA opacos son de tipo 9, 10 y 11 y difieren en el alcance de "inundación". **LSA** tipo 9 no "inunda" más allá de la subred local y es de alcance local. **LSA** tipo 10 no "inunda" más allá de la **ABR** y tiene un alcance de área local. **LSA** tipo 11, inunda todo el sistema autónomo (**AS**). *Cisco* actualmente sólo admite **LSA** tipo 10 que tiene ámbito de área local y "inunda" dentro del área.

El **LSA** tipo 10, que se utiliza en **MPLS TE**, tiene una serie de valores **TLV** y sub-**TLV** valores que mapean a recursos específicos de un dominio **TE**. Fig. 3.8

muestra valores de TLV y sub-TLV y los valores apropiados que mapean para habilitar el uso de OSPF con MPLS TE.

Fig. 3.8: TLV OSPF/extensiones TE sub-TLV



Los más importantes valores de sub-TLV relacionados con TE son 6, 7 y 8. Los valores de sub-TLV 6 y 7 son recibidos de la configuración del RSVP en la interface específica. Sub-TLV 8 define el ancho de banda disponible para reserva en cada una de las ocho prioridades. El valor es recibido de las reservas activas.

- **IS-IS extensiones para MPLS TE**

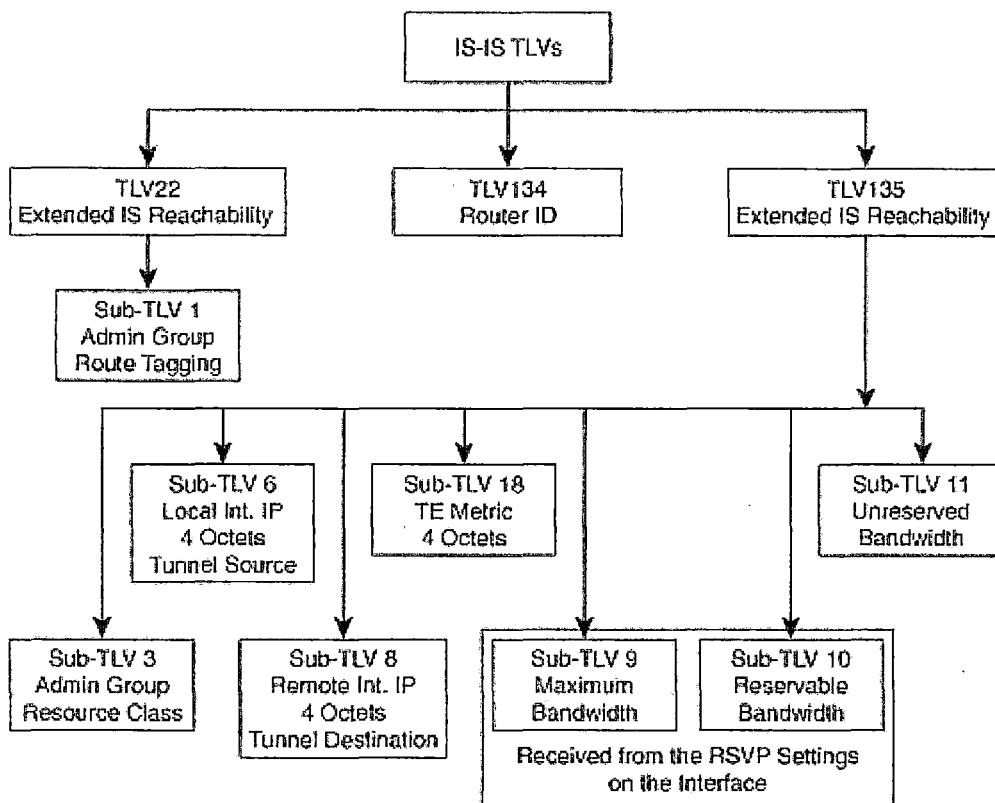
Al igual que OSPF, IS-IS también se puede utilizar como el protocolo de estado de enlace de elección en el dominio TE. IS-IS con extensiones y nuevos TLVs definidos pueden ser utilizados para propagar la información relativa a la

asignación de recursos en un dominio **MPLS TE**. Los siguientes **TLVs** se han definido para el uso de **IS-IS** como el *link state* en un dominio **MPLS TE**:

- **TLV 22: Extensión IS Reachability.** Este **TLV** propaga la información sobre el estado de los enlaces en la red y permite el uso de “amplias” métricas. Además, este **TLV** proporciona información sobre la disponibilidad de recursos, como el ancho de banda de los enlaces.
- **TLV 134: Router ID.** Este **TLV** es usado para identificar el *router* con una dirección **IP** distinta, por lo general una dirección de *loopback*. Las direcciones **IP** de origen y destino utilizadas para identificar y definir los extremos del túnel deben coincidir con el **ID** del *router*.
- **TLV 135: Extensión IP Readability.** Este **TLV** utiliza “amplias” métricas y determina si un prefijo es de nivel 1 o de nivel 2. También permite la señalización de las rutas cuando un prefijo es cambiado del nivel 2 al nivel 1.

Además de los **TLV** que acabamos de mencionar, sub-**TLV** se ha definido la información relativa a asignación de recursos a las actualizaciones de **TE**. Cada sub-**TLV** consta de tres octetos, excepto los mencionados explícitamente en la Fig. 3.9. La mayoría de los sub-**TLV** se definen en el draft-ietf-isis del tráfico xx.txt. La Fig. 3.9 muestra el **TLV** y sub-**TLV** utilizado por **IS-IS** para soporte de la funcionalidad **MPLS TE**.

Fig. 3.9: IS-IS TLV/sub-TLV para MPLS TE



Los TLV claves a observar son sub-TLV 6 y 8, que mapean a los extremos de los túneles o a las direcciones IP de origen y destino que son por lo general las direcciones de *loopback*. Sub-TLV 9 y 10, que mapean a las configuraciones RSVP de una *interface* específica y sub-TLV 11, que mapea a los anchos de banda no reservados por prioridad en una interfaz específica, después de la asignación de recursos efectuadas para las sesiones activas que se han establecido.

3.3.9 Experiencia de simulación

La idea de esta experiencia es mostrar en la práctica, con simulación, algunas de las características de la Ingeniería de Tráfico. Para las pruebas de laboratorio se ha utilizado el *software* simulador de redes **OPNET Modeller**, de la firma americana **OPNET**, desarrollado por el Instituto de Tecnología de *Massachusetts* (**MIT**) – USA, aprovechando los recursos de **TE** del **MPLS** disponible en esta versión de **OPNET**.

- **La Experiencia y topología de pruebas**

Como es ampliamente conocido, cuando un tráfico "sensible" a congestión (**TCP**) comparte un enlace común con un tráfico no sensible (**UDP**), un aumento de congestión del **UDP** afecta adversamente el tráfico sensible (Debido al mecanismo de control de congestión del **TCP**). En este documento usamos un escenario de red como ejemplo para ilustrar los beneficios de usar la Ingeniería de Tráfico de **MPLS** y de **QoS** en la eliminación de los efectos indeseables de mezclar flujos sensibles y no sensibles a congestión. Usamos un flujo de datos **UDP** para representar un flujo de tráfico de datos no sensible y flujos de datos **TCP** para representar flujos de tráfico sensibles. La idea es efectuar un análisis comparativo de los siguientes escenarios: 1) Red IP convencional sin **MPLS**); 2) Una red con 2 **LSPs**, uno para flujos puros sensibles, y otro para uso combinado, uno para congestión no sensible y otro para congestión sensible y 3) Una red con 3 **LSPs**, uno por cada flujo de tráfico y diferenciación de tráfico usando el meca-

nismo **WFQ** (*Weighted Fair Queueing*) en el enlace que transporta ambos traficos, sensible y no sensible basado en el *throughput* conseguido por el flujo insensible a congestión y el sensible a congestión cuando comparten los recursos de red.

