Estudio para mejorar el comportamiento de una red de datos WAN en ambiente productivo

Wilson Castro Sandoval
wcastros@gmail.com

Cristian David Orjuela
cdorjuelag@correo.udistrital.edu.co

Universidad Distrital: "Francisco José de Caldas"
Bogotá D.C, Colombia

Resumen - Con el fin de mejorar la respuesta de una red WAN empresarial real, se realizara un análisis detallado de técnicas de encolamiento usadas por las políticas de calidad de servicio, con el fin de encontrar la más adecuada a ser aplicada en un ambiente real empresarial.
Se realizara un previo estudio del comportamiento del tráfico en la entidad, identificando problemas en la confiabilidad y desempeño en la red, para luego proceder a la ejecución de simulaciones, definiendo cual técnica de encolamiento es más eficiente para la organización y poder realizar una serie de recomendaciones, las cuales, si son ejecutadas se podría obtener como resultado el correcto desempeño de la red IP, garantizando el tráfico de voz, datos y video, logrando reducir parámetros como el retardo (delay), saturación y perdida de paquetes, mejorando el throughput de la red, generando una respuesta adecuada de los aplicativos y servidores de la empresa.

Abstract - In order to improve the response of a real business WAN network, performing a detailed analysis of the sizing techniques used by the quality of service policies, in order to find the most appropriate to be applied in a real business environment.
A previous study of the behavior of the traffic in the entity will be made, identifying the problems in the reliability and the performance in the network, then proceeding to the execution of simulations, defining the most efficient technique of sizing for the entity and being able to perform a series recommendations, which, if executed by the IP, guaranteeing voice, data and video traffic, reducing the parameters with delay (delay), saturation and packet loss, improving the performance of the network, generating a response of the company's applications and servers.

Palabras Claves – Ancho de banda, calidad de servicio, FIFO, OPNET, PQ, WFQ.

Keywords – Bandwidth, Quality of service, FIFO, OPNET, PQ, WFQ.

INTRODUCCION

Gracias a la convergencia tecnológica de los sistemas de comunicación, los usuarios acceden a servicios de datos, voz [1] y video, a través de una sola red, sin requerir del diseño, implementación y puesta en marcha de redes independientes para cada servicio, lo que garantiza sistemas flexibles y escalables para la transmisión de información [2]. Pese a la utilización de una sola red de datos, la información disponible o usada, no se puede tratar como una sola [3], debido a que la latencia, el retardo [4], la pérdida de paquetes y el jitter pueden afectar de diferentes formas la confiablidad de ésta [5]; también, al no diferenciar el tráfico, se puede presentar saturación de troncales, generando lentitud en la transferencia de datos y en el uso de aplicativos de producción; [6] por esto es necesario tratar los grupos de información de una manera específica de forma que se garantice la integridad de datos y optimizando el uso de ancho de banda y el desempeño de las redes de comunicación [5] [7].

En ambientes productivos no es conveniente permitir la degradación de los enlaces de comunicación, ya que afectará la calidad y oportunidad en la prestación de servicios que, en la mayoría de los casos, ocasiona pérdidas económicas y disputas legales. Algunos factores, de origen técnico y humano, son generados muy a menudo por la inadecuada manipulación de la data [8] con transmisiones de alta exigencia técnica y de recursos, por sistemas de cableado (LAN y WAN) mal diseñados o en estados deficientes, o por dispositivos de cómputo y equipos activos de comunicaciones obsoletos o con configuraciones deficientes, que afectan significativamente el desempeño de las redes de transmisión. Para poder mitigar el mal manejo de la data se pueden usar mecanismos de administración de encolamiento, aplicándolas en las interfaces de los dispositivos activos en la red, permitiendo un tratamiento diferencial a cada flujo de datos, dando la opción de tratar el tráfico de acuerdo a su importancia, a continuación se explican las técnicas de encolamiento más conocidas [1]:

- *FIFO (First In. First Out):* Almacena paquetes cuando hay congestión en la red y se envían cuando se tiene la oportunidad, manteniendo el orden de llegada. Se limita por la capacidad del buffer de almacenamiento.
- *PQ* (*Priority Queues):* Permite que el tráfico importante sea tratado de una manera preferencial en cada punto de la red. Maneja colas clasificadas en alta, media, normal y baja. Los paquetes que no sean clasificados se trataran en la cola de prioridad normal. Es un mecanismo estático.
- *WFQ (Weighted Fair Queuing):* Es un algoritmo basado en flujos el cual organiza el tráfico en tiempo real y comparte el ancho de banda entre el tráfico de alta prioridad. Garantiza que todas las colas posean un mínimo ancho de banda.

