

# **Análisis de configuraciones en el núcleo de una red NGN para garantizar QoS**

## ***Analysis of configurations in the NGN Core to guarantee QoS***

Juan Carlos Cuéllar Quiñónez. MSc(C)  
Universidad Icesi - Colombia  
jcuellar@icesi.edu.co

Fecha de recepción: 15-02-2010

Fecha de selección: 30-04-2010

Fecha de aceptación: 12-04-2010

### **ABSTRACT**

The quality of service has become a vital issue for service providers, but their analysis has been oriented to the configuration in the interconnectivity devices mainly. The article presents the data analysis from a series of simulations for a NGN with MPLS cores, which together are configured QoS mechanisms with specific configurations within the core network. Additionally we present the data analysis from experimental setup laboratory similar characteristics to the simulated pattern.

### **KEY WORDS**

CQ, IPTD, IPDV, LSP, MPLS, PQ, QoS, TR-126, Y.1540, Y.1541.

### **RESUMEN**

La calidad de servicio se ha convertido en un tema de vital importancia para sus proveedores, pero su análisis ha estado orientado principalmente a la configuración en los dispositivos de interconectividad. El artículo presenta el análisis de los datos obtenidos en una serie de simulaciones realizadas en el núcleo de una red NGN con tecnología MPLS, donde de manera conjunta se han configurado mecanismos de calidad de servicio con configuraciones específicas dentro de la red de núcleo. Adicionalmente se presentan los análisis de los datos obtenidos en un montaje experimental de laboratorio de similares características al esquema simulado.

**PALABRAS CLAVE**

CQ, IPTD, IPDV, LSP, MPLS, PQ, QoS, TR-126, Y.1540, Y.1541.

**Clasificación Colciencias:** Tipo 1

– Artículo de investigación científica tecnológica.

## INTRODUCCIÓN

Con la evolución de las redes de datos tradicionales a redes de próxima generación ofrecer calidad de servicio se ha convertido en un tema crucial, debido a que múltiples aplicaciones, con diferentes características de funcionamiento, compiten por el uso del ancho de banda de los enlaces al interior de la red de núcleo. Esta situación lleva a que en determinado momento las aplicaciones no funcionen de manera adecuada y causen insatisfacción al usuario.

Múltiples autores<sup>1-4</sup> abordan el tema de ofrecer calidad de servicio desde la perspectiva de la configuración en el dispositivo de interconectividad, que conecta la red corporativa a la red del proveedor de servicios. Este acercamiento es válido pero también se puede hacer teniendo en cuenta la configuración que se haga al interior en la red de núcleo del proveedor de servicios.

Con base en lo anterior, dentro de la red de próxima generación se define una capa virtual que se encarga de garantizar la calidad de servicio, dicha capa está relacionada con la capa de servicio y con la red de transporte de la red NGN.

Ahora bien, esta capa de QoS se puede subdividir en tres estratos, donde cada estrato tiene unas funciones específicas que se relacionan estrechamente con la capa de servicio y con la red de transporte. En la Figura 1 se puede apreciar la función genérica de cada estrato.

En lo referente al estrato de infraestructura, es aquí donde se realizan los procesos necesarios para garantizar calidad de servicio a las aplicaciones,

una parte de estos procesos es encargada a los dispositivos de interconectividad mediante la utilización de esquemas de encolamiento, paralelo a esto está la configuración que se haya realizado al interior de la red de núcleo del operador, que para el desarrollo del artículo se trata de una red basada en tecnología MPLS.

En el estrato de verificación se realizan los procesos para comprobar si se está garantizando calidad de servicio a las aplicaciones, esto es ejecutado basándose en las recomendaciones de la ITU-T Y.1540<sup>5</sup> y Y.1541<sup>6</sup> como también en el Reporte Técnico TR-126.<sup>7</sup>

En el estrato de contratación se generan los acuerdos de nivel de servicio entre el usuario y el proveedor y es aquí donde se define a qué se compromete el proveedor con respecto a la calidad de servicio y qué se compromete el usuario a entregar al proveedor.