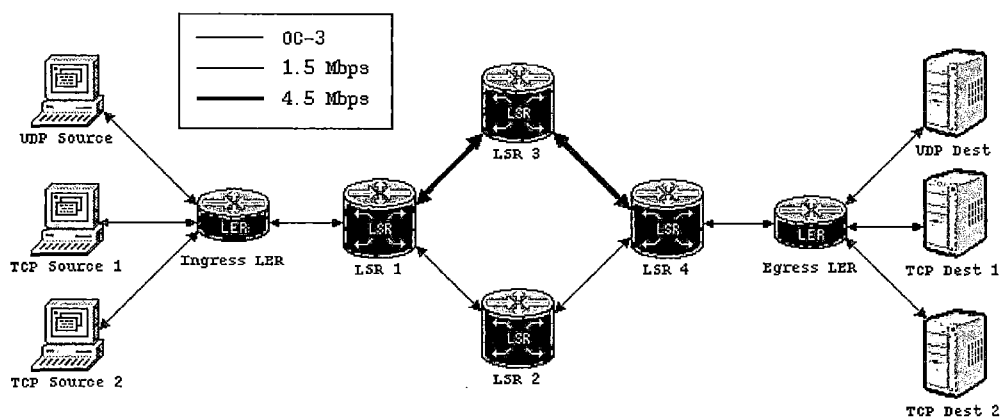
- **Topología de la red**

Esta sección explica el modelo de red usado en este trabajo de tesis. La meta es la generación de una mezcla de flujos de tráfico sensible y no sensible a congestión y estudiar la *performance* de la red con y sin ingeniería de tráfico implementada a través de **MPLS**. Para esto, esta red tiene los componentes principales a seguir indicados: 1) Tráficos fuente/destino: Una fuente de tráfico no sensible a congestión (fuente **UDP**) generando un tráfico variable de 1.5 **Mbps** hasta 4.0 **Mbps**, y dos fuentes de tráfico sensibles a congestión, llamadas de fuente 1 **TCP** y fuente 2 **TCP**, generando cada una 1.5 **Mbps** de tráfico a ser enviadas entre los nodos de las fuentes de tráfico en los nodos respectivos de destino. Todas las estaciones terminales son totalmente compatibles **TCP/IP**, y en el evento de detectar congestión, las fuentes **TCP** reducirán sus flujos de tráfico de entrada de acuerdo con sus mecanismos de control de congestión.

La red de borde (*edge*), en los lados de fuente y destino consiste de un **LER** conectado a la red de núcleo (*Core*). Esta red núcleo, consiste de 4 **LSRs** conectados a través de 2 enlaces paralelos de 4.5 y 1.5 **Mbps**. La red de borde está configurada para operar en OC3 (155 **Mbps**) de forma que no introduce cualquier congestión. Todos los *routers* **LERs** y **LSRs** están configurados de forma tal que sus características **MPLS** son habilitadas solamente cuando **LSPs** son definidos en la red. Cuando no son definidos los **LSPs**, los *routers* se

comportan de la manera tradicional **IP** y usaran las rutas anunciadas por el protocolo de enrutamiento usado, en este caso **OSPF**. Debido a la grande banda de los enlaces entre **LSR1** y **LSR3** y **LSR3** y **LSR4**, la ruta por defecto usada para ir del *router* de ingreso al *router* de egreso será de **LSR1** a **LSR3** a **LSR4**. Los resultados están focalizados en el *throughput* (*bits/seg*) obtenidos en las *interfaces* de salida a los varios destinos del *router* de egreso (**LER**). Varias otras métricas pueden ser usadas incluido tiempo de respuesta, numero de retransmisiones **TCP**, tráfico descartado, etc.

Fig. 3.10: Topología básica

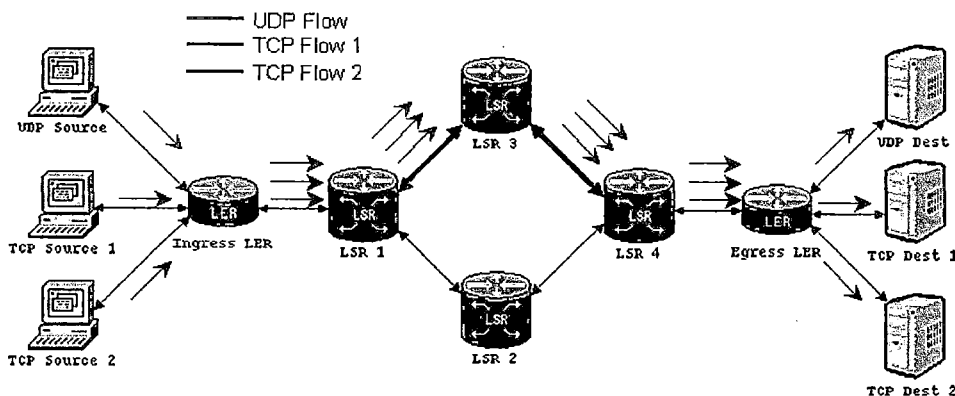


- **Escenario 1: Red convencional IP sin MPLS**

En este caso no existe ningún recurso de **MPLS TE** habilitado y la red se comporta de forma convencional. La meta es obtener resultados que sirvan como referencia para analizar los efectos del incremento de los flujos no sensible a congestión sobre los sensibles. Fueron efectuadas varias simulaciones incrementando el tráfico generado por **UDP** de **1.5 Mbps**, **2.0 Mbps**, **2.5 Mbps**, **3.0 Mbps**, **3.5 Mbps** y **4.0 Mbps**. Los 3 flujos pasando por la ruta: *Router* de

ingreso, LSR1, LSR3, LSR4 y Router de egreso. Los resultados se muestran en las figuras 4.1 a 4.4.

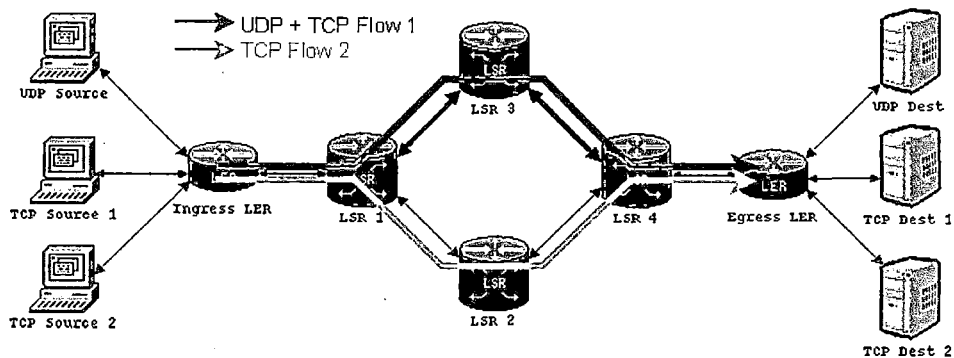
Fig. 3.11: Escenario 1



4 Escenario 2

En este escenario un LSP es configurado para transportar tráfico de la fuente TCP 1 y de la fuente UDP y es fijado a la ruta de alta banda en la red de núcleo. El segundo LSP transportara solo flujo TCP o sea el TCP source 2, a través de un camino diferente. La Ingeniería de Tráfico encaminará el tráfico del TCP 2 a través de red de núcleo sin permitir pérdida de *throughput* debido al incremento del tráfico UDP. Sin embargo el tráfico de TCP 1, estará sujeto al comportamiento observado en el escenario 1. Los resultados para las diferentes cargas UDP son mostrados en las Figuras 4.5 a 4.8.

Fig. 3.12: Escenario 2

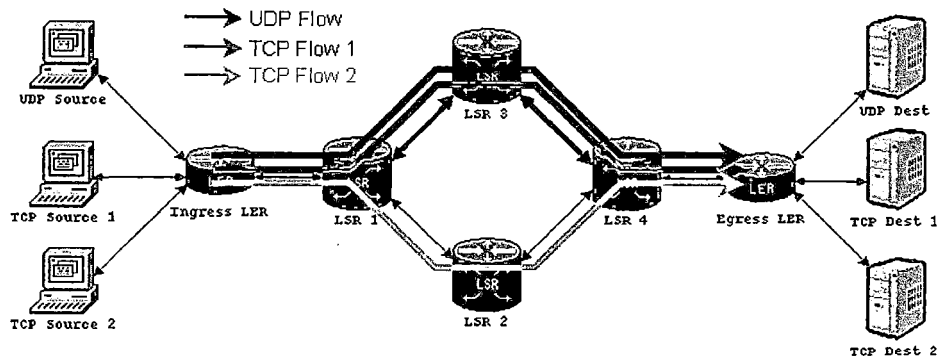


5 Escenario 3

La red del escenario 2 ha sido mejorada para tener un **LSP** separado para cada flujo de tráfico. **LSPs** individuales han sido configurados para transportar cada uno, uno de los 3 diferentes flujos de tráfico. Hay 2 **LSPs** separados, uno para **TCP 1** y fuente **UDP** encaminados a través del camino de gran ancho de banda en la red de núcleo. El **TCP 2** fluye a través de red *core* afectado por cualquier otro tráfico por estar configurado para ir por porciones de la red descongestionados. Pero ellos permanecen compartiendo recursos comunes.

