

Evaluación de la calidad de los servicios en redes E-MAN

Eduardo de la Cruz Gámez* y Félix F. Álvarez Paliza**

Resumen

Ethernet, al evolucionar a través del tiempo, ha presentado la necesidad de un mejor desempeño en el tráfico de datos; propuestas como la implementación del protocolo 802.1p ofrecen hasta cierta medida un control de la calidad de los servicios (QoS), pero al crecer la red Ethernet a ambientes metropolitanos (E-MAN), surgen nuevos retos. Este trabajo evalúa los parámetros de desempeño necesarios para caracterizar la red E-MAN, y analiza un nuevo procedimiento para abordar los problemas de la calidad de los servicios; este trabajo también analiza el comportamiento del desempeño de un modelo de simulación basado en el núcleo de backbone de una red metropolitana RPR.

Palabras claves: Tráfico de datos, simulación, servicios Ethernet.

Abstract

Ethernet, when evolving through time, has presented the need of a better performance in data traffic. Proposals such as the implementation of protocol 802.1p offer to some extent a control of quality of services (QoS), but when Ethernet net grows to metropolitan environment (e-man), new challenges arise. This work evaluates performance parameters need to characterize e-man net, and analyzes a new procedure to approach the problem of quality of services. This work also analyzes the performance behavior of a simulation model based on the backbone nucleus of a metropolitan net rpr.

Key words: Data traffic, simulation, Ethernet services.

Fecha de recepción: 11 de mayo de 2005
Fecha de aceptación: 2 de mayo de 2006

* Ingeniero en sistemas computacionales, Instituto Tecnológico de Acapulco (México).
egamez@it-acapulco.edu.mx

Dirección: Etapa XV. Edificio 13, Dpto. 102, Infonavit Coloso, C.P. 39810. Acapulco, GRO (México).

** Departamento de Telecomunicaciones y Electrónica, Facultad de Ingeniería Eléctrica. Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas, Santa Clara (Cuba).

Dirección: Instituto Tecnológico de Acapulco. Av. Instituto Tecnológico S/N C.P. 39905 Acapulco, Coro (México).

1. INTRODUCCIÓN

Implementar Ethernet en redes de área metropolitana (E-MAN) no sólo involucra el hacer crecer dimensionalmente la red topológica, sino también hace implementar las prestaciones que tradicionalmente se encuentran en la red Ethernet LAN a una red MAN (costos reducidos, compatibilidad, rapidez), pero conservando las ventajas de una rápida restauración de las redes MAN de anillo (RPR, SONET/SDH). Además de esto, es necesario que la red E-MAN presente características de un excelente control del retardo, jitter, disponibilidad, respuesta y pérdida de datos, para lo cual varias estrategias se están trabajando: IntServ, DiffServ, MPLS, etc. Por último, se analiza el comportamiento del desempeño de un modelo de simulación utilizando la herramienta Opnet y el protocolo de transporte RPR en el núcleo de una red Metropolitana.

2. DESARROLLO

En octubre del 2003, el Foro Ethernet Metro (MEF) publicó la primera fase de las especificaciones de los servicios Ethernet Metropolitana; según Santitoro [1], se definen dos tipos de servicios Ethernet: punto a punto y multipunto a multipunto. La interfaz de usuario-red (UNI), entre el equipamiento del usuario final y la red MEN, puede usar los estándares desde 10 Mbps hasta 10 Gbps. Diferentes UNI's están conectadas por Conexiones Virtuales Ethernet (EVC) punto a punto y multipunto a multipunto, que proporcionan el envío de tramas por medio de unicast, multicast o broadcast. Un UNI puede soportar múltiples EVC's hacia otros UNI's. El MEF define atributos de servicios que se pueden aplicar a los UNI's, a EVC's individuales o a clases específicas o servicios dentro de un EVC, por ejemplo: interfaz física usada, ancho de banda (*Committed Information Rate, Committed Burst Size*, etc.) y parámetros de desempeño (disponibilidad, retardo de las tramas, jitter y pérdida de tramas).

Una gran variedad de tecnologías de transporte pueden ser usadas en la E-MAN. La conmutación de etiquetas multiprotocolo (MPLS), en conjunto con enrutamiento rápido MPLS, puede proporcionar protección local en un tiempo de 50 milisegundos. Esta característica de calidad de los servicios es muy similar al tiempo de respuesta en caso de una falla que presentan las redes de capa 2 basadas en el concepto de anillos dobles (e.g., *Resilient Packet Ring*).