Con base en lo revisado anteriormente, el artículo busca analizar qué algoritmo de encolamiento presenta mejor desempeño si se tiene en cuenta una configuración específica en la red de núcleo, es decir, se va a analizar la relación entre los dos primeros estratos visualizados en la Figura 1.



**Figura 1.** Estratificación del nivel de QoS en una red NGN.

El artículo está desarrollado de la siguiente manera. Se describe el contenido de las recomendaciones Y.1540 y Y.1541; posteriormente se revela el escenario de simulación y se analizan los resultados entregados, luego se reseña la implementación en el laboratorio y finalmente se presentan las conclusiones, trabajo posterior y bibliografía utilizada.

## RECOMENDACIONES Y.1540 Y Y.1541

La Recomendación Y.1540 define los parámetros que se utilizan para especificar y evaluar la calidad de funcionamiento en cuanto a velocidad, exactitud, seguridad de funcionamiento y disponibilidad de la transferencia de paquetes en una red IP. Los parámetros definidos se aplican al servicio IP de extremo a extremo, punto a punto, y a tramos de la red que proporcionan, o contribuyen, a la prestación de ese servicio. La norma define principalmente cuatro parámetros:<sup>5,9</sup>

- **IPTD (IP Packet Transfer Delay)** : Hace referencia al tiempo que tarda el paquete en pasar por un componente de la red, esta entidad puede ser un host, un enrutador o una sección de red. Este es uno de los parámetros principales y críticos para todas

las aplicaciones que utilicen una red convergente.

- **IPDV (IP Packet Delay Variation)**: Hace referencia al jitter o al tiempo esperado de llegada de cada paquete.
- **IPLR (IP Packet Loss Ratio)**: Se refiere a la rata de pérdida de paquetes, la cual se obtiene entre el total de paquetes perdidos sobre el total de paquetes transmitidos en un flujo de datos determinado.
- **IPER (IP Packet Error Ratio)**: Hace alusión a la tasa de paquetes con errores, la cual se obtiene entre el total de paquetes con errores sobre el total de paquetes sin errores transmitidos en un flujo de datos determinado

Por su parte, la recomendación Y.1541 especifica los valores de calidad de funcionamiento para cada uno de los parámetros definidos en la recomendación Y.1540; para esto en la recomendación se establece un número de clases de calidad de servicio para generar comunicación entre los usuarios y los proveedores de servicios. Los valores instalados para cada clase y cada parámetro se pueden apreciar en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Parámetros de calidad de funcionamiento que determinan la QoS en NGN.

Parámetro de calidad de funcionamiento de red	Clases de QoS					
	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5 *
<b>IPTD</b>	100ms	400ms	100ms	400ms	1s	U
<b>IPDV</b>	50ms	50ms	U	U	U	U
<b>IPLR</b>	$1 \times 10^{-3}$	U				
<b>IPER</b>	$1 \times 10^{-4}$					U

\*Clase no especificada.

"U" significa no especificado o sin límites

Tomado de ITU-T Rec.Y.1541.<sup>6</sup>

Cada clase tiene un tipo de aplicaciones o servicios específicos:

**Clase 0-1:** Aplicaciones en tiempo real, sensibles al retardo y de interacción alta. Por ejemplo VoIP, videoconferencia, difusión de audio.

**Clase 2-3:** Aplicaciones de datos transaccionales interactivos, por ejemplo: navegación, señalización.

**Clase 4:** Aplicaciones que soportan pérdidas y no hay problema con el retardo, como por ejemplo: videostreaming, transferencia de archivos, etc.

Cabe anotar que según el tipo de aplicación o servicio, el administrador de la red la puede enmarcar en una clase específica, para así garantizar el desempeño adecuado de la aplicación.