En este artículo se pretende simular el comportamiento de una red de datos basado en un entorno real, analizar resultados y generar recomendaciones para la implementación futura de técnicas de calidad de servicio (QoS) [9], de modo que se use de mejor manera el ancho de banda, reduciendo las latencias y las pérdidas de paquetes sobre la red [10] [11]. Para

iniciar se describe el entorno de trabajo, es decir, la topología física de la red, lo que incluye los servidores y usuarios de los servicios de datos, voz [12] y video [13] del ambiente real y el simulado. En la segunda parte, se diagnóstica el entorno real apoyados en el protocolo ICMP (Internet Control Message Protocol) y la herramienta Cacti para determinar el porcentaje de pérdida de paquetes, la latencia y el nivel de saturación de los enlaces MPLS (red de Datos). En el tercer parte, se simula el tráfico de datos (FTP), Voz (telefonía IP) [14] y de Video (Videoconferencia) [5] sobre la herramienta Riverbed Modeler Academic (OPNET) [15], para diagnosticar, analizar y determinar, mediante la generación de gráficas, el comportamiento de la velocidad de transmisión en bytes/segundo y el retardo del mismo para cada servicio sin la utilización de técnicas de encolamiento [1] o políticas de calidad de servicio (QoS) [16]. Posteriormente, en ambiente simulado, se configuran y se aplican las técnicas de encolamiento FIFO (*First In First Out* o *Primero en entrar, primero en salir*), PQ (*Priority Queuing o Colas priorizadas*) y WFQ (*Weighted Fair Queuing o colas equitativas ponderadas*) [1], de forma que se pueda apreciar el comportamiento de la velocidad en bytes/segundo y el retardo en la transmisión de datos para cada servicio [17].En el ambiente simulado y apoyado en gráficas superpuestas para cada servicio y de técnicas de encolamiento, se muestran los resultados obtenidos durante la simulación donde se determina que no es recomendable usar una sola técnica de encolamiento para todos los servicios, y que, por el contrario, aplicarlas de forma diferenciada es recomendable para garantizar el desempeño de la red de datos aumentando la confiabilidad y oportunidad de la data transmitida. Finalmente se colocan en consideración algunas recomendaciones para la adopción futura de políticas de calidad sobre los servicios (QoS) sobre una red corporativa (WAN – LAN), en busca de la gestión y mejora del desempeño de la red de datos.

DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO DE TRABAJO (AMBIENTE REAL)

La red LAN-WAN-LAN, en su entorno simulado y real (producción), está compuesto de cinco (05) sedes regionales conectadas a través de una red MPLS, por medio de CPE (router) Cisco 800, con diferentes anchos de banda. Cada sede regional cuenta con clientes que consumen los servicios de datos (FTP), voz (VoIP) y video (Videoconferencia), desde la red LAN.

Para la medición en el ambiente real se hace uso de la solución de software libre desarrollada en PHP (de sistema operativo multiplataforma), llamada “Cacti”, que tiene la capacidad de “cazar el poder de almacenamiento y la funcionalidad para redes que poseen las aplicaciones RRDtool” [18] y entregar gráficos de avanzada basados en datos recolectados a través del protocolo SNMP (Simple Network Management Protocol).

Otra herramienta utilizada para el diagnóstico del entorno de trabajo es el Internet Control Message Protocol” (ICMP), o comúnmente llamado ***Ping,*** en el que nos apoyaremos para

determinar latencias, pérdidas de paquetes y tiempos de respuesta de los equipos y servicios interconectados en el entorno de trabajo real mostrado en la figura 1.

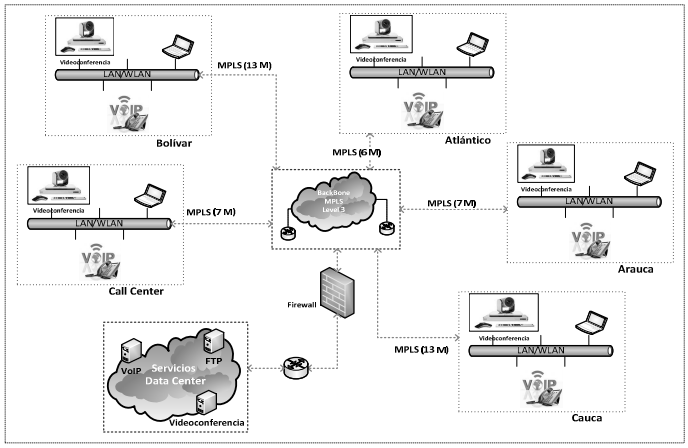


Figura 1 Arquitectura física del entorno de producción (estado del arte). Fuente: Autores

El adecuado uso y configuración de las herramientas y protocolos permiten conocer el "estado de salud" de los equipos de enrutamiento y equipos activos de comunicaciones que soportan la red LAN – WAN – LAN.

La figura 2 muestra la topología del ambiente simulado en la herramienta OPNET [19], el cual será utilizado para verificar el funcionamiento de las técnicas de encolamiento y así determinar cuál es la más adecuada, de acuerdo al tipo de tráfico usado [8].

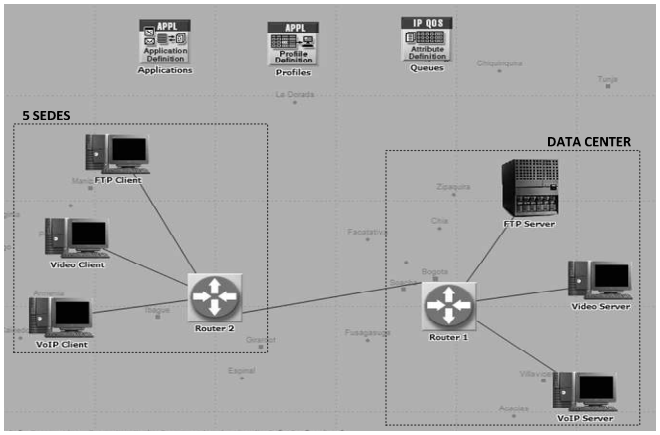


Figura 2 Arquitectura física del entorno de pruebas "ambiente simulado". Fuente: Autores.

