

Análisis de la Arquitectura DIFFSERV sobre redes MPLS para la provisión de QoS en aplicaciones en tiempo real (VoIP)
Analysis of the DIFFSERV architecture on MPLS networks for the provision of QoS in real-time applications (VoIP)

Pamela Buñay^{1*}, Danilo Pastor², Paúl Paguay², Samuel Moreno¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 060150

²Facultad de Informática y Electrónica, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 060155;
danilo.pastor@epoch.edu.ec; paul.paguay@epoch.edu.ec; smoreno@unach.edu.ec

* Correspondencia: pbunay@unach.edu.ec

Recibido 11 agosto 2018; Aceptado 10 abril 2019; Publicado 06 junio 2019

Resumen: Actualmente, las redes IP necesitan de QoS para aplicaciones en tiempo real, donde el principal problema está en que las redes IP no tienen un mecanismo para proporcionarlo. En este trabajo, se propuso implementar la arquitectura DiffServ sobre redes MPLS, con el objetivo de mejorar las prestaciones a las redes, brindando un trato diferenciado al tráfico en tiempo real. En el análisis se diseñó un ambiente de pruebas con tres escenarios: redes IP, redes MPLS y MPLS DiffServ, realizados en GNS3 con la herramienta Dig-it 2.61 GUI 0.92, para inyectar tráfico de VoIP y datos utilizando etiquetas para su identificación. Cada contexto fue evaluado con los tres indicadores: retardo, jitter y pérdida de paquetes, mediante la herramienta Wireshark. Nuestro estudio determinó una calidad de servicio de VoIP adecuada con la implementación de MPLS y DiffServ.

Palabras clave: DiffServ, MPLS, QoS, Redes IP.

Abstract: *Currently IP networks need QoS for real time applications. However, the main limitation is that IP networks do not count with a mechanism to provide with it. In this study, we aimed to implement the DiffServ architecture over MPLS networks, with the purpose of improving the range of benefits provided to the networks, by supplying a differential treatment to real time traffic. In the analysis, a test environment was designed with three scenarios: IP networks, MPLS, and MPLS DiffServ networks. The tests were developed in GNS3 with the Dig-it 2.61 GUI 0.92 tool, to inject VoIP traffic and data using tags for proper identification. Each case was evaluated with three markers: delay, jitter and packet loss, using the Wireshark tool. The study determined an adequate VoIP service quality with the implementation of MPLS and DiffServ.*

Keywords: *DiffServ, MPLS, QoS, IP networks.*

1 Introducción

Actualmente el desarrollo de las redes se ha enfocado en obtener la calidad de servicio (QoS). La calidad de servicio (QoS) según Zapata (2016) puede ser definida como un conjunto de tecnologías que permiten a los administradores de red manejar los efectos de la congestión del tráfico usando óptimamente los diferentes recursos de la red, en lugar de ir aumentando continuamente capacidad. En este punto es necesario prestar atención especial al hecho de que la QoS no es aumentar ancho de banda sino distribuirlo de acuerdo a las necesidades de la empresa.

Los parámetros para describir la calidad de servicio según Padilla (2007) son:

- Ancho de banda: cantidad mínima de ancho de banda necesaria por el flujo de la aplicación.
- Retardo: promedio de retardos que experimenta un paquete.
- Variación de retardo: es la diferencia entre el retardo más largo y el más corto que experimenta un paquete.
- Tasa de pérdida: es el cociente que resulta al dividir los paquetes perdidos para el total de paquetes transmitidos.

Las redes IP se basan en el servicio del mejor esfuerzo (BE) o lo antes posible. No implementa ningún mecanismo de calidad y no es recomendable para aplicaciones en tiempo real (The Cisco Learning Network, 2018).

Las aplicaciones en tiempo real son programas que son ejecutados desde algún dispositivo conectado a internet. El usuario puede establecer una comunicación bidireccional, dinámica y fluida para acceder a la información alojada en un servidor (Culturación, 2018).

Las aplicaciones interactivas en tiempo son: Telefonía IP, videoconferencias. (Martínez, 2014).

El objetivo es evitar la congestión de los nodos de la red donde las aplicaciones de tiempo real requieren un especial caudal o retardo.

Los requerimientos de las aplicaciones para la calidad de servicio se visualizan en la figura 1.