Con base en estas dos recomendaciones se definirá qué parámetros se van a analizar en las simulaciones y de acuerdo con los valores obtenidos de cada parámetro se puede verificar si

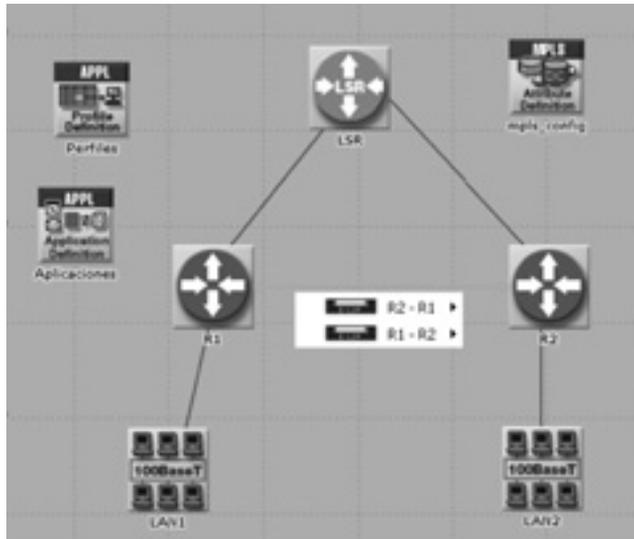
se le está garantizando a la aplicación calidad de servicio.

Adicionalmente a estas dos recomendaciones figura el reporte técnico TR-126<sup>7</sup> en el cual se plantea cómo medir de manera objetiva la calidad de la experiencia para servicios triple-play; este reporte técnico es de vital importancia para que los proveedores de servicio verifiquen la satisfacción del usuario por los servicios prestados.

## TOPOLOGÍA EN LA RED DE NÚCLEO

En la Figura 2 se puede apreciar el esquema de red que se implementó para realizar las simulaciones. Como tecnología en la red de núcleo se utilizó MPLS,<sup>15</sup> esto debido a que es una tecnología madura implementada en la mayoría de los proveedores de servicio.

Se utilizó como herramienta de simulación OPNET Modeler 14.5<sup>8</sup> para



**Figura 2.** Esquema de red implementado para realizar las pruebas comparativas entre los diferentes algoritmos de encolamiento.

realizar las pruebas y posteriormente el análisis de los resultados.

No es del interés del artículo analizar tiempos de convergencia de los protocolos de enrutamiento,<sup>10,11</sup> impacto de información de control<sup>13,14</sup> y aspectos de implementación de los mismos,<sup>15</sup> como también analizar lo referente a aspectos de señalización de las aplicaciones y tamaño de la red, ya que lo que se busca es analizar qué mecanismo de encolamiento es el más eficiente cuando se presenta congestión en los enlaces en condiciones predefinidas. La eficiencia del mecanismo de QoS se observa en el análisis de los parámetros como IPTD e IPDV revisando que permanezcan entre los valores definidos por la recomendación Y.1541 para las clases a las cuales pertenezcan las aplicaciones que estén siendo utilizadas en la simulación.

El esquema de red está conformado por tres enrutadores encargados de cumplir funciones de etiquetamiento de las tramas y su respectivo enrutamiento, los enlaces WAN son de una velocidad de 1544Kbps.

Cada red LAN está compuesta por diez estaciones, en las cuales se configuraron las aplicaciones ftp, http, VoIP y video conferencia, cada aplicación se estructuró con una distribución constante y las caracte-

rísticas del tráfico generado por cada una de ellas se pueden apreciar en la Tabla 2. La razón para escoger una distribución constante obedece a la necesidad de cargar el enlace a su máxima capacidad para así realizar las simulaciones con enlaces congestionados donde el retardo de las aplicaciones, sin configurar ningún mecanismo de QoS, se sale de los límites de la recomendación Y.1541.