DIAGNÓSTICO DEL ENTORNO REAL

El entorno de trabajo LAN – WAN - LAN, es soportado en su componente WAN por enlaces MPLS (Multiprotocol Label Switch), que garantizan el transporte de datos, voz y video que al experimentar un 75 % de nivel de uso (capacidad del canal), [20] se ven afectados en su desempeño (degradación), debido a que de una forma u otra cada servicio compite con el otro por la utilización del ancho de banda disponible del canal (mejor ambiente), lo que ocasiona problemas para el transporte de la información, peticiones y respuestas, que sin la adecuada priorización del tráfico, mediante técnicas de encolamiento (QoS) [6], a nivel enlace de comunicación (MPLS), generan saturación, pérdidas de paquetes y latencias altas que el usuario, a nivel de aplicación, experimenta en lentitud de procesos, robotización de la voz (VoIP), y/o pixelación, freezeo o congelamiento de la imagen en sesiones de videoconferencia [4].

La degradación es común experimentarla en los servicios de voz y video, teniendo en cuenta que para el establecimiento del servicio (usuarios – herramienta – usuarios), se usa el protocolo UDP (orientado a no conexión), donde no se aplican algoritmos de corrección de errores, por lo que no es posible recuperar los datos perdidos [3].
Las pruebas realizadas sobre el entorno de trabajo descrito, determinan que los enlaces de comunicaciones están degradados y aunque no existen pérdidas de paquetes, el nivel de saturación es importante e impacta negativamente el desempeño de la red y los servicios.

Las figuras 3 y 4 muestran los tiempos de respuesta del enlace MPLS de Caldas, segmento de red 1722.16.45.0/24, encontrándose en igual de condiciones los cuatro (04) enlaces restantes.

Las pruebas se ejecutan contra los servidores ubicados en el Data Center principal, que ilustran tiempos promedios de 120 ms y máximos de entre 3700 ms a 3982 ms (degradación total), que no garantizan tiempos óptimos de respuesta de las aplicaciones corporativas (que en promedio son de 20 ms en condiciones normales).

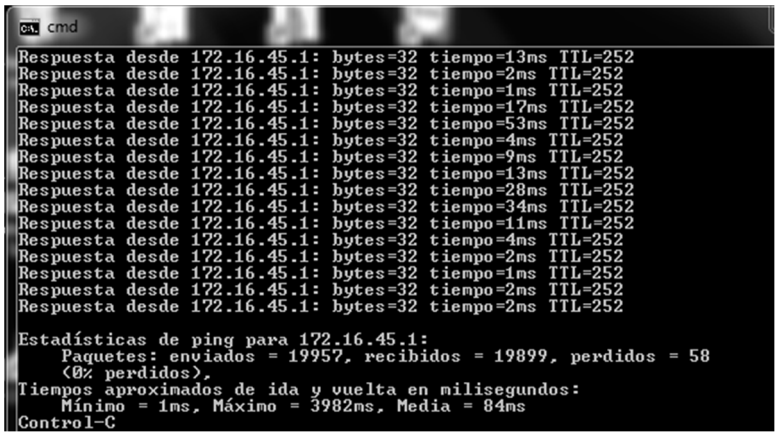


Figura 3 Pruebas de ping (ICMP) sobre el enlace MPLS. Fuente: Autores.

En la figura 4, se muestra el nivel de saturación al 100 % del enlace MPLS del Call Center, que cuenta con 7 M de ancho de banda (BW).

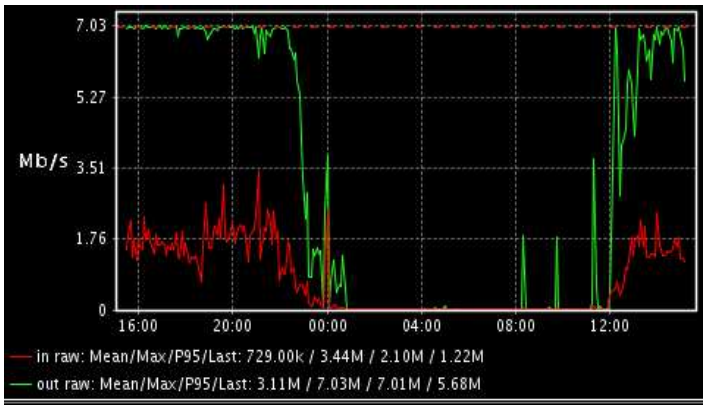


Figura 4 Nivel de saturación del enlace MPLS del Call Center. Fuente: Autores.

Los enlaces saturados y con latencias altas, pueden generar pérdidas de paquetes, disminuyendo significativamente el desempeño y nivel de tolerancia a fallos de una red MPLS, dando como resultado la prestación de servicios de mala calidad, aspecto que no es tolerable en ambientes productivos y de prestación de servicios.