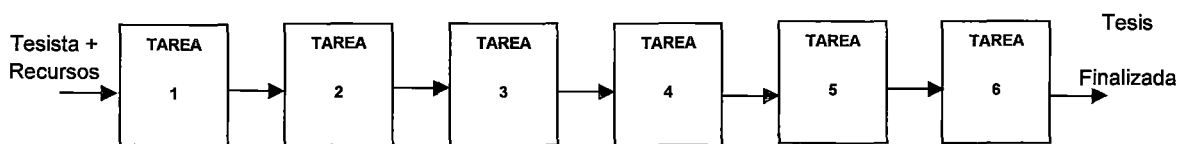
Para tratar los flujos **TCP** y **UDP** de una forma aislada ha sido habilitado el mecanismo de filas **WFQ** en la interface de salida del **LSR 1**. La configuración del **WFQ** es tal que alta prioridad es dada al tráfico **TCP** sobre el tráfico **UDP** en una relación 10:1.

Fig. 3.13: Escenario 3



3.4 Metodica de cada momento de la Investigación

Las tareas que se realizaron para alcanzar el objetivo se presentan a continuación:



Tarea 1: Para desarrollar este proyecto, el primer paso fue realizar un estudio general de **VoIP**, para conocer sus protocolos, sus estándares, sus requerimientos, su funcionamiento, etc., esto es necesario para contextualizar el desarrollo del trabajo.

Tarea 2: El segundo paso es uno de los más importantes y trata de estudiar las recomendaciones de la **ITU-T** que se utilizó como referencia para realizar la comparación de la respuesta del *software* **OPNET MODELLER**.

Tarea 3: El tercer paso consistió en realizar un estudio general de la **QoS** en redes de voz y video, para identificar los requerimientos, las problemáticas, etc., para evaluar el comportamiento a través del *software* **OPNET MODELLER** y contrastarlo con las recomendaciones de la ITU-T.

Tarea 4: El cuarto paso consistió en realizar tres simulaciones con diferentes redes **LAN** enlazadas entre sí utilizando el programa **OPNET MODELLER** recopilando toda información y resultados obtenidos con el fin de tener toda la información disponible para formar el cuerpo del documento de la tesis.

Tarea 5: El quinto paso consistió en formar el documento de tesis a partir de todos los resultados obtenidos en los pasos anteriores.

3.5 Operacionalización de variables

- X = métricas de **QoS** (IPDT = métrica de retraso, IPDV = métrica de la variación de retraso (*jitter*), IPLR = métrica pérdida de paquetes).
- Y = Recursos de TE.

$$X = f(Y) \implies \text{QoS} = f(\text{IPDT}, \text{IPDV}, \text{IPLR})$$

3.6 Población y muestra

Dado el carácter mundial de la *Internet*, cualquier usuario de la red y clase de usuario podrá caracterizar este ítem (por tipo de tráfico transportado).

3.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Análisis documental y por simulación.

3.8 Procedimientos de recolección de datos

Los datos fueron colectados por cada experiencia de simulación.

3.9 Procesamiento estadístico y análisis de datos

No aplicable visto el carácter descriptivo del trabajo.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Resultados parciales

Esos resultados no fueron considerados en las simulaciones.

4.2 Resultados finales

Las Fig.4.1 a 4.4 muestran los resultados del escenario 1.