Para ftp se trabajó con un tamaño de archivo de 700Kbytes, el códec utilizado para VoIP fue G.711 y el tiempo de simulación promedio fue de 10 minutos para cada caso.

El objetivo en las simulaciones era brindar mayor prioridad a la aplicación de VoIP y videoconferencia, ya que actualmente son las aplicaciones que mayor demanda tienen en los proveedores de servicio y que se convirtieron en aplicaciones críticas para los usuarios en este tipo de redes. Para tal fin, el tráfico de cada aplicación fue marcado como se aprecia en la Tabla 3 para identificarlo y asignar las prioridades respectivas.

Adicionalmente con la aplicación de videoconferencia se busca emular un posible canal de televisión sobre IP (IPTV), esto con el fin de analizar qué puede ocurrir en las redes de núcleo cuando dicho servicio sea ofrecido a los usuarios.

**Tabla 2.** Características del tráfico generado por las aplicaciones.

Aplicación	Cantidad de usuarios usando la aplicación	Duración de la aplicación (seg)	Tiempo entre repeticiones (seg)	Número de repeticiones durante el tiempo de simulación
Voz	10	50	15	Ilimitadas
FTP	10	50	30	Ilimitadas
HTTP	10	30	30	Ilimitadas
Video conferencia	10	45	60	Ilimitadas

**Tabla 3.** Marcación del tráfico de las aplicaciones.

Aplicación	Tipo de Servicio (ToS)	DSCP
Voz	Interactive Voice (6)	EF
Video conferencia	Interactive Multimedia (5)	AF41
http	Background (1)	AF21
ftp	Best Effort (0)	AF11

Los parámetros de la recomendación Y.1541 a analizar en el desempeño de la aplicación de voz fueron IPTD (IP Packet Transfer Delay) que para la herramienta de simulación es el *Packet End-to-End Delay* e IPDV (IP Packet Delay Variation) que para la herramienta de simulación es el *Packet Delay Variation*. Para las otras aplicaciones no se hizo de manera detallada el análisis de dichos parámetros debido a que estos, son afectados por el esquema de encolamiento configurado, en el cual a la voz se le brindó mayor prioridad por ser en la actualidad una aplicación crítica para los proveedores de servicio.

Se analizaron las siguientes configuraciones con referencia a los LSP (*Label Switch Path*) dinámicos que se crearon en el esquema de la Figura 2.

- **Configuración 1:** Entre los enrutadores R1 y R2 se crearon un LSP de ida y otro de regreso, con un ancho de banda de 1544Kbps, a cada aplicación se le asignó un *trunk* con un ancho de banda igual al ancho de banda del LSP.
- **Configuración 2:** Entre los enrutadores R1 y R2 se creó un LSP por aplicación (4 LSPs de ida y 4 LSPs de regreso) y a cada LSP se le asignó un *trunk* para la aplicación que iba a transportar, el ancho de banda del LSP y *trunk* configurado fue de 1544Kbps.

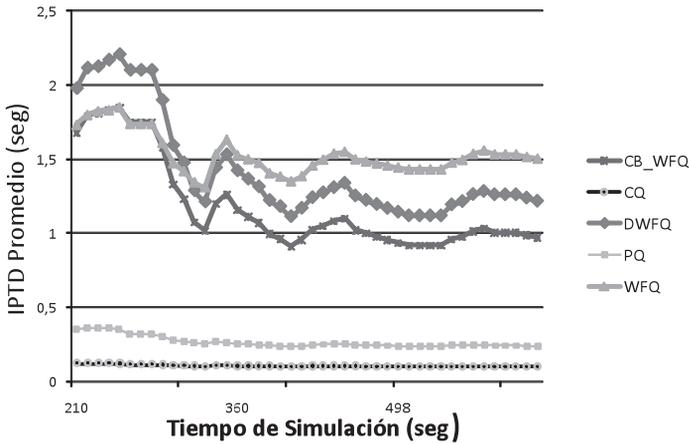
- **Configuración 3:** Entre los enrutadores R1 y R2 se configuraron 2 LSPs de ida y 2 LSPs de regreso. En este esquema el tráfico se dividió, asignando para un LSP el tráfico de voz y videoconferencia y en el otro el tráfico de ftp y http. Cada aplicación utilizó un *trunk* con un ancho de banda de 1544Kbps.