ESCENARIO DE SIMULACIÓN

Se valida el desempeño del entorno (*Figura 2. Arquitectura física del entorno de pruebas "ambiente simulado"),* mediante la generación de gráficas con la herramienta de simulación Riverbed – OPNET, para cada servicio configurado (datos, voz y video), obteniendo datos sobre el comportamiento del tráfico (bytes/segundo), y del retardo (Delay), sin la aplicación de políticas o técnicas de calidad de servicio (QoS).

Para efectos de la simulación, para cada servicio se configura un servidor en el Data Center y los usuarios clientes en una sola sede de las cinco (05).

En la figura 5 se muestra la configuración de la simulación presenta 4 componentes:

- El Entorno de Red (LAN – WAN – LAN).
- Las aplicaciones (servidores FTP, VoIP y Videoconferencia).
- Los perfiles (los usuarios clientes).
- Las técnicas de encolamiento (Queues), FIFO, PQ y WFQ para cada servicio.

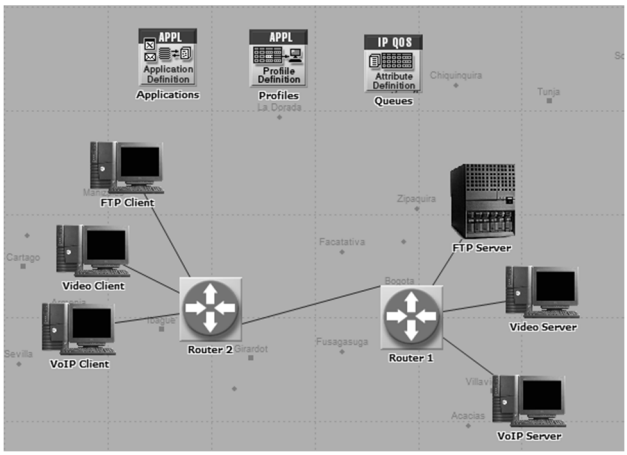


Figura 5 Componentes del escenario de simulación. Fuente: Autores.

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN (Sin QoS)

Para la simulación se toman tiempos de prueba con duración de 500 segundos, evaluando los criterios de tráfico recibido (bytes/segundo) para cada servicio configurado (FTP, VoIP y Videoconferencia).

La figura 6, muestra un comportamiento cíclico e incremental con relación al tiempo de la simulación (500 segundos), donde el eje Y muestra la cantidad promedio de bytes enviados y el eje X el tiempo de transmisión, por consiguiente, se aprecia que a medida que transcurre el tiempo aumenta la tasa de transferencia de bytes, pasando de 30 mil bytes en el primer minuto a 90 mil en 9 minutos.

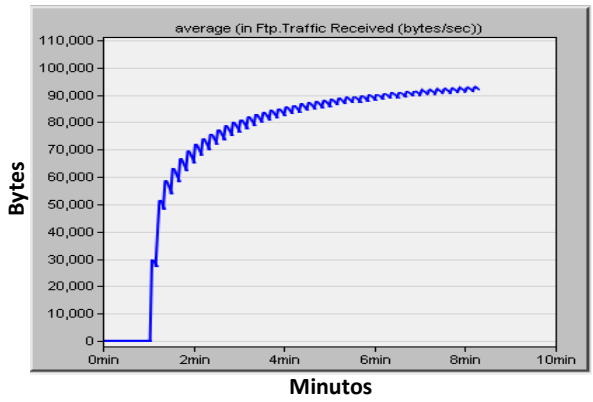


Figura 6 Tráfico recibido (bytes/segundo) del servicio FTP. Fuente: Autores.

Los resultados que muestra la figura 7, permiten observar el aumento de la velocidad en la transmisión de tráfico (bytes/segundo) en un tiempo determinado para el servicio de videoconferencia. El tráfico transmitido es bastante alto en comparación con el servicio FTP.

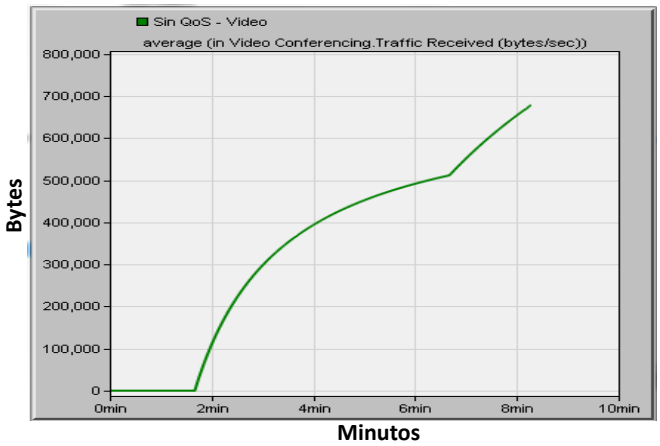


Figura 7 Tráfico recibido (bytes/segundo) del servicio de videoconferencia. Fuente: Autores.

La figura 8 ilustra el comportamiento progresivo e incremental de la transmisión de bytes/segundo para el servicio de voz, donde se observa un retardo similar al del servicio de Video Conferencia, pero la cantidad de bytes transmitidos en el mismo tiempo es mucho mayor.