Aplicación	Fiabilidad	Retardo	Jitter	Ancho de banda
Correo electrónico	Alta(*)	Alto	Alto	Bajo
Transferencia de ficheros	Alta(*)	Alto	Alto	Medio
Acceso web	Alta(*)	Medio	Alto	Medio
Login remoto	Alta(*)	Medio	Medio	Bajo
Audio bajo demanda	Media	Alto	Medio	Medio
Video bajo demanda	Media	Alto	Medio	Alto
Telefonía	Media	Bajo	Bajo	Bajo
Videoconferencia	Media	Bajo	Bajo	Alto

Figura 1: Requerimiento de QoS de aplicaciones. (Gutiérrez, 2010).

La solución para proporcionar de QoS a una red de datos es la adopción de Servicios diferenciados (*DiffServ*) y mediante la conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS) (Martínez, 2009).

DiffServ es uno de los principales métodos que permite que varios flujos de tráfico sean agrupados utilizando clases cuyas características son idénticas (Benítez, 2011). Además, *DiffServ* propone que la provisión de la calidad de servicio se realice a través de la reservación en los nodos intermedio de los recursos (García, 2006).

Las características de *DiffServ* según García (2007) son:

- A cada paquete enviado por la red se le asigna una prioridad.
- Los paquetes son tratados de forma diferencial por los routers.
- No se asigna ningún estado ni señalización en cada uno de los nodos.
- El campo DS es definido para asignar las prioridades y las técnicas para implementar.
- Ofrece servicios que están basados en un conjunto de reglas.
- El proveedor de *DiffServ* y los clientes tienen contratos de nivel de servicio.

MPLS es un mecanismo que permite transmitir paquetes utilizando etiquetas para la identificación. El propósito es enviarlo de forma rápida al destino haciendo uso de los enrutadores de conmutación de etiquetas (Sepúlveda, 2009). El objetivo de MPLS es separar el encaminamiento que es lento y complejo de la conmutación en el reenvío de los paquetes. Se calcula todas las rutas a los destinos y a continuación intercambiando las etiquetas se establece los circuitos virtuales entre el origen y destino para que empiece el proceso de conmutación (Zapata, 2016).

La presente investigación trata de solucionar el problema que existe en las redes donde la QoS debe manejar tráfico haciendo que el ancho de banda soporte los requerimientos de aplicaciones en tiempo real. La solución para dotar a las redes IP de QoS es aplicar la arquitectura *DiffServ* (Servicios Diferenciados) para proporcionar QoS y la tecnología MPLS para realizar la ingeniería de tráfico. La red clasifica el tráfico en distintas clases y les aplica una disciplina de servicio diferenciada con el objetivo de proporcionar distintos niveles de calidad de servicio.

Existen algunas investigaciones realizadas sobre redes IP, redes MPLS y redes MPLS con *DiffServ* donde se hace referencia a la integración de redes MPLS y *DiffServ* para la dotación de QoS en aplicaciones en tiempo real como VoIP.

Actualmente al tener redes IP no se puede ofrecer calidad de servicio a aplicaciones en tiempo real, al agregar *DiffServ* se soluciona el problema en las redes IP al priorizar el tráfico y utilizar MPLS para obtener una mejor calidad de servicio e ingeniería de tráfico, mejorando el funcionamiento de las redes IP (Romero & León, 2004).

Se realiza una propuesta de arquitectura para el transporte de VoIP sobre un modelo MPLS/*DiffServ* para proveer calidad de servicio. Consiste en la unión de técnicas y algoritmos de optimización que permiten la configuración de políticas y procedimientos de gestión para asegurar que la congestión sea minimizada y controlada aprovechando la flexibilidad e ingeniería de tráfico (Oliveira, 2004).

Otra arquitectura propuesta es la que se menciona en (Jiménez *et al.*, 2005), donde se introduce el *bandwidth broker* que ayuda en la integración de MPLS y *DiffServ* proporcionando admisión del dominio, gestión de recursos, control en la admisión, autenticación, servicio de tarificación y obtención de estadísticas.

DiffServ se basa en nodos de red a los cuales se le aplica diferentes tratamientos de QoS dentro de la red. Para el reenvío de paquetes las cabeceras se marcan con diferentes *DiffServ Codepoints* (DSCPs). Además, se describe el uso de *DiffServ* con aplicaciones en tiempo real, orientación del uso de *DiffServ* para controlar las interacciones deseadas (Black & Jones, 2015).