Fig.4.1: Todos los flujos generan 1.5Mbps

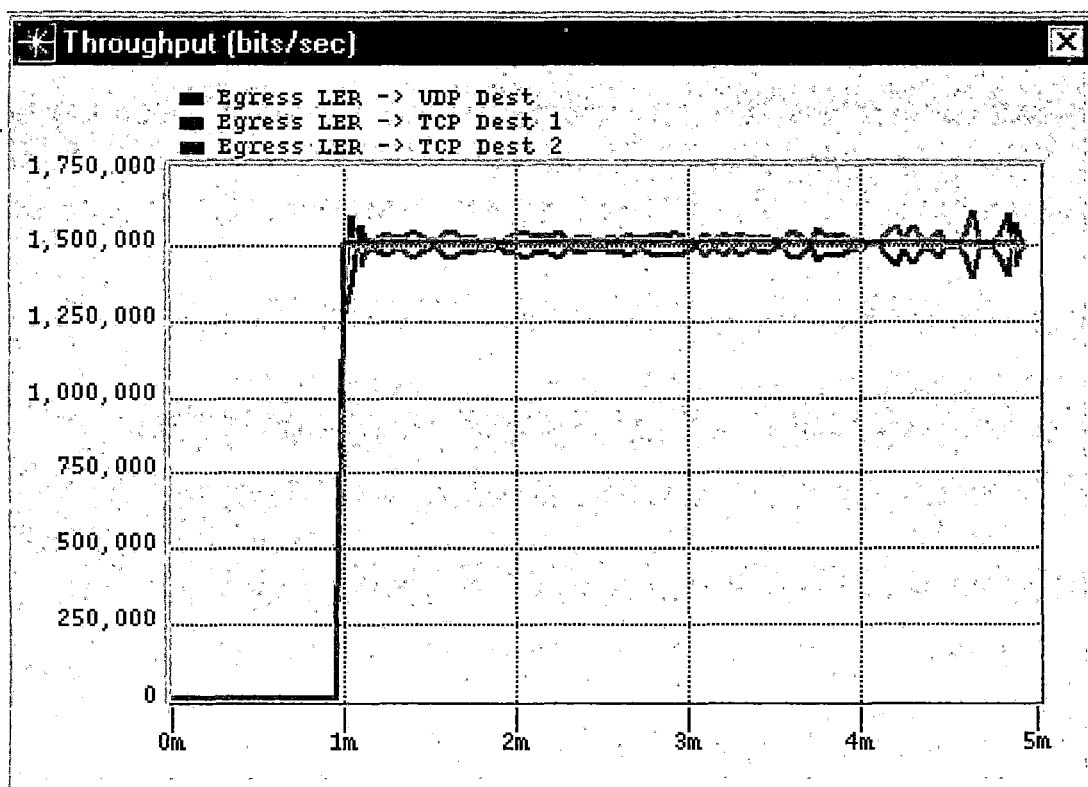


Fig.4.2: Flujo UDP aumentado a 2.5 Mbps

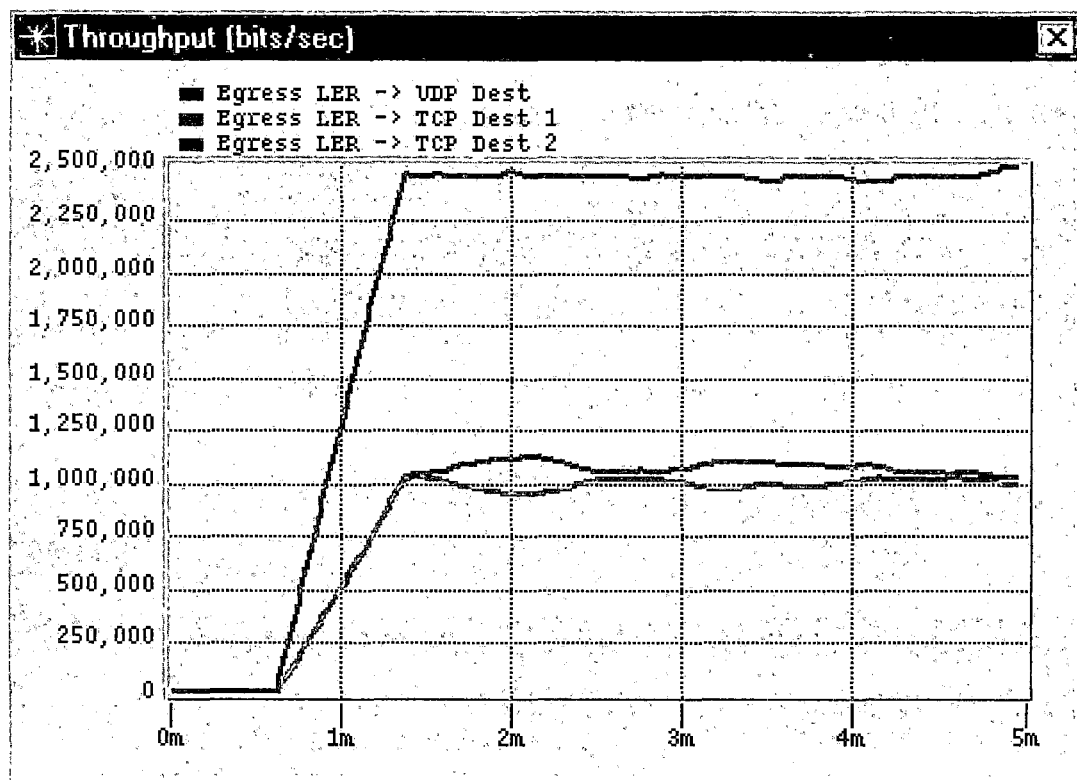


Fig. 4.3: Flujo UDP aumentado a 3.5 Mbps

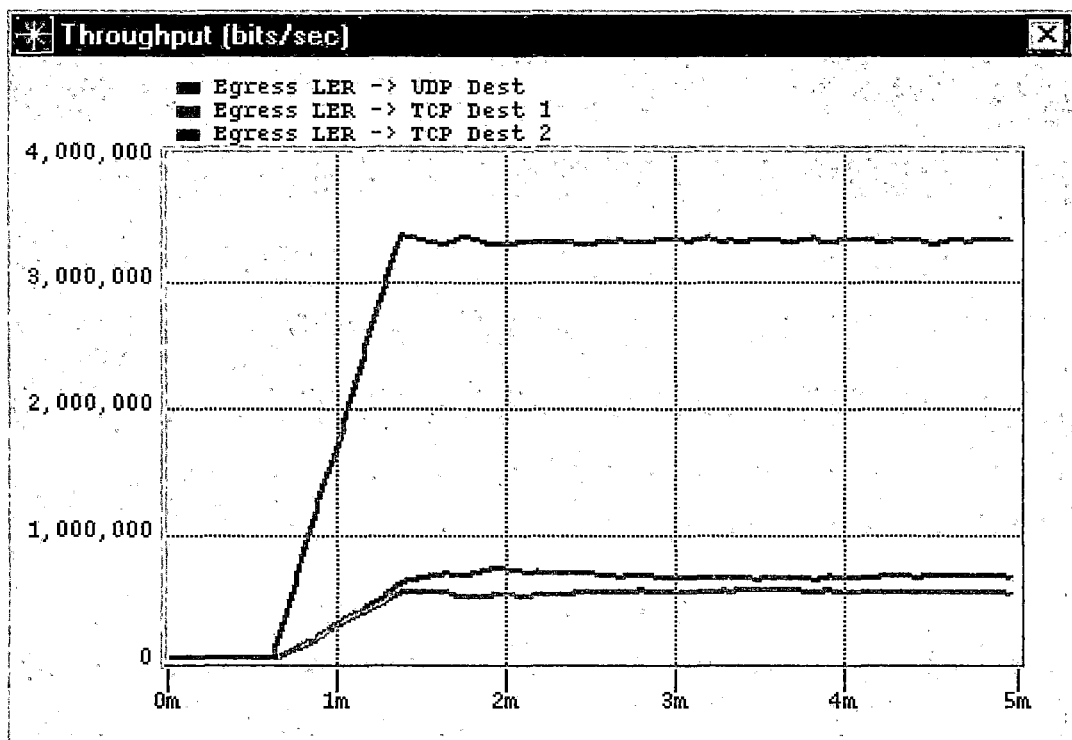
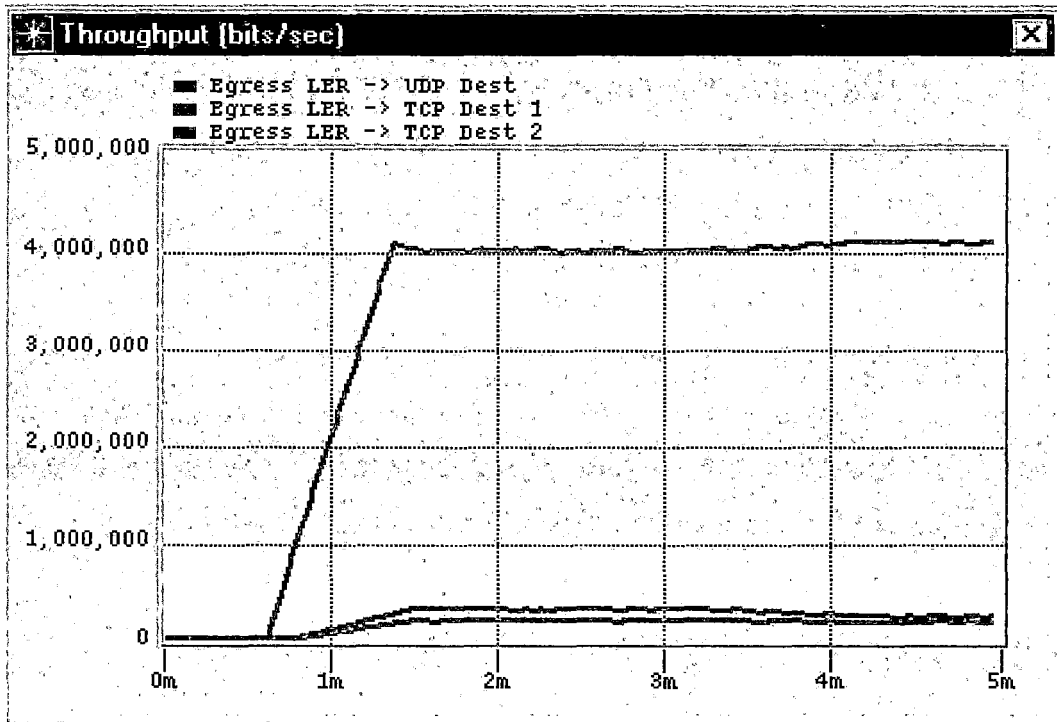


Fig. 4.4: Flujo UDP aumentado a 4.0 Mbps



Las Fig. 4.5 a 4.8 muestran los resultados del Escenario 2.