Para hacer claridad sobre las configuraciones 1, 2 y 3, OPNET Modeler al trabajar con MPLS se debe configurar el atributo FEC (*Forwarding Equivalence Class*), el cual clasifica y agrupa los paquetes que van a ser enviados de la misma manera, esta clasificación se hace por protocolo, dirección IP o tipo de servicio. A cada FEC se le asigna un *trunk*, el cual tiene un ancho de banda determinado.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS PARA LA RED MPLS

Para cada configuración los mecanismos de encolamiento analizados fueron: WFQ (*Weighted Fair Queueing*), CB-WFQ (*Class-Based Weighted Fair Queueing*), DWFQ (*Class-based Distributed Weighted Fair Queueing*), CQ (*Custom Queueing*), y PQ (*Priority Queueing*).

Al realizar simulaciones se observó que los mecanismos de encolamiento PQ y CQ fueron los que obtuvieron valores más bajos para los parámetros IPTD e IPDV. En la Figura 3 se



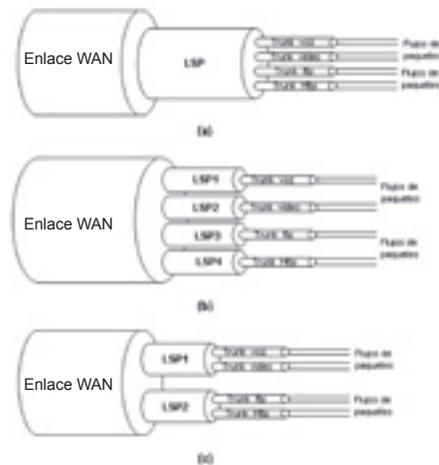
**Figura 3.** Parámetro IPTD para los esquemas de encolamiento simulados.

puede apreciar la comparación entre todos los mecanismos de encolamiento para la configuración 1, en cuanto al parámetro IPTD para la aplicación de voz.

Como se puede apreciar en la Figura 3, los mecanismos que presentan menor valor promedio para el parámetro IPTD son PQ y CQ. Con base en esto solo se analizó el desempeño y resultados de los mecanismos CQ o PQ para las configuraciones planteadas, con el fin de establecer cuál de los dos es el más eficiente para mantener entre valores admisibles los parámetros IPTD y IPDV para la aplicación de voz.

En la Figura 4 se puede apreciar la relación de los LSPs y *trunk* para cada una de las configuraciones analizadas.

Cabe anotar que a la aplicación de voz se le asignó mayor prioridad que a la aplicación de videoconferencia, ya que este servicio se ha convertido en crítico para los proveedores y es el que se ve más afectado cuando se empieza a congestionar el enlace.



**Figura 4.** Configuraciones de LSP y trunk simuladas. (a) Configuración 1, (b) Configuración 2 y (c) Configuración 3.

En la Tabla 4 se pueden apreciar los datos obtenidos de las simulaciones de los algoritmos de encolamiento para cada configuración en la red de núcleo propuesta.

Si se analizan los datos presentados en la Tabla 4, la configuración 1 es la que entrega el valor IPTD más aproximado a lo planteado en la recomendación Y.1541. El que este parámetro

**Tabla 4.** Resultados obtenidos para los parámetros IPTD e IPDV en las tres configuraciones propuestas en la red de núcleo.