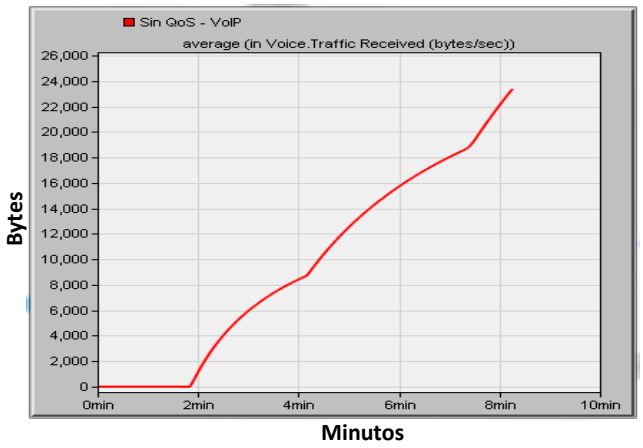


Figura 8 Tráfico recibido (bytes/segundo) del servicio de VoIP. Fuente: Autores.

La figura 9 permite hacer un comparativo en la velocidad de transmisión de bytes/segundo de cada servicio; donde se establece que la tasa de transferencia es mayor en videoconferencia; la velocidad de transmisión para el servicio de voz es incremental pero la cantidad de Bytes es muy pequeña; para el servicio de FTP se evidencia un incremento exponencial durante un periodo de tiempo pequeño, luego toma un comportamiento casi lineal.

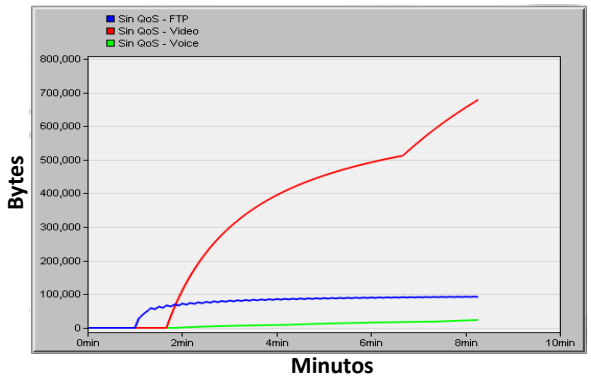


Figura 9 Comparativo del tráfico recibido (bytes/segundo) de los servicios de FTP, VoIP y Videoconferencia. Fuente: Autores.

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON CALIDAD DE SERVICIO (QoS)

Se procede a realizar las simulaciones de las técnicas de encolamiento usando las mismas variables empleadas en el ambiente sin calidad de servicio, de forma que se puedan comparar las gráficas resultantes. Las variables usadas son:

- Duración: 500 segundos.
- Criterio: bytes/segundo.
- Retardo
- Servicios: FTP, VoIP y Videoconferencia.

Se configuran las políticas de Calidad de Servicio (FIFO, PQ y WFQ), basado en los perfiles establecidos en la herramienta OPNET (figuras 10, 11 y 12).

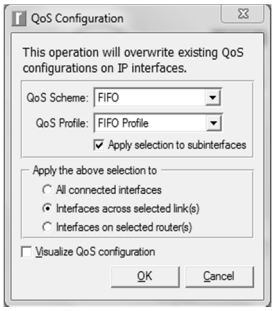


Figura 10 Configuración técnica de encolamiento FIFO. Fuente: Autores.

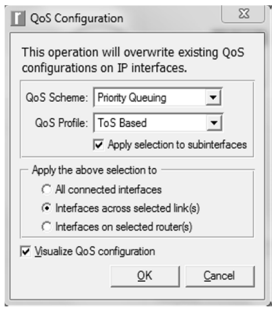


Figura 11 Configuración técnica de encolamiento PQ. Fuente: Autores.

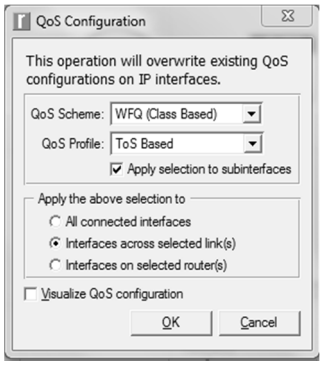


Figura 12 Configuración técnica de encolamiento WFQ. Fuente: Autores.

A continuación, se muestran y se analizan las gráficas para el tráfico de cada servicio.

Velocidad de transmisión (bytes/segundo): La figura 13, muestra la velocidad de transmisión en bytes/segundo para el servicio FTP, concluyendo que las técnicas FIFO y WFQ garantizan mayor velocidad en la transmisión de datos; siendo 40% más rápido el envío de datos. FIFO es mejor que WFQ en la cantidad de Bytes transmitidos, debido a que en un mismo periodo transfiere 21% más datos.