DiffServ se ha implementado en las redes MPLS para dotar de QoS en transmisiones multimedia o en tiempo real. Se ha implementado un escenario utilizando GNS3 para probar la QoS en redes MPLS con *DiffServ*, cuyos resultados muestra cómo se mejora la QoS transmitiendo IPTV, RoIP, VoIP para demostrarlo se midió: *jitter* y *delay* (Barry *et al.*, 2018).

Las propuestas revisadas proporcionan información de las diferentes arquitecturas implementadas utilizando redes MPLS y *DiffServ* utilizando diferentes escenarios donde se midió los indicadores de QoS: *jitter* y *delay*. Algunas de las arquitecturas son muy complejas de implementar. Hace falta la comparación de escenarios donde se realice una simulación de redes IP, redes MPLS y redes MPLS con *DiffServ* y se mida en cada uno los indicadores que determinan la QoS como son: *jitter*, retardo y pérdida de paquetes. El tráfico a considerar sería VoIP y datos para visualizar los resultados obtenidos con los diferentes escenarios y con los distintos indicadores mencionados anteriormente.

2 Metodología

La presente investigación se enmarcó dentro de un estudio cuasi-experimental, se trabajó con grupos intactos y además se manipula una variable independiente. Los contenidos a ser enviados en el ambiente de pruebas no serán tomados al azar, sino que se los tendrá definidos antes de realizar dicho ambiente.

Su validez se alcanzó realizando la comparación de los parámetros de QoS en los tres escenarios definidos: redes IP, MPLS y MPLS *DiffServ*.

- Redes IP: Es la configuración básica de redes IP, donde se configuró las IPs y protocolo de enrutamiento OSPF. Inyectando tráfico en tiempo real datos y VoIP tomando las mediciones de datos para cada uno de los indicadores.

- Redes MPLS: Es la implementación de MPLS sobre la red IP existente, se midió cada una de los parámetros de QoS.

- Redes MPLS *DiffServ*: En este escenario se configuró las políticas de entrada y salida para las interfaces que se aplicó sobre redes MPLS (*DiffServ*), midiendo los indicadores de QoS.

En cada escenario se tomaron en cuenta los indicadores de QoS para el tráfico de VoIP y datos. Los indicadores medidos son:

- *Jitter*
- Paquetes perdidos
- Retardo o latencia

Todos estos datos fueron organizados en tablas de valoración, y posteriormente aplicando métodos estadísticos se comprueba si la implementación de esta solución es la adecuada.

2.1 Ambiente de prueba

Para la investigación se implementó tres escenarios prototipo diseñados en GNS3 para la obtención de datos. Para simular el tráfico de VoIP y datos se utilizó Dig-it 2.61 GUI 0.92 y para medir los indicadores se utilizó la herramienta *wireshark*.

Los tres escenarios: redes IP, redes MPLS y Redes MPLS *DiffServ*. En la figura 2 se muestra el esquema del escenario utilizado. Los ruteadores de borde LER1, LER 2 y LER3, ubicados en la frontera de la red MPLS, realizaron el encaminamiento de los paquetes, los analizaron y clasificaron, considerando la dirección IP del destino y la QoS que fue demandada. Además, los ruteadores añadieron la cabecera MPLS, asignando el valor a la etiqueta según la clasificación. Los ruteadores de Conmutación de Etiqueta, LSR1, LSR2 y LSR3, ubicados en el núcleo de la red MPLS, son

ruteadores de alta velocidad especializados en el envío de paquetes etiquetados por MPLS. Los cuales realizan el encaminamiento por medio de conmutación por etiqueta. Cada vez que llega un paquete a cualquiera de las interfaces, éstos leen la etiqueta de entrada de la cabecera MPLS, conforme la tabla de conmutación e interfaz de salida, para reenviar el paquete por la ruta establecida.

Para implementar DiffServ en los ruteadores LER1,2,3 y LSR1,2,3 se configuró: marcado, clasificación del tráfico, política de entrada, clasificación de los paquetes y la política de salida.

Los switch 1 y switch 2 permitieron que varias computadoras se conecten a la red MPLS.

En la PC1 se instaló la herramienta Dig-it 2.61 GUI 0.92 para inyectar tráfico a la red y para medir los diferentes indicadores se usó wireshark instalada en la PC2.