Fig.4.5: Todos los flujos generan 1.5 Mbps

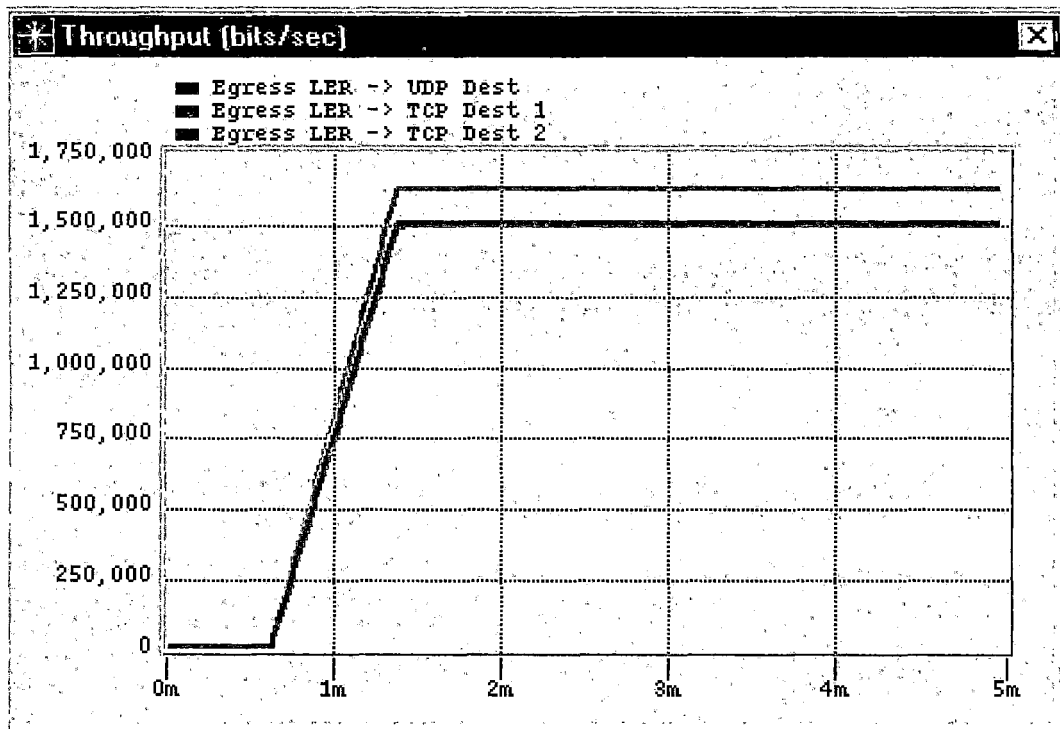


Fig. 4.6: Flujo UDP aumentado a 2.5 Mbps

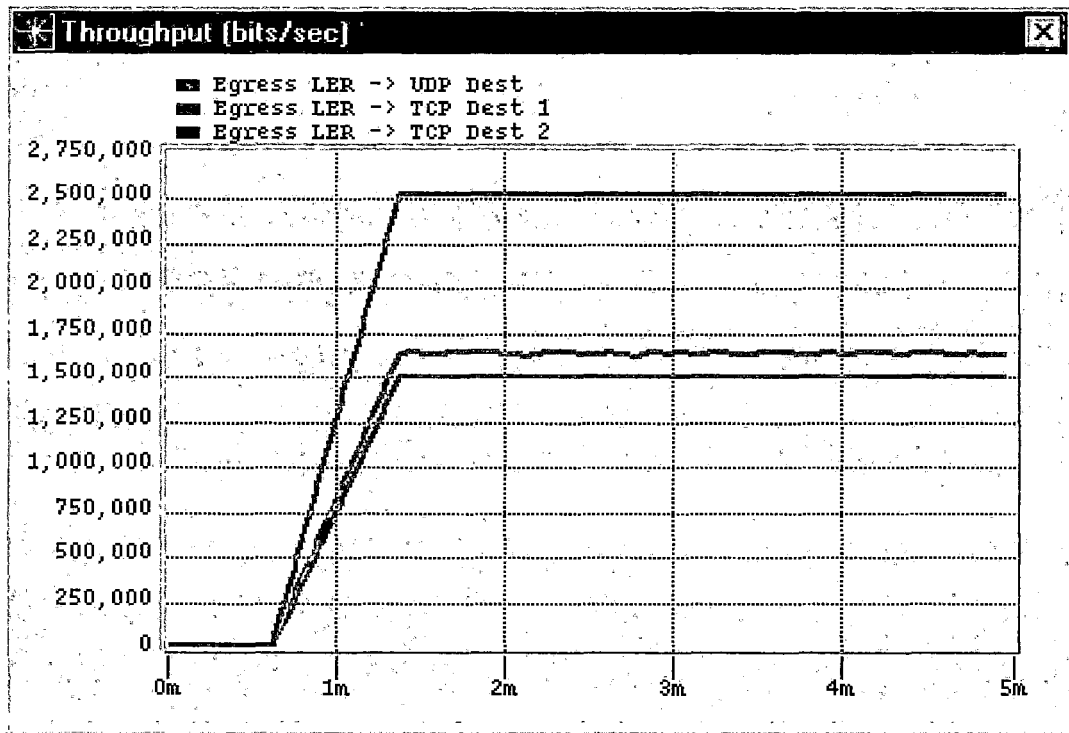


Fig. 4.7: Flujo UDP aumentado a 3.5 Mbps

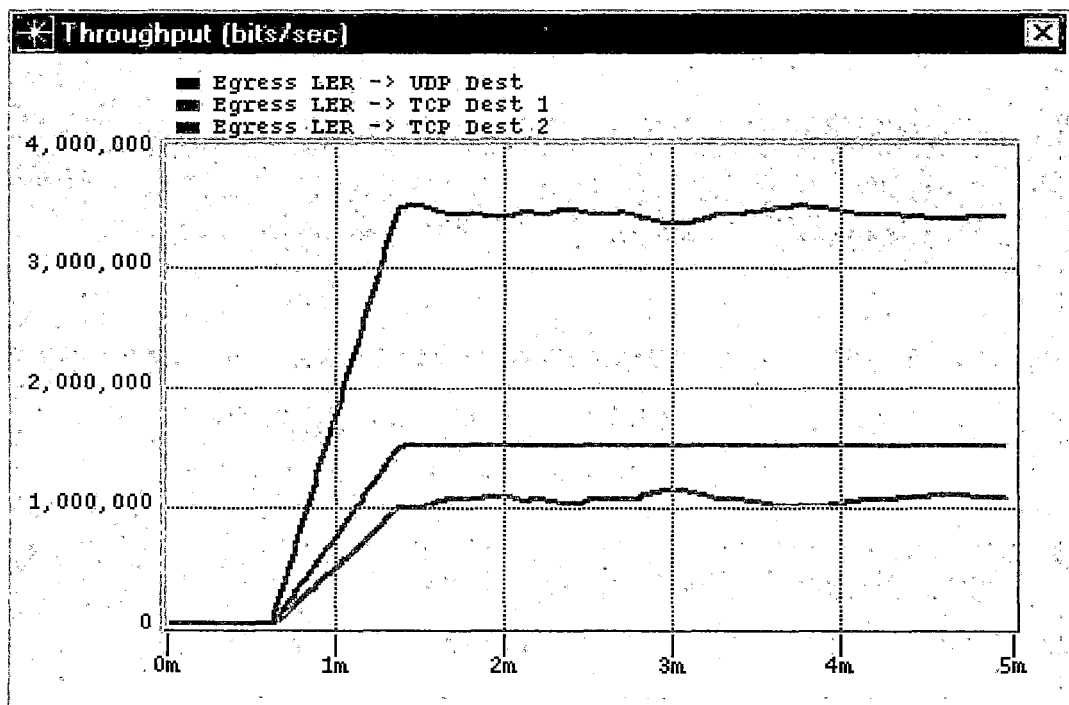
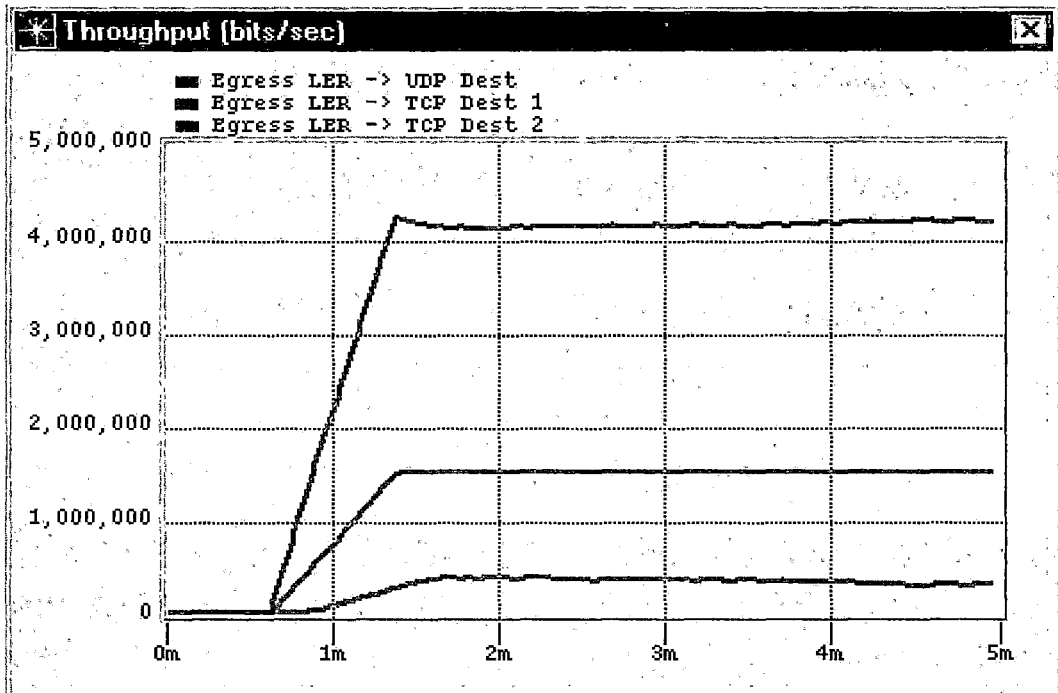


Fig.4.8: Flujo UDP aumentado a 4.0 Mbps



Las Fig. 4.9 a 4.12 muestran los resultados del escenario 3.