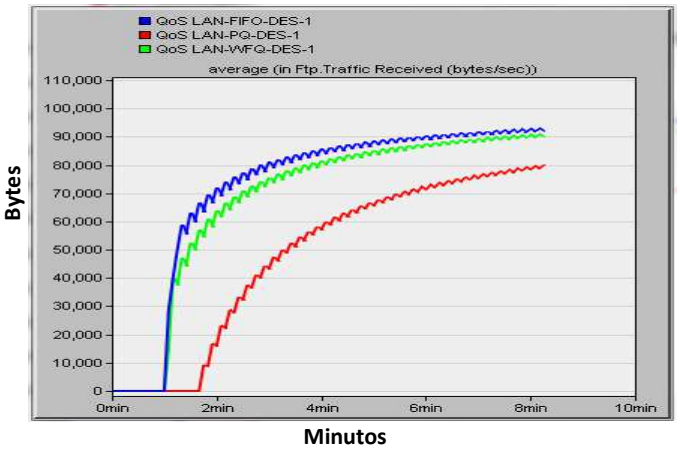


Figura 13 Paralelo de la velocidad del tráfico (bytes/segundo) para el tráfico de FTP. Fuente: Autores.

La técnica WFQ, garantiza mayor velocidad de transmisión de videoconferencia y en la figura 14 se observa que las restantes técnicas no mejoran el comportamiento. WFQ inicia la transmisión en 96 segundos, mientras que FIFO inicia en 7,36 minutos, siendo 460% más lento, es decir que WFQ es 21.8% mas rápido.

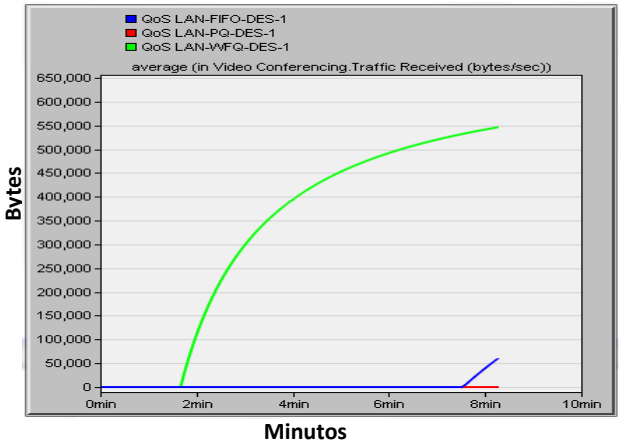


Figura 14 Paralelo de la velocidad del tráfico (bytes/segundo) para el servicio de videoconferencia. Fuente: Autores.

La VoIP presenta un comportamiento similar al de Video conferencia, con la salvedad de la cantidad de Bytes transmitidos, respecto al FTP el consumo de tráfico es muy diferente. La técnica PQ mejora el desempeño de la velocidad de transmisión de la voz. Esto se puede observar en la figura 15. PQ comienza a transmitir datos en 100.8 segundos siendo 1.7% más rápido que FIFO y WFQ; a nivel de cantidad de datos transmitidos PQ envía 8888.9 Bytes más que FIFO y WFQ, enviando el doble de datos.

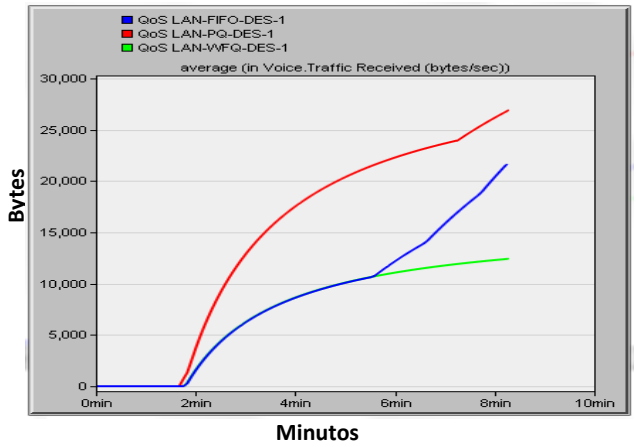


Figura 15 Paralelo de la velocidad del tráfico (bytes/segundo) para el servicio de voz (VoIP). Fuente: Autores.

Retardo de transmisión "Delay": La gráfica 16, muestra comportamiento similar del retardo, 100 segundos aproximados, en la transmisión de datos una vez aplicadas las tres técnicas de encolamiento.

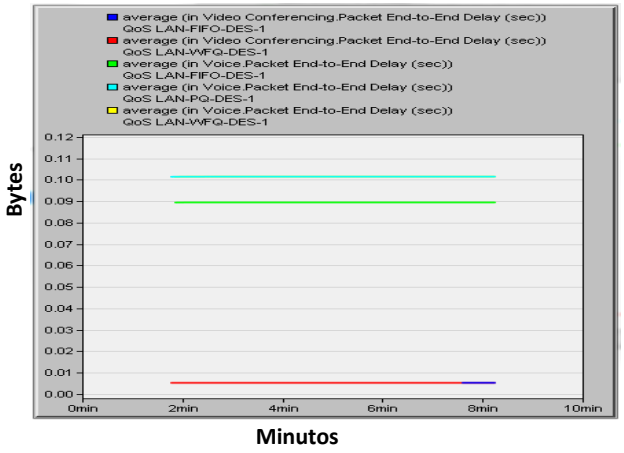


Figura 16 Delay de los servicios de videoconferencia y voz – Técnicas de encolamiento Fuente: Autores.