Los estándares utilizados de VoIP fueron: G.711, G.729 y G.723.1. Están entre los más utilizados según lo especifica la ITU-T G (Series: Transmission systems and media, digital systems and networks).

G.711: es un estándar de la ITU-T para la compresión de audio. Este estándar es usado

principalmente en telefonía, y fue liberado para su uso en el año 1972. Representa señales de audio con frecuencias de la voz humana, mediante muestras comprimidas de una señal de audio digital con una tasa de muestreo de 8000 muestras por segundo.

G723.1: es un estándar ITU-T de *codec* (codificador-decodificador) de voz de banda ancha. Esta es una extensión de acuerdo a la recomendación G.721 adaptiva del pulso diferencial del código de modulación de 24 y 40 kbit/s para equipos de aplicaciones de multiplicación de circuitos digitales.

G.729: es un algoritmo de compresión de datos de audio para voz que comprime audio de voz en trozos de 10 milisegundos. Se usa mayoritariamente en aplicaciones de Voz sobre IP VoIP por sus bajos requerimientos en ancho de banda. El estándar G.729 opera a una tasa de bits de 8 kbit/s, pero existen extensiones, las cuales suministran también tasas de 6.4 kbit/s y de 11.8 k bit/s para peor o mejor calidad en la conversación respectivamente.

Para los datos se inyectó un paquete de tamaño de 1500 bytes porque es el tamaño máximo de un paquete (Gil, 2009).

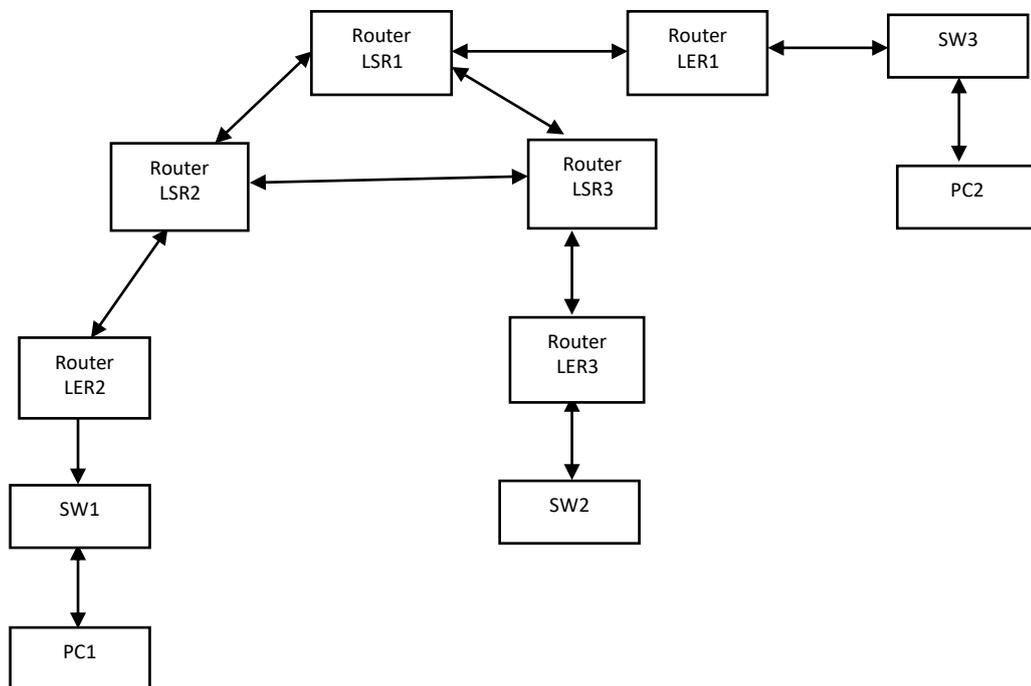


Figura 2: Esquema de escenario.

3 Resultados y discusión

Los resultados obtenidos en la comparación de los tres escenarios: redes IP, redes MPLS y redes MPLS *DiffServ* según los tres parámetros *jitter*, paquetes perdidos y retardo son:

3.1 Retardo

Este es un parámetro que indica el retraso en la llegada de los flujos de datos a su destino en la red. Sus efectos son distintos de acuerdo a si el protocolo de la capa transporte que se usa es TCP o UDP. Tomando como referencia las recomendaciones UIT-T G.1010, Y.1541 y la IEEE 802.1p, se establecen los umbrales máximos de retardo y se obtiene los resultados de la tabla 1.