Fig. 4.9: Todos los flujos generan 1.5

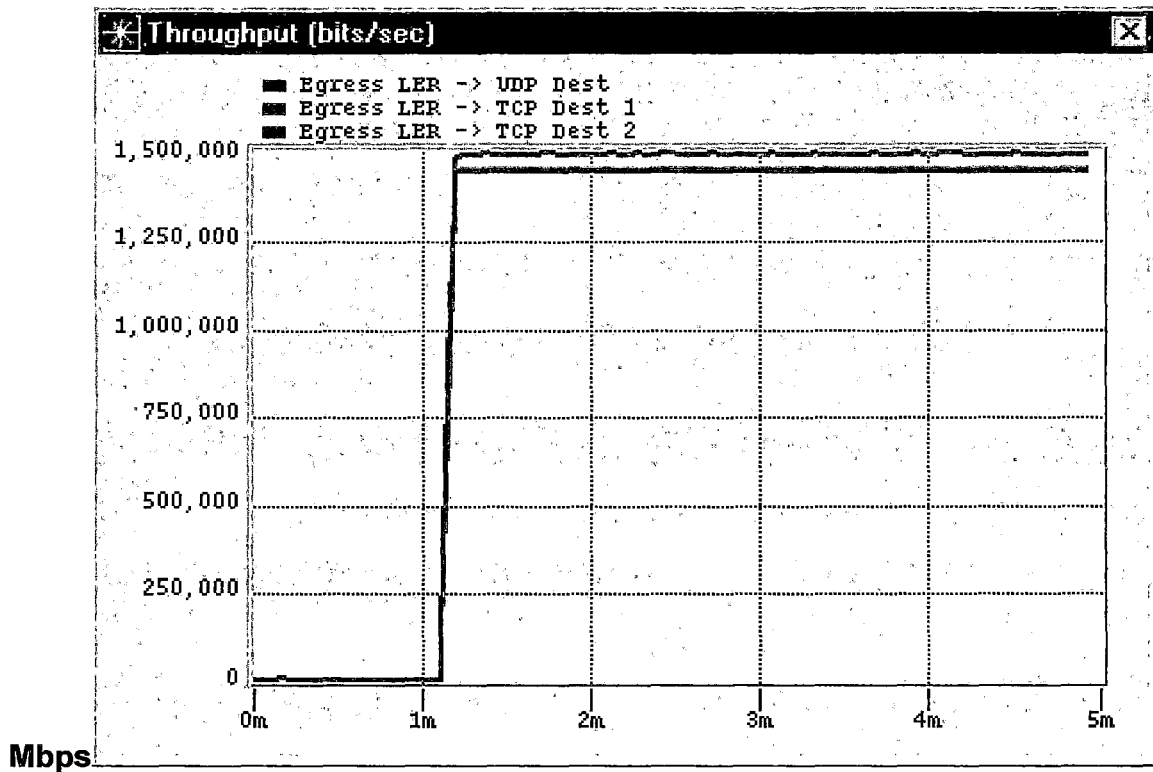


Fig. 4.10: Flujo UDP aumentado a 2.5 Mbps

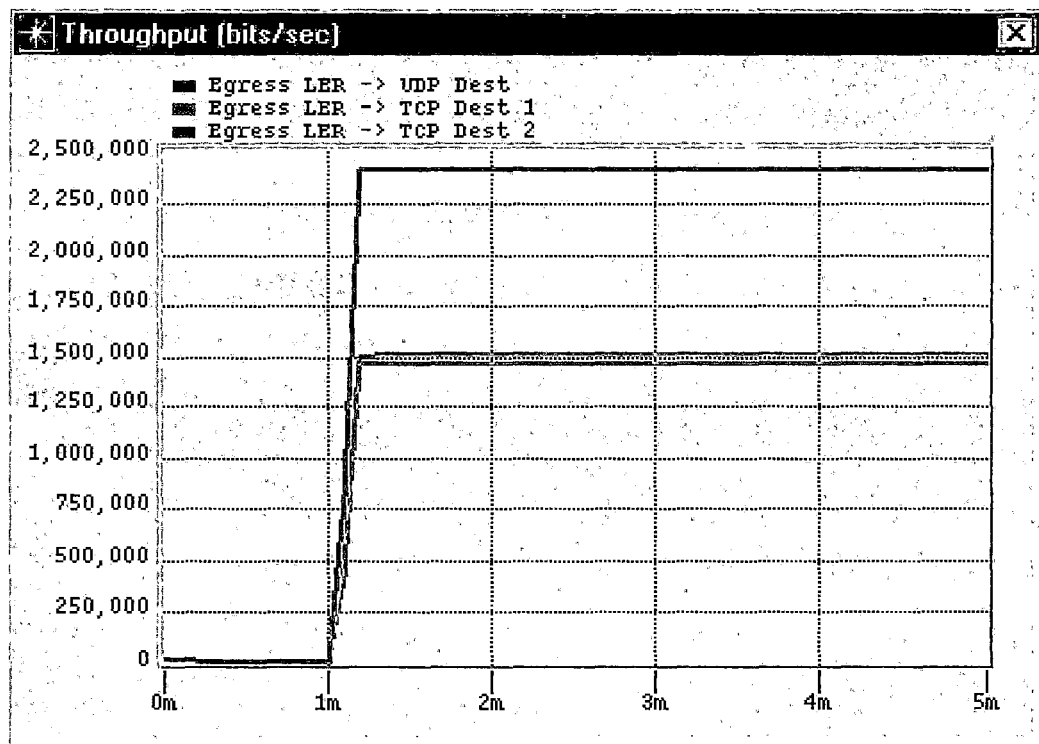


Fig. 4.11: Flujo UDP aumentado a 3.5 Mbps

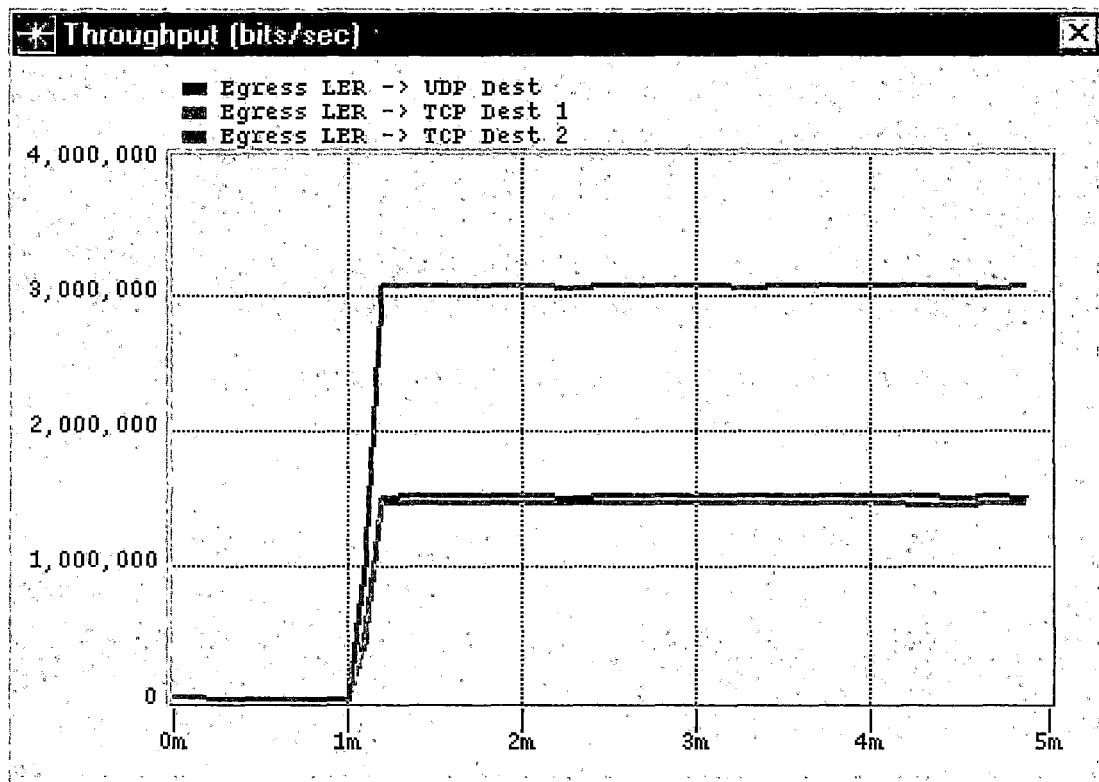
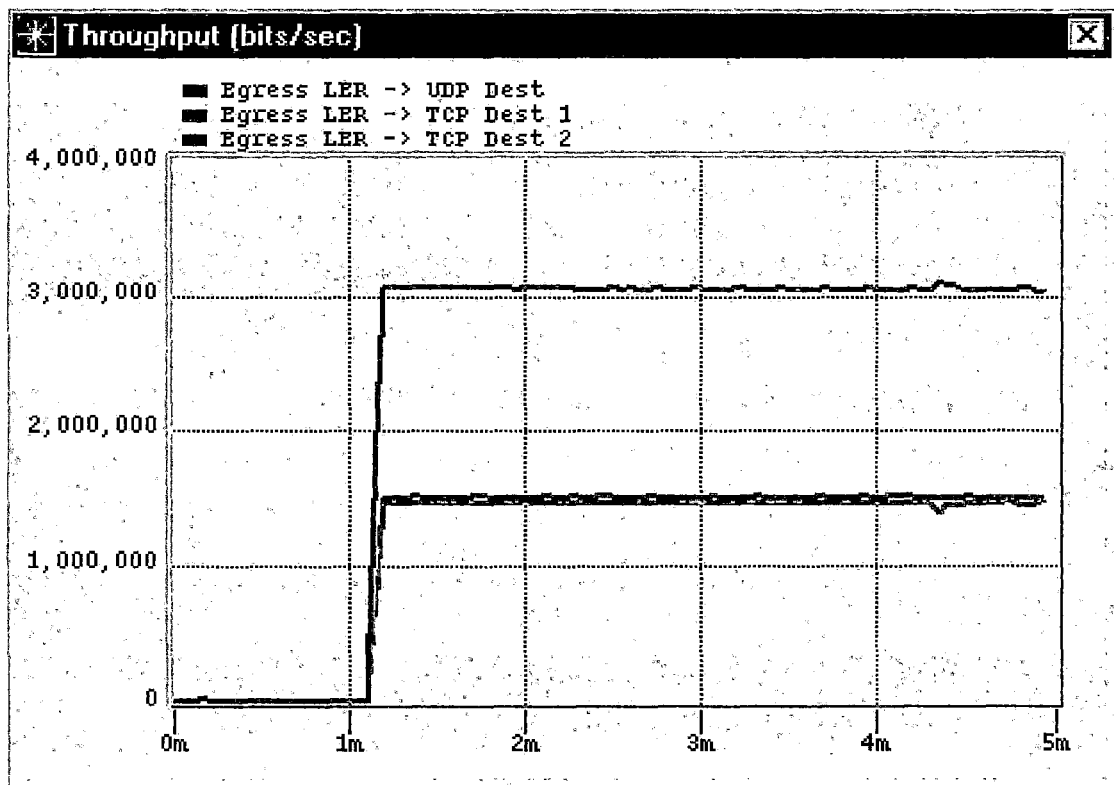


Fig. 4.12: Flujo UDP aumentado para 4.0 Mbps



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Contrastación de la hipótesis con los resultados

Los gráficos resultantes muestran la gran facilidad de entendimiento de los parámetros simulados y la facilidad de visualización y entendimiento de los resultados, de esta forma reforzando su potencial de aplicación en la tesis de maestría. Su mayor divulgación y utilización ciertamente incrementara su uso en el área académica.

5.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares

Existen básicamente dos tipos de simuladores de redes muy usados: El ns-2, de dominio público y el **OPNET**, simulador comercial y ofrecido en varios modelos. La versión utilizada es la llamada **OPNET MODELLER** versión Académica, liberada para fines académicos, muy poderosa en términos de bases de datos de *routers*, **LANs** y equipos de redes en general. En cuanto a los estudios efectuados existen una infinidad de similares que usan desde simuladores hasta equipos reales para su implementación. Este trabajo encaja perfectamente en el ámbito de los más divulgados y adecuados para fines académicos, pues estos dos resultados generados complementan los conceptos teóricos de aulas de clase.

CONCLUSIONES

Es muy importante resaltar que todas las informaciones de este trabajo utilizan como protocolo de enrutamiento el algoritmo de ruteo **OSPF**. Esto no afecta en nada la funcionalidad de los conceptos mencionados pues un análisis similar podrá ser efectuado para otros algoritmos de ruteo.

En cuanto a los objetivos propuestos durante el desarrollo de este trabajo, éstos se fueron dando a medida que el proyecto avanzaba, no habiéndolos determinados desde un principio. Antes de empezar a trabajar formalmente en el proyecto, sabía que la idea era en términos generales, el crear un conjunto de informaciones que diera condiciones a los usuarios de visualizar su red y disponer de ciertos mecanismos de Ingeniería de Tráfico al momento de establecer los **LSP** de modo de poder satisfacer los distintos niveles de **QoS** solicitados. Llegado al final del proyecto y mirando hacia atrás, podemos ahora distinguir claramente los distintos objetivos alcanzados. El primero fue el definir el tema a ser tratado que entre otras cosas no sea muy difundido