GRAFICAS COMPARATIVAS TECNICAS DE ENCOLAMIENTO

Se procede a realizar la comparación de las gráficas de tráfico de las diferentes técnicas de encolamiento y del consumo sin QoS, para confirmar cual es la más efectiva de acuerdo al tipo de datos manejados (FTP, VoIP y Video Conferencia).

En la figura 17 se muestra la respuesta de tráfico para la transferencia de archivos sin el uso de calidad de servicio y con la aplicación de las tres técnicas de encolamiento FIFO, PQ y WFQ, se evidencia que la mejor respuesta es con FIFO:

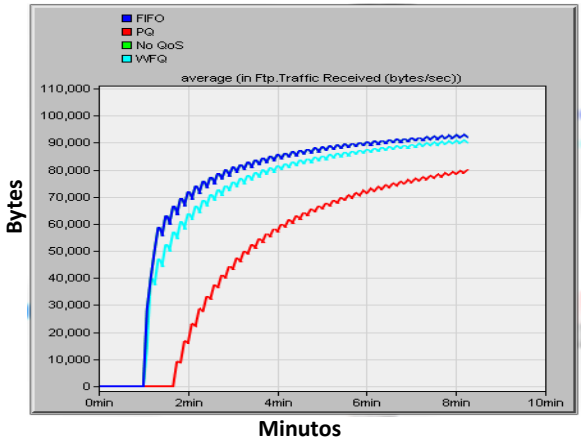


Figura 17 Grafica de tráfico de las tres técnicas de encolamiento y sin QoS para FTP. Fuente: Autores.

En la figura 18 se muestra el comparativo para el tráfico de video conferencia, se encuentra que las técnicas de encolamiento FIFO y PQ no son adecuadas para este tipo de tráfico, mientras que WFQ y sin QoS tienen un comportamiento muy similar:

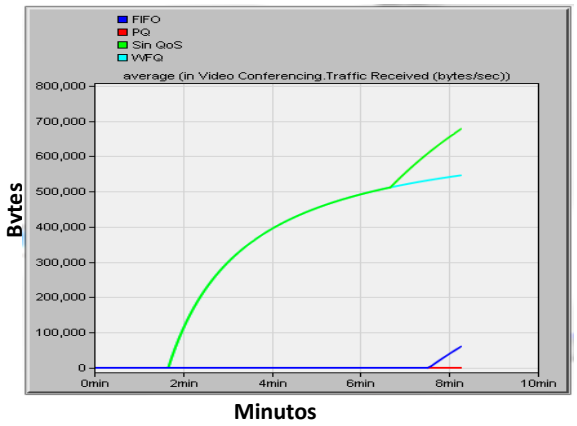


Figura 18 Grafica de tráfico de las tres técnicas de encolamiento y sin QoS para video conferencia. Fuente: Autores.

Por último, la figura 19 indica que la cola de encolamiento más eficiente para el tráfico de voz es la PQ.

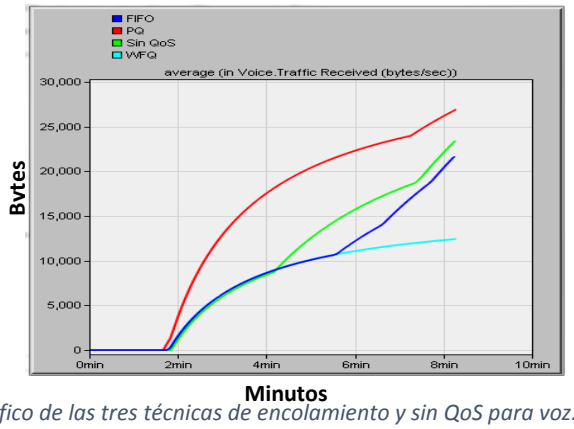


Figura 19 Grafica de tráfico de las tres técnicas de encolamiento y sin QoS para voz. Fuente: Autores.

RECOMENDACIONES

Se requiere identificar todos los servidores de producción generando una clasificación en: muy crítico, crítico y no tan crítico.

Es necesario conocer el funcionamiento y consumo de ancho de banda de los diferentes servicios para de este modo poder asignar recursos suficientes para su correcto funcionamiento.

Para mejorar la respuesta de los aplicativos, disminuyendo la latencia, es preciso realiza la implementación de coles de tráfico de acuerdo al servicio que se vaya a consumir, es decir, para tráfico de trasferencia de datos se debe usar la técnica FIFO, para voz la técnica PQ, para video se puede usar WFQ debido que esta técnica permite la asignación de un ancho de banda determinado para servicios diferenciados.

Después de configuradas las colas de servicios en los CPE, se debe mantener monitoreo constante sobre los canales para garantizar que no se presenten nuevas saturaciones, y que los tiempos de latencia son adecuados.

CONCLUSIONES

Al presentarse problemas de lentitud o intermitencia en una red de datos de producción, se deben verificar todos los factores que intervienen en la ruta de conexión, desde los equipos de los usuarios, pasando por el cableado estructurado, equipos activos servidores y aplicaciones.

Siempre es necesario realizar una clasificación de tráfico, identificando grupos de usuarios y servidores en rangos como: Muy crítico, Crítico, Moderadamente Critico, No crítico, logrando optimizar el funcionamiento de aplicaciones que sean vitales para el core de negocio.