En el 2004, el Foro Ethernet Metro publicó una propuesta de un marco de trabajo para definir un modelo de calidad de los servicios aplicado a un ambiente Ethernet Metropolitano. Según Khaldekar [2], son muy variadas las estrategias por implementar para esta tarea. Diversos mecanismos deben de

coexistir en una red que no integra únicamente una sola tecnología de tráfico de datos, sino toda una compleja estructura de servicios, redes y protocolos.

Según el marco de trabajo presentado por el Foro Ethernet Metro en los extremos finales de la red, donde los usuarios finales tienen contacto con la red metropolitana, es necesario implementar políticas para la clasificación y etiquetado de paquetes y para el uso eficiente del ancho de banda; así mismo, se requiere implementar métodos de señalización, enrutamiento y un gestor de políticas para la calidad de los servicios.

3. REQUERIMIENTOS DE LA CALIDAD DE LOS SERVICIOS EN UNA RED E-MAN

Con el fin de caracterizar la calidad de servicios, numerosas iniciativas como IPPM (*IP Performance Metrics*) [3] definen un conjunto estandarizado de métricas que pueden ser aplicadas para caracterizar la calidad del servicio, el desempeño y la confiabilidad de los datos que transitan a través de una red IP. La definición de métricas ya aceptadas como estándares de Internet (RFC) por las anteriores iniciativas son las siguientes: conectividad [RFC 2330], retardo y pérdida unidireccional (*one-way*) [RFC 2679, 3357, 2680, 3763], retardo y pérdidas de vuelta completa (*round-trip*) [RFC 2861], variación del retardo [RFC 3393], patrones de pérdidas de paquetes [RFC 3357], reordenamiento de paquetes [trabajo en progreso], capacidad de transporte ante cargas altas de tráfico [RFC 3148] y capacidad del ancho de banda del enlace.

Las definiciones del apartado anterior son sólo algunos de lo más importantes parámetros que son tomados en cuenta cuando se realiza un análisis del comportamiento del tráfico de una red de datos; autores como Wong [4] proponen experimentos que les permiten medir el comportamiento de parámetros como el jitter o la congestión de la red, y se han podido caracterizar en tecnologías como *GigabitEthernet* o *Resilient Packet Ring*, pero éstos son experimentos en los cuales la topología de la red no es tan compleja como en la vida real. Por este hecho, necesitamos también de diversos mecanismos para asegurar la calidad de los servicios de extremo a extremo de la red, sobre todo cuando ésta se vuelve compleja.