Tabla 1: Resultado indicador Retardo.

Tráfico	Redes IP	MPLS	MPLS y <i>DiffSer</i>
G.711	206.553 ms	85.1053ms	53.02202ms
G723.1	307.971ms	90.1401ms	62.98705ms
G.729	388.938ms	95.0146ms	62.98701ms
Datos	395.892ms	229.861ms	105.3307ms

Los paquetes de VoIP deben recibir un trato especial ya que es muy sensible a retardos y necesita un ancho de banda garantizado. Entonces es necesario ofrecer cierta QoS de manera que se disminuya el retardo.

Los datos tomados en los tres escenarios para VoIP, se ve que hay diferentes retardos para Redes IP, redes MPLS y MPLS con *DiffServ*.

En redes MPLS el retardo bajó notablemente tanto en VoIP como Datos, debido a que se tiene una conmutación por etiquetas, caminos cortos en vez de direcciones. Asigna a los datagramas de cada flujo una etiqueta única que permite una conmutación rápida en los routers intermedios (solo se mira la etiqueta, no la dirección de destino).

Con MPLS y *DiffServ* mejoró más aun, puesto que los paquetes tanto de VoIP como datos tienen un trato diferenciado como alta prioridad la VoIP y de menor prioridad los datos. Los tiempos bajaron considerablemente en ambos casos, puesto que también se tomó en cuenta la rapidez de MPLS en donde se utilizaron etiquetas. Con esto se tiene como resultado que en Redes MPLS y la combinación de Redes MPLS y *DiffServ* fue adecuado el retardo mientras que en IP no se tiene ninguna garantía de calidad de servicio debido a que el retardo es un indicador de Calidad.

Sacando el promedio de retardos de VoIP para los tres escenarios se tiene: redes IP 301.151ms, redes MPLS 90.087 ms, MPLS y *DiffServ* 59.665ms. Con estos resultados se nota que en redes IP se tiene un

alto retardo que sufren los paquetes tanto VoIP como Datos como consecuencia al trato no diferenciado.

En las figuras 3 y 4 se muestra los valores promedios de retardo en VoIP y datos.

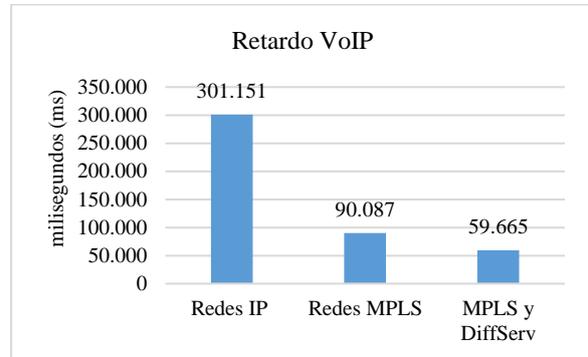


Figura 3: Valor Promedio de Retardo en VoIP.

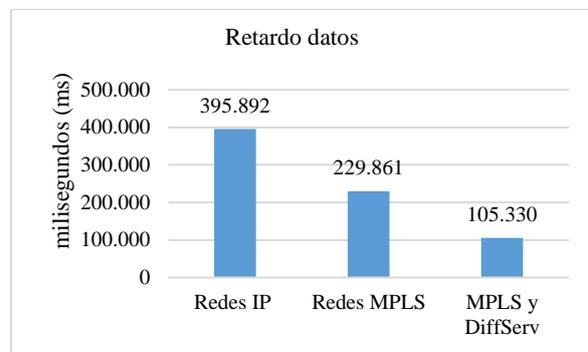


Figura 4: Valor Promedio de Retardo en Datos.

3.2 Jitter

Desgraciadamente el retardo que se produce en los flujos de datos no es constante, y esta variación en el retardo provoca un nuevo problema al que se conoce como *jitter*. Este puede aparecer por congestión en la red, pero principalmente debido a una incorrecta sincronización de bit entre los elementos de red, y se presenta como un estrechamiento y alargamiento del ancho de los pulsos en el receptor. Tomando como referencia las recomendaciones UIT-T G.1010, Y.1541 y la IEEE 802.1p, se establecen los umbrales máximos de *jitter*.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2: Resultado indicador *jitter*.