en nuestro medio pero que sea de relevancia en el área de telecomunicaciones. El segundo fue el análisis de los algoritmos que permitieran al usuario distintas alternativas por dónde rutear los **LSP** que atenderán a cada nueva demanda entrante a la red, de manera que se ajuste de la mejor manera a sus necesidades. Esto es para el caso donde se tiene una red con varios **LSP** ya establecidos o no y queremos determinar por dónde irán los nuevos **LSP** a medida que llegan uno a la vez las nuevas demandas. Como tercer objetivo, se tuvo el cuidado de ofrecer los conceptos teóricos sin muchos detalles matemáticos pero sin olvidar el nivel del grado al cual se destina.

Finalmente, como cuarto y último objetivo, se planteó la inclusión de un laboratorio de forma a visualizar mejor los aspectos presentados. Lamentablemente por la falta de equipos adecuados esto no fue posible de ser efectuado con equipos reales pero felizmente disponemos del *software* de redes para simulación, efectuado e incluido en el capítulo VIII. De forma general, en cuanto a los objetivos planteados, podemos decir que se llegó a cumplir todos de manera satisfactoria. El problema del establecimiento de los **LSP** fue abordado utilizando varios algoritmos como, ruteo explícito, **CSPF**, **MIRA** y **Fairness**. Espero finalmente que este trabajo sea considerado como el primero dentro de una serie cada vez más completa y profunda de conocimientos en el área de redes y sirva como referencia y ayuda para el área académica para aumentar la participación y colaboración para la producción científica en nuestro medio incentivando su complementación en otros trabajos futuros y participación en congresos, conferencias, seminarios, etc.

En cuanto a los resultados de la simulación podemos comentar lo siguiente: Las Fig. 4.1 a 4.4, los resultados de la simulación del escenario 1, muestran que el aumento del tráfico **UDP**, enviado por la "**UDP source**" cuando es aumentado por encima de un cierto valor mayor que la capacidad combinada de carga **TCP** y **UDP** que es mayor que la de un enlace de núcleo (**LSR1** a **LSR3**), el tráfico recibido por los destinos **TCP** comienza a reducirse. Esto debido a que los flujos **TCP** orientados a conexión, bajan su tráfico de entrada cuando las fuentes de **TCP** detectan congestión. Esto demuestra que el tráfico no sensible a congestión no es penalizado por la congestión en la red, sufre en función de la magnitud de forma que su *throughput* es casi reducida a cero cuando la entrada del tráfico **UDP** es igual a la capacidad del núcleo de la red.