En muchas ocasiones se puede mejorar la respuesta de servicios y aplicaciones en una red de datos, con ajustes de configuración en equipos activos, sin necesidad de recurrir en gastos adicionales (adquisición de nuevos canales y equipos, ampliaciones innecesarias de canales de comunicaciones, cambio de cableado estructurado)

Antes de realizar la implementación de calidad de servicio sobre una red en operación, es necesario conocer previamente con detalle la topología física y lógica de la infraestructura; también, se debe hacer un análisis detallado del comportamiento del tráfico por servicio para garantizar que después de aplicado el QoS se logre una mejora en el funcionamiento de la red y no se empeoren los parámetros que la están afectando.

La técnica de encolamiento WFQ es mejor para transmitir video (mayor tasa de transferencia) con misma latencia, iniciando 21% más rápido a transmitir bytes; FIFO es más adecuada para la trasferencia de archivos (FTP) debido a que envía datos 40% más rápido 21% más datos que las otras técnicas de encolamiento; PQ mejora el desempeño en la transmisión de VoIP enviando 50% más datos y 1.7% más rápido que FIFO y WFQ.

Una red de datos en ambientes reales de producción deben estar en constante monitoreo, y se deben realizar planes de mejora de manera proactiva para evitar fallas críticas, que puedan generar una interrupción de servicio.

REFERENCIAS

[1] R. A. Quiroz, *Calidad de servicio (QoS) en la infraestructura de red del Colegio de Ingenieros del Perú - Sede Cajamarca*, Cajamarca – Perú, Universidad Nacional de Cajamarca, Año 2014, 109 paginas.

[2] A. J. Rodríguez, *Evolución de las Redes de Telecomunicaciones y Calidad de Servicio en Redes de Nueva Generación NGN en el Ecuador,* Quito – Ecuador, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Año 2016, 202 paginas.

[3] J. A. Calderón, *Calidad de servicio en el despliegue de un servicio de video streaming*, Lima – Perú, Pontificia Universidad Católica del Perú, Año 2014, 53 paginas.

[4] F. N. Carrillo, A. Calderon, "Parámetros de calidad de servicio en redes IP", Electronica – UNMSM, Pagina 31, Lima – Perú, Diciembre de 2008.

[5] L. C. Azogue, *Calidad de servicio (QoS) en la red MAN de la empresa eléctrica Ambato Regional Centro Norte S.A. (E.E.A.S.A.) y sus sucursales*, Ambato – Ecuador, Universidad Técnica de Ambato, Año 2015, 187 paginas.

[6] M. C. Romero, *Calidad de Servicio (QoS) en redes,* Sevilla – España, Universidad de Sevilla, Año 2009, 28 páginas.
[7] W. R. Arraya, *Calidad de servicio en redes IP*, Santiago de Chile – Chile, Servicios Profesionales en Red, Año 2006, 1210 paginas.
[8] J. A. Quevedo, A. S. Garcés, "Calidad de servicio e implementación en red LAN", Bogotá – Colombia, Junio de 2016.
[9] J. P. Lopez, *Análisis, diseño e implementación de calidad de servicio (QoS) en la red LAN y WAN de la unidad de negocios CELEC Termopichincha*, Quito – Ecuador, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Año 2016, 255 paginas.
[10] F. Gacharná, "Calidad de servicio en redes IP", *Revista Inventum*, Pagina 37, Bogotá – Colombia, Noviembre de 2007.
[11] R. Martínez, E. Díaz, S. Castillo, K. L. Sánchez, "Propuesta para el manejo de la congestión de la UCI", XVI Convención y Feria Internacional, La Habana – Cuba, Marzo de 2016.
[12] J. A. Vidal, *Diseño una propuesta de mejoramiento en la infraestructura de red de datos en la ESPAM MFL con calidad de servicio*, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador, Año 2016, 99 paginas.
[13] W.F. Escobar, *Estudio del tráfico de voz y datos para el correcto dimensionamiento de los enlaces del Consejo de la Judicatura ubicados en el Canton Shushufindi Provincia de Sucumbios*, Quito – Ecuador, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Año 2016, 54 paginas.
[14] M. F. Blanco, C. M. Lovera, "Evaluación de los parámetros que afectan la calidad de servicio en telefonía IP", Revista Ingeniare, Pagina 61, Barranquilla – Colombia, Junio de 2015.
[15] L. N. Fernández, *Control de congestión con OPNET*, Valladolid – España, Universidad de Valladolid, Año 2010, 191 paginas.
[16] Departamento de Ingeniería Telemática, *OPNET: Manual de usuario*, Cataluña – España, Universidad Politécnica de Cataluña, Año 2005, 40 páginas.
[17] Cisco, *Calidad de servicio para Voz sobre IP,* California – Estados Unidos, Cisco Systems Inc, Año 2008, 29 paginas.
[18] Fundación Wikipedia. Cacti, en línea. Consultado en Agosto 30 de 2017, disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Cacti
[19] OPNET, *OPNET Simulator,* OPNET Technologies Inc. Maryland- Estados Unidos. 5 paginas.
[20] M. G. Molina, *Análisis de la Utilización de Calidad de Servicio (Qos) en Redes de Nueva Generación (NGN) en el Ecuador,* Guayaquil – Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Año 2013, 221 paginas.