Tráfico	Redes IP	MPLS	MPLS y <i>DiffServ</i>
G.711	48.1443ms	31.6313ms	20.0706ms
G723.1	54.2689ms	36.2561ms	21.2723ms
G.729	65.8277ms	37.9215ms	21.8723ms
Datos	79.5689ms	45.2658ms	30.0706ms

Las comunicaciones en tiempo real (como VoIP) son especialmente sensibles a este efecto. En general, es un problema frecuente en enlaces lentos o congestionados.

La solución más adecuada consistió básicamente en asignar una pequeña cola o almacén para ir recibiendo los paquetes y sirviéndolos con un pequeño retraso. Si algún paquete no está (se perdió o no ha llegado todavía) cuando sea necesario se descarta.

Como se puede apreciar en la figura 5 el *jitter* en Redes IP son altos con relación a MPLS, MPLS y *DiffServ*. Esto se debe generalmente porque los paquetes de voz son descartados por el receptor cuando este no recibe los paquetes a tiempo, en la práctica los usuarios perciben este problema como un entrecortado en la voz.

En MPLS bajó el *jitter* porque gracias al label switching, técnica usada en MPLS para enrutar paquetes, conseguimos hacer el enrutado a más velocidad, a la vez que disminuimos el retardo y el *jitter*.

En redes MPLS y *DiffServ* tuvo una notoria reducción porque a más de tener más velocidad se tiene alta prioridad por los paquetes VoIP, al crear las políticas tanto de entrada como salida en las interfaces de los routers y al ser considerado como un servicio premium en donde el *jitter*, retardo y pérdida de paquetes son garantizadas.

Para los tres escenarios Redes IP, MPLS, MPLS y *DiffServ* se tiene un promedio para VoIP de: 56.0803ms, 35.2696ms, 11.0717ms respectivamente. Para datos se tiene 79.5689ms para Redes IP, 45.2658ms para MPLS y 20.9822ms para MPLS y *DiffServ*.

En las figuras 5 y 6 se muestran el valor promedio del indicador *jitter* para VoIP y datos.

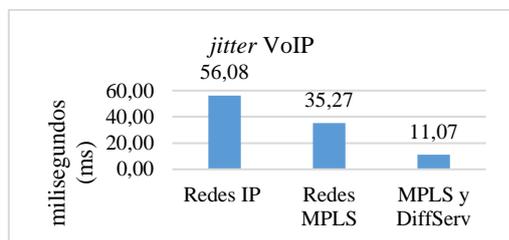


Figura 5: Valor Promedio de *jitter* en VoIP.

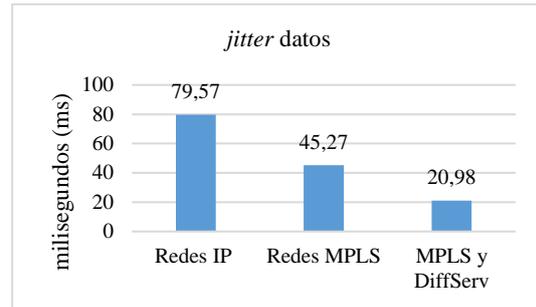


Figura 6: Valor Promedio de *jitter* en datos.

3.3 Pérdida de paquetes

Las comunicaciones en tiempo real están basadas en el protocolo UDP. Este protocolo no está orientado a conexión y si se produce una pérdida de paquetes no se reenvían. Además, la pérdida de paquetes también se produce por descartes de paquetes que no llegan a tiempo al receptor. Tomando como referencia las recomendaciones UIT-T G.1010, Y.1541 y la IEEE 802.1p, se establecen los umbrales máximos de pérdida de paquetes.

Los resultados obtenidos son según la tabla 3.

Tabla 3: Resultados indicador pérdida de paquetes.

Tráfico	Redes IP	MPLS	MPLS <i>DiffServ</i>
G.711	3.892%	1.281%	0.515%
G723.1	4.186%	1.877%	0.6179%
G.729	4.554%	2.091%	0.7179%
Datos	9.898%	4.653%	2.698%

Como se puede visualizar existió más paquetes perdidos en las redes IP, esto se debe a que no se tiene ninguna garantía en el envío y recepción de paquetes debido al encolamiento que el tráfico experimenta mientras transita la red. Con las redes MPLS baja considerablemente el porcentaje de pérdida, esto es porque tiene el mecanismo de creación de circuito virtual entre los routers (orientado a la conexión).