Tipo de encolamiento	Configuración 1		Configuración 2		Configuración 3	
Parámetro (mseg)	IPTD	IPDV	IPTD	IPDV	IPTD	IPDV
WFQ	1530,63	333,70	1422,71	318,65	1.464,41	176,02
CB-WFQ	1175,90	421,50	1422,71	318,65	2.563,88	805,76
DWFQ	1430,06	716,84	1931,44	442,94	2.100,15	616,93
PQ	262,36	5,91	246,17	5,45	249,10	5,63
CQ	102,66	1,11	104,73	1,18	103,49	1,12

esté por fuera del límite indica que se debe aumentar el ancho de banda en el enlace ya que con solo aplicar mecanismos de calidad de servicio no es suficiente para garantizar el buen funcionamiento de las aplicaciones.

En las otras configuraciones (2 y 3) el valor para IPTD es mayor debido a que cuanto más LSP's un enrutador tenga configurados, éste debe invertir más tiempo de procesamiento en lo referente al etiquetamiento y elección del LSP a utilizar.

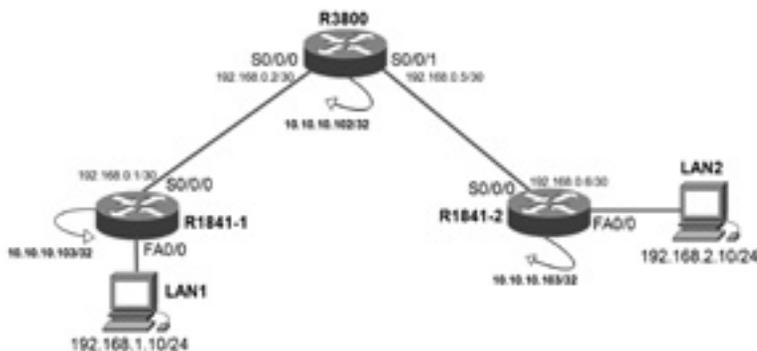
Para un proveedor de servicios es recomendable al menos separar el tipo de tráfico por LSPs, es decir, voz y video en un LSP y otro para tráfico no crítico, pero no se recomienda asignar un LSP a cada aplicación ya que la carga en los enrutadores aumentaría y posiblemente no sería la manera más eficiente de garantizar QoS en

caso de que los enlaces presenten congestión.

Adicionalmente la configuración que se realice en el enrutador referente a los parámetros de CQ puede influir notablemente en el desempeño de las otras aplicaciones, ya que lo que se debe garantizar es que los parámetros de la recomendación Y.1541 se cumplan para todas las aplicaciones. Esta es una labor compleja donde el administrador de la red debe tener muy claro la topología de su red y las aplicaciones a las cuales se les va a asignar prioridad en su envío.

### MONTAJE EXPERIMENTAL DE LABORATORIO

Con el fin de verificar los datos obtenidos en las simulaciones en el laboratorio se implementó el esquema que se aprecia en la Figura 5, el cual



**Figura 5.** Montaje experimental de laboratorio.

está conformado por dos enrutadores Cisco de la serie 1841 y uno de la serie 3800.

Para los enlaces seriales se trabajó con conexiones back-to-back, con una velocidad de 512Kbps, esto con el fin de que se presente congestión en los enlaces. Con base en los resultados obtenidos en las simulaciones se configuró el mecanismo de encolamiento CQ y se trabajó con la configuración 1.

Para realizar las medidas de los parámetros IPTD e IPDV, se utilizó la herramienta D-ITG (Distributed Internet Traffic Generator) versión 2.6.1d<sup>16</sup> la cual es una herramienta de dominio público que permite inyectar tráfico a la red y posteriormente obtener las medidas de los parámetros IPTD e IPDV.