En el escenario 2, el proyecto de **TE** permitirá al tráfico del **TCP source 2**, fluir a través del núcleo de la red sin cualquier pérdida de *throughput* debido al incremento del tráfico **UDP**. Sin embargo el tráfico del **TCP source 1**, permanece sujeto al comportamiento observado en el escenario 1. Esto nos quiere decir que el **MPLS-TE**, puede ser usado para dirigir el tráfico de recursos congestionados a áreas descongestionadas. Además de eliminar casi por completo, el **MPLS-TE** también ayuda en la mejora de la *performance* del tráfico permanente en las áreas congestionadas de la red. Se observa también que el *throughput* generado por el “**TCP source 2**” permanece inalterado por el incremento del tráfico **UDP**, en cuanto que el tráfico generado por el “**TCP source 1**” se reduce en la proporción que el **UDP** aumenta. Una ventaja adicional del **TE** del “**TCP source 2**” es que el tráfico del “**TCP source 1**” tiene ahora condiciones para usar más recursos de la red y sufre solamente a muy altos flujos de tráfico **UDP**.

En el escenario 3, la **TE** diseñada integrada con soporte de **QoS (WFQ)**, permite al tráfico de “**TCP source 1**” fluir a través del núcleo de la red sin tener pérdida de *throughput* debido al incremento del tráfico **UDP** ni por otro flujo debido a que ha sido también priorizado. El flujo “**TCP source 2**” también permanece inalterado.

El tráfico **UDP** comienza a mostrar degradación, cuando la carga combinada de **TCP + UDP** es mayor que la banda disponible en el enlace. Este caso demuestra que incorporando recursos de **QoS** se mejora significativamente la *performance* de la red como un todo, manteniendo el *throughput* del tráfico sensible a congestionamientos. Se observa también que para el tráfico generado

por "TCP source 1" permanece inalterado cuando se incrementa el flujo de tráfico UDP debido al aislamiento del tráfico sensible a congestión de los otros tráficos usando **MPLS LSP**.

Finalmente se puede concluir que el **MPLS** proporciona ventajas significativas en lo relacionado con Ingeniería de Tráfico. Asimismo, siendo un análisis simulado, los escenarios analizados demuestran que la utilización de los recursos de red pueden ser optimizados utilizando **MPLS-TE** y **QoS**. Entonces es muy importante incorporar mecanismos de **TE** dentro de una red para optimizar los recursos de la misma y para respetar los **SLAs** (*Service Level Agreements*) para flujos de tráficos sensibles a congestionamiento y al mismo tiempo reducir el impacto del tráfico no sensible a congestionamiento.

Asimismo, podemos concluir que la Ingeniería de Tráfico con **MPLS** está diseñado para poder brindar servicios diferenciados, las cuales se pueden realizar directamente sobre una red IP, todo ello de manera más flexible y con menores costos de planificación y gestión para el Administrador de la Red y obviamente con mayor calidad de servicio para los clientes que finalmente son la razón de ser de todos nosotros.

RECOMENDACIONES

La Ingeniería de Tráfico (TE) es una disciplina que procura la optimización de la *performance* de las redes operativas. Abarca la aplicación de la tecnología y los principios científicos a la medición, caracterización, modelado, y control del tráfico que circula por la red. Las mejoras del rendimiento de una red operacional, en cuanto a tráfico y modo de utilización de recursos, son sus principales objetivos.

Esto se consigue enfocándose en los requerimientos del rendimiento orientado al tráfico, mientras se utilizan los recursos de la red de una manera fiable y económica. Una ventaja práctica de la aplicación sistemática de los conceptos de Ingeniería de Tráfico a las redes operacionales es que ayuda a identificar y estructurar las metas y prioridades en términos de mejora de la calidad de servicio ofrecida a los usuarios finales de los servicios de la red. También la aplicación de los conceptos de Ingeniería de Tráfico ayuda en la medición y análisis del cumplimiento de éstas metas.

REFERENCIALES

A continuación se presentan los principales documentos analizados en este trabajo.

[1] A New Bandwidth Guaranteed Routing Algorithm for MPLS Traffic Engineering.

Autores: Bin Wang, Xu Su y C.L. Philip Chen. Noviembre 2002.

[2] D. Awduche, J. Malcolm, J. Agogbua, M. O'Dell, J. McManus, "Requirements for Traffic Engineering Over MPLS", RFC 2702, September 1999.

[3] Data Networks: Routing, Security, and Performance Optimization. Capítulo 8: Quality of Service. Autor: Tony Kenyon. Año 2002.

[4] E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon, "Multiprotocol Label Switching Architecture", RFC 3031, January 2001.

[5] Minimum interference routing with applications to MPLS traffic engineering. Proceedings of International Workshop on QoS. Pennsylvania. Autores: M. Kodialam y T.V. Laksham. Junio 2000.

[6] MPLS: Technology and Applications. Capítulo 7: Constraint-Based Routing. Autores: Bruce Davie y Yakov Rekhter. Año 2000.

[7] NetScope: Traffic Engineering for IP Networks. Paper de AT&T Labs. Autores: Anja Feldmann, Albert Greenberg, Carsten Lund, Nick Reingold y Jennifer Rexford. Marzo 2000.

[8] P. Bhaniramka, W. Sun, R. Jain, "Quality of Service using Traffic Engineering over MPLS: An Analysis", September 2000.

[9] Request for Comments (RFC): 3272. Visión y Principios de la Ingeniería de Tráfico en Internet. Autores: D. Awduche, A. Chiu, A. Elwalid, I. Widjaja, X. Xiao. Mayo 2002.

[10] Routing, Flow and Capacity Design in Communication and Computer Networks. Capítulo 8: Fair Networks. Autores: Michal Pioro y Deepankar Medhi. Año 2004.

[11] S. Floyd and K. Fall, "Promoting the Use of End-to-End Congestion Control in the Internet", IEEE/ACM Transactions on Networking, August 1999.

ANEXOS

1. Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	MÉTODOS
<p style="text-align: center;"><u>General</u></p> <p>La red <i>internet</i> no ha sido diseñada para usar recursos de ingeniería de tráfico de forma "<i>default</i>".</p> <p style="text-align: center;"><u>Específico</u></p> <p>Dentro de los nuevos servicios solicitados en aplicaciones de voz, de video, de videoconferencia, se requiere un modelo diferente para la gestión y control del tráfico sensible a retrasos (TE).</p>	<p>a. <u>Objetivo Científico</u></p> <p>Conocer las teorías científicas, tecnológicas y experimentales para aprovechar los recursos de TE aplicados en la transmisión de información a través de la <i>internet</i>.</p> <p>b. <u>Objetivo Tecnológico</u></p> <p>Incrementar la utilización de las aplicaciones multimedia optimizando los parámetros de QoS, desarrollando nuevas formas de gestión del flujo de información que se transmite en la <i>internet</i>.</p> <p>c. <u>Objetivo Experimental- Documental (opc.)</u></p> <p>Modelar la simulación de los servicios multimedia utilizando el aplicativo OPNET MODELLER entre dos puntos de la <i>internet</i> obteniendo mapas del comportamiento de los parámetros de la calidad del servicio.</p>	<p>"La aparición de nuevos servicios en la <i>internet</i> en tiempo real implica la investigación y creación de nuevas tecnologías que SOPORTEN los servicios de voz, audio, imágenes en la <i>internet</i> y que Controlen los parámetros de QoS.</p>	<p style="text-align: center;"><u>Variable X</u></p> <p>Atraso, <i> jitter</i>, pérdida de paquetes, ancho de banda.</p> <p style="text-align: center;"><u>Variable Y</u></p> <p>QoS = f (atraso, <i> jitter</i>, pérdida de paquetes ancho de banda).</p>	<p style="text-align: center;"><u>General</u></p> <p>En lo científico y tecnológico se revisaran los modelos teóricos y prácticos existentes, y los nuevos servicios multimedia comparando las tecnologías en cuanto al uso de los nuevos protocolos de gestión y transmisión.</p> <p style="text-align: center;"><u>Específica</u></p> <p>En cuanto a la utilización de los nuevos servicios videoconferencia, VoIP, video será analizados con y sin recursos de Ingeniería de tráfico (menor retardo, pérdida de paquetes y mejor utilización del ancho de banda).</p>