En MPLS *DiffServ* se observa como disminuyó los paquetes perdidos debido a que el etiquetado de los paquetes se realizó en base a criterios de prioridad y/o calidad (QoS). Una manera de disminuir la cantidad de paquetes perdidos sin disminuir el retardo de VoIP es la de mantener las prioridades.

Sacando un promedio de los tres escenarios redes IP, MPLS, MPLS y *DiffServ* se tiene: 4.2107%, 1.7497% y 0.6169% respectivamente.

En las figuras 7 y 8 se muestra los valores promedio de la pérdida de paquetes en VoIP y Datos.

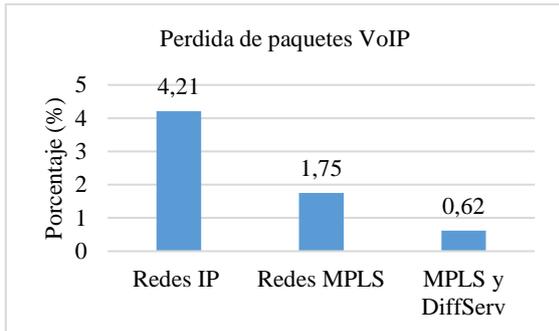


Figura 7: Valor promedio de paquetes perdidos en VoIP.

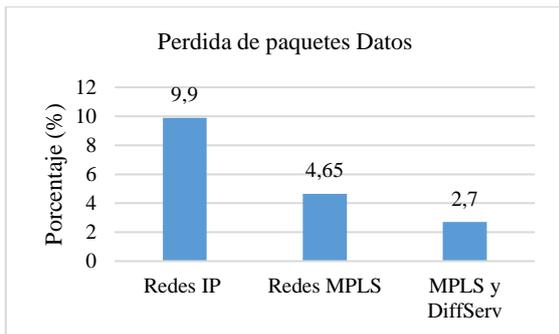


Figura 8: Valor promedio de paquetes perdidos en datos.

4 Conclusiones

Se utilizó el tráfico de VoIP y datos para demostrar la diferenciación que se realiza *DiffServ* en el tráfico que se genera en las redes.

Al analizar el indicador retardo con los valores obtenidos se concluye que las redes IP presentan un alto retardo, mientras que las redes MPLS mejoran los resultados. Pero si se desea un menor retardo es mejor implementar redes MPLS con *DiffServ*.

En Redes IP es muy alto el *jitter* en relación a MPLS, MPLS y *DiffServ*. Generalmente los paquetes de voz son descartados por el receptor cuando este no recibe los paquetes a tiempo, convirtiéndole en no adecuado para la provisión de Calidad de Servicio. Es recomendable usar Redes MPLS y *DiffServ*. En MPLS conseguimos hacer el enrutado a más velocidad, a la vez que disminuimos el retardo y el *jitter*.

Al analizar el indicador de paquetes perdidos en los tres escenarios redes: IP, MPLS, MPLS y *DiffServ*, se determinó que existe más paquetes perdidos en las redes IP debido a que no se tiene ninguna garantía en el envío y recepción de paquetes. Con redes MPLS baja considerablemente el porcentaje de pérdida, generalmente porque tiene el mecanismo de creación de circuito virtual entre los routers (orientado a la conexión). En MPLS y *DiffServ* baja aún más el porcentaje de paquetes perdidos por el etiquetado de los paquetes que se realiza en base a criterios de prioridad y/o calidad (QoS),

convirtiéndole en la mejor opción para la provisión de Calidad de Servicio.

La implementación de MPLS y *DiffServ* resultó ser adecuada para la provisión de calidad de servicio de VoIP según los tres indicadores analizados: retardo, *jitter* y pérdida de paquetes. Se mejora las prestaciones a las redes brindando un mejor trato a VoIP y para la transmisión de paquetes se realizó mediante el uso etiquetas para la identificación.

Las redes IP no son adecuadas para dotar de QoS a VoIP de acuerdo a los valores obtenidos en la medición de los indicadores en los tres escenarios.

En un trabajo futuro se desea implementar los tres escenarios reales. Realizar las mediciones para determinar cuál de los tres escenarios es adecuado para la provisión QoS en aplicaciones en tiempo real VoIP.