La herramienta funciona al utilizar la aplicación en el lado emisor (ITG-Send.exe) y otra en el lado receptor (ITGRecv.exe), después de ejecutar la aplicación en el lado emisor, ésta genera un archivo log, el cual se decodifica con la aplicación ITGDec.exe y permite obtener de manera tabulada los parámetros de interés a medir. Es claro anotar que los tiempos obtenidos para los parámetros son tiempo *Round Trip Time*, por lo tanto el resultado del parámetro se obtiene al dividir por 2 cada resultado obtenido.

Los resultados obtenidos por el D-ITG para la voz utilizando el mecanismo de encolamiento CQ y teniendo implementada la configuración 1 en la red de núcleo se pueden apreciar en la Tabla 5.

Analizando los datos se aprecia que el parámetro IPTD es obtenido mediante el *Average Delay* y el IPDV lo es por el *Average Jitter*, los cuales se

**Tabla 5.** Resultados para la aplicación de voz utilizando D-ITG.

Parámetro	Valor
Total Time (s)	600.439176
Total packets	51712
Minimum delay (s)	0,007245
Maximum delay (s)	0,527324
Average delay (s)	0,173118
Average jitter (s)	0.016027
Delay standar deviation (s)	0.066309
Bytes received	3309568
Average bitrate	44.107989 Kbits/s
Average packet rate	86.148417 pkt/s
Packets dropped	8287 (13.81%)

encuentran entre los límites establecidos en la recomendación Y,1541.

Pero se presenta una situación con respecto a los paquetes descartados (*Packets dropped*); dicho valor está por fuera de los límites establecidos en la recomendación Y.1541 y se debe a que la cola de despacho en el enrutador se llena muy rápido y dado el bajo ancho de banda configurado en el enlace, el enrutador empieza a descartar paquetes. Esta operación de descarte de paquetes puede afectar la calidad de servicio ofrecida a la aplicación de voz. Para verificar si la calidad de la llamada se ha degradado, se recomienda utilizar MOS o la técnica documentada en el reporte técnico TR-126.

## CONCLUSIONES

Al ofrecer QoS de servicio en una red convergente se debe tener en cuenta las configuraciones que se realicen tanto en los dispositivos de interconectividad, como las configuraciones hechas al interior de la red de núcleo.

Ahora, en cuanto a la tecnología utilizada en el núcleo en las redes NGN se

emplea MPLS que es una tecnología bastante madura que ha permitido mejorar el desempeño en los enlaces y que funciona de manera más eficiente que el IP tradicional. En MPLS el hecho de discriminar el tráfico mediante FECs y asignar dicho tráfico a un *trunk* hace que mejore el envío desempeño en el envío de paquetes ya que cada *trunk* se comporta, por así decirlo, en un enlace virtual extremo a extremo.

Cuando las redes de los proveedores de servicio tienen una carga baja o hasta media, MPLS funciona eficientemente sin configurar ningún tipo de QoS. Pero si se presenta congestión se debe revisar el proceso de configuración de la red en lo referente a la creación de los LSPs, marcado de tráfico y asignación de *trunks*, ya que con esta elección se puede afectar el desempeño tanto de los enrutadores como el de las aplicaciones.

Con base en los datos obtenidos se recomienda utilizar LSPs por tráfico específico o agrupando clases de tráfico para lograr minimizar los tiempos de los paquetes en las colas de salida de los enrutadores, esto también se ve reflejado en la referencia del dispositivo de interconectividad ya que si una red es demasiado compleja se requiere de un equipo de características óptimas que permita el tratamiento y etiquetamiento de las tramas a transportar en el core MPLS.

Adicionalmente se debe ser muy cuidadoso en la configuración del mecanismo CQ ya que si se elabora de manera inapropiada o sin realizar análisis de tráfico y aplicaciones respectivos, podría en determinado momento hacer que aplicaciones de más baja prioridad funcionen de manera

inapropiada y causar insatisfacción con el usuario.