Conflicto de intereses

Los autores del presente trabajo declaramos que no existe ningún tipo de conflicto de interés.

Referencias

- Barry, M. A., Tamgno, J. K., Lishou, C., & Cissé, M. B. (febrero, 2018). *QoS impact on multimedia traffic load (IPTV, RoIP, VoIP) in best effort mode*. 2018 20th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)), Chuncheon-si Gangwon-do, Korea (South). Recuperado de <http://doi.org/10.23919/ICACT.2018.8323886>.
- Benítez Montes, M., & Castellar Usta, A. (2011). *DIFFERENTIATED SERVICES (DIFFSERV): VENTAJAS, DESVENTAJAS Y CASOS DE ESTUDIO* (Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia). Recuperado de <http://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0063159.pdf>
- Black, D., & Jones, P. (2015). *Differentiated services (DiffServ) and real-time communication* (No. RFC 7657).
- Culturacion. (2018). *Aplicaciones en tiempo real*. Recuperado de <http://culturacion.com/aplicaciones-en-tiempo-real/>
- García Reyes, T. (2007). *Análisis de los modelos de servicios diferenciales y servicios integrales para brinda QoS en Internet* (Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Mixteca, Huajuapán de León, Oaxaca,

- México). Recuperado de: http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10141.pdf
- García García, C. (2006). Propuesta de arquitectura de QoS en entorno inalámbrico 802.11e basado en Diffserv con ajuste dinámico de parámetros (Tesis de doctorado, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España). Recuperado de https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/22570/tesis_carlos_garcia_garcia_2006.pdf
- Gil, P. (2009). *Introducción a Redes y a TCP/IP sobre Tecnología Ethernet* (Práctica N°1). Recuperado de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/11615/1/practical2009-2010.pdf>
- Gutierrez, J. (2010). *Calidad de servicio en redes*. Recuperado de https://www.slideshare.net/prestonj_jag/calidad-de-servicio-en-redes/
- Jiménez Mateo, R., Paniagua Paniagua, C., Gazo-Cervero, A., González-Sánchez, J., & Rodríguez Pérez, F. (2005). *Integración de MPLS y DiffServ en una arquitectura para la provisión de QoS*. Recuperado de <http://wpage.unina.it/pescap/cit/jimenez05jitel.pdf>
- Martinez, J. (2014). *Calidad de Servicio (QoS)*. Recuperado de http://cic.puj.edu.co/wiki/lib/exe/fetch.php?media=materias:daysenr:daysenr_-_calidad_de_servicio_qos_.pdf
- Martínez, N. (2009). *Modelo de la infraestructura para QoS aplicado en ambientes educativos* (Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México). Recuperado de <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/8652/1/85.pdf>
- Oliveira, S. (2004). *Una propuesta de arquitectura MPLS/DiffServ para proveer mecanismos de calidad de servicio (QoS) en el transporte de la telefonía IP* (Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España). Recuperado de <http://oa.upm.es/347/1/09200441.pdf>
- Padilla, J. (2007). *Contribución al soporte de Calidad del Servicio en Redes móviles* (Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España). Recuperado de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/94360/01_padillaAguilar.pdf
- Romero, J., & León, A. (2004). *ANÁLISIS DE QoS EN REDES IP: DiffServ y MPLS*. Recuperado de http://personales.upv.es/aleon/pubs/URSI2004_QDSM.pdf
- Sepulveda, J. A. (2009). *Aplicación de MPLS en redes VoIP* (Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional, Tijuana, México). Recuperado de https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/20387/Jorge%20Armando%20Sep%20C3%20BALveda%20Baldenebro_DP.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- The Cisco Learning Network. (06 de Abril de 2018). *Analizando los Modelos de Calidad de Servicio*. Recuperado de <https://learningnetwork.cisco.com/community/espanol/blog/2018/04/06/analizando-los-modelos-de-calidad-de-servicio>
- Zapata, M. A. (2016). *Evaluación de parámetros de calidad de servicio (QoS) para el diseño de una red VPN con MPLS* (Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica Del Ecuador, Quito, Ecuador). Recuperado de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/12327/TESIS_Evaluacion%20de%20parametros%20de%20QoS%20para%20una%20VPNMPLS.pdf?sequence=1&isAllowed=y