La herramienta utilizada en las mediciones realizadas en el laboratorio, es una herramienta que en determinado momento se convertirá en pieza clave para los proveedores de servicio, ya que será instrumento muy útil para estar monitoreando el funcionamiento y desempeño de las aplicaciones. Y apoyándose en los procedimientos descritos en el reporte técnico TR-126 puede verificarse la satisfacción del usuario en lo referente a la calidad de experiencia y así tomar los correctivos necesarios en caso de que las aplicaciones no estén funcionando adecuadamente.

## TRABAJO POSTERIOR

Para profundizar mucho más en los análisis de desempeño de los mecanismos de calidad de servicio se van a implementar simulaciones que configuran de manera específica mecanismos de evasión de la congestión, con el fin de verificar qué tanto pueden influir las diferentes configuraciones en los mecanismos de calidad de servicio, y por ende en las aplicaciones ofrecidas al usuario final.

## BIBLIOGRAFÍA

1. X. Xiao, A. Hannan , B. Bailey , L. Ni Traffic Engineering with MPLS in the Internet. IEEE Network. March/ April 2000.
2. S. Alvarez , QoS for IP/MPLS Networks. Cisco Press. 2006.
3. Cisco Systems. Cisco IOS Quality of Service Solutions Configuration Guide. 2003.
4. Cisco Systems. Implementing Cisco Quality of Service v2.1. 2004.

5. ITU-T Rec. Y.1540, IP Packet Transfer and Availability Performance Parameters. Dec. 2002.
6. ITU-T Rec. Y.1541, Network Performance Objectives for IP-Based Services” Feb 2006.
7. Technical Report TR-126. Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements. BroadBand Forum. Dec. 2006.
8. <http://www.opnet.com>.
9. Medición de la Calidad del Servicio. Grupo de Expertos NGN – CINTEL Colombia. Interactiv Feb 2009.
10. J.L.Sobrinho, Algebra and Algorithms for QoS path computation and hop-by-hop routing in the Internet. IEEE/ACM Trans. Netw, vol 10, No.4.pp 541-550.Aug 2002.
11. J.L. Sobrinho, “Network Routing with path vector protocols:Theory and applications. Proc. ACM SIGCOMM 2003, Karlsruhe, Germany, Aug 2003, pp 40-60.
12. G. Apostolopoulos, R. Guérin, S, Kamat, and S.K Tripathi. Quality of Service based routing: A performance perspective. Proc. ACM SIGCOMM 1999 Cambridge, MA. Aug 1999, pp 215-226.
13. A. Shaikh, J. Rexford, and K. Shin, Load-sensitive routing of long-lived IP flows, Proc. ACM SIGCOMM 1999 Cambridge, MA. Aug 1999, pp 215-226.
14. G. Apostolopoulos, D. Williams, S.Kamat, R.Guerin, A. Orda and T. Przygiend. QoS routing mechanisms and OSPF extensions. RFC 2676 Aug. 1999.
15. J. Evans. C. Filsfil. Deploying IP and MPLS QoS for Multi-service Network. Morgan Kaufmann Publishers. 2007.
16. Manual de usuario disponible en: <http://www.grid.unina.it/software/ITG>.

## CURRÍCULO

**Juan Carlos Cuéllar Quiñónez**, (member 2009): Ingeniero Electricista egresado de la Universidad del Valle en 1997, Especialista en Redes y Servicios Telemáticos de la Universidad del Cauca en el 2000, Especialista en Redes y Comunicaciones de la Universidad Icesi en el 2001. CCNA (*Cisco Certified Network Associate*) en el 2006 y candidato a optar al título en la Maestría en Telecomunicaciones en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín en el 2010. Profesor de tiempo completo en la Universidad Icesi desde hace catorce años y actualmente encargado de la jefatura del Departamento de Ciencias Físicas y Tecnológicas y de coordinar las actividades en el Laboratorio de Redes y Comunicaciones. Sus áreas de interés son QoS en Redes de Próxima Generación (NGN) y configuración de dispositivos de interconectividad.