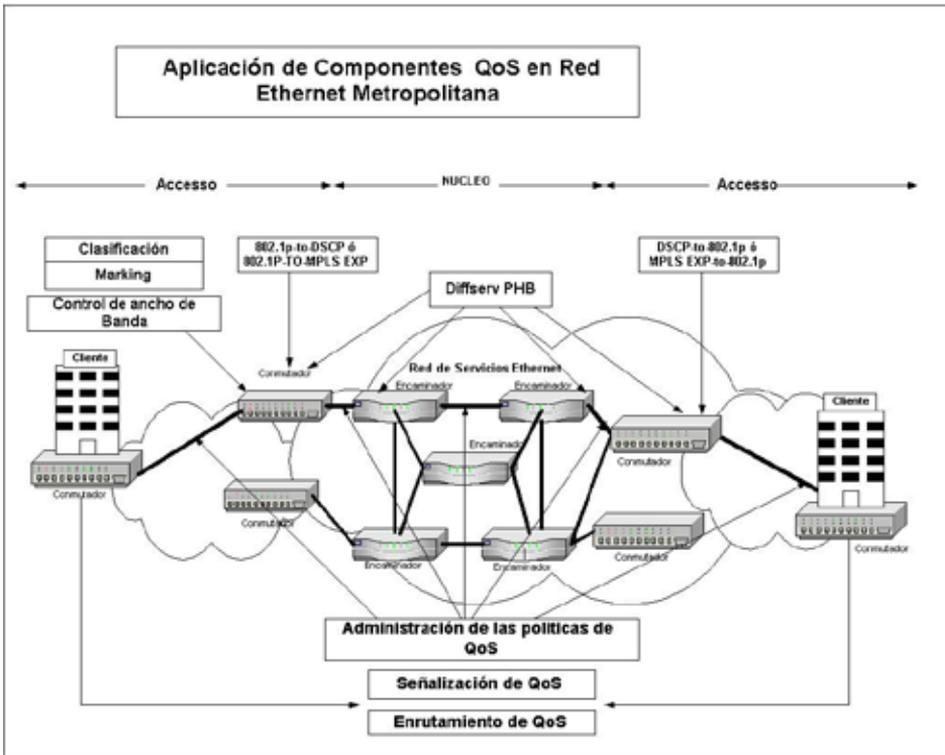


Figura 1

Topología de red compleja con diversas soluciones de QoS

La figura 1 muestra los nodos de los usuarios finales, punto esencial donde es necesario implementar políticas para la clasificación y etiquetado de paquetes y para el control del ancho de banda; así mismo, es necesario implementar un método de señalización y enrutamiento para la calidad de los servicios y un sistema gestor de políticas para la calidad de los servicios. A continuación se propone un modelo funcional para la integración de la calidad de los servicios a una red Ethernet-Metropolitana.

En los nodos frontera, los cuales tendrán una conexión directa entre la red LAN Ethernet y el Backbone MAN, es necesario implementar mecanismos como los puntos de código de servicios diferenciados (DSCP) o Conmutación de Capas Multiprotocolo (MPLS), trabajando en conjunto con los servicios tradicionales de 802.1p. Los servicios diferenciados de comportamiento por salto (PHB) también se encuentran en este nivel. En el núcleo del backbone que oferta el servicio Metro-Ethernet es particularmente necesario contar con un sistema gestor de políticas para la calidad de los servicios y los servicios

diferenciados de comportamiento por salto (PHB). Un elemento central en esta propuesta es incluir al protocolo *Resilient Packet Ring* (Std IEEE 802.17) como un mecanismo que nos asegure una confiabilidad en el transporte de tramas Ethernet mediante restauraciones rápidas de fallas en los enlaces, gracias a su doble anillo y equidad en el reenvío de tramas sobre el núcleo de la red metropolitana.

4. CLASIFICACIÓN DE LOS SERVICIOS

El esquema propuesto [2] puede proporcionar dos tipos de servicio de calidad: por un lado, el tradicional servicio de mejor esfuerzo y, por otro, un servicio asegurado (figura 2).

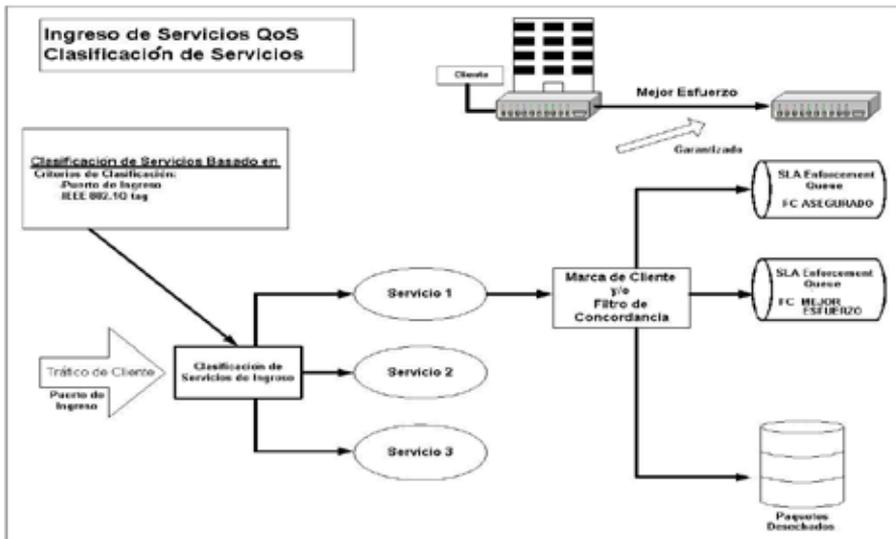


Figura 2

Clasificación de los servicios en el nodo de ingreso

Los paquetes generados en el extremo del cliente arriban a un sistema de clasificación de ingreso de servicios, el cual se basa en criterios establecidos en el nodo de frontera y las etiquetas 802.1p. Esta clasificación genera distintos tipos de servicios, los cuales ingresan a un subsistema de filtrado de concordancias (*filter match*), que es conocido como *Customer Marking*.

Este subsistema entrega, a la vez, la clasificación de paquetes al nodo frontera del núcleo de la red, pero con las siguientes clasificaciones de prioridad de tráfico: encolado forzado SLA (*SLA Enforcement Queue*), asegurado FC

(FC-Assured), mejor esfuerzo FC (FC-Best Effort), o simplemente se desecha el paquete [5].

Las anteriores políticas de tráfico se basan en tres reglas generales, hacer cumplir el valor de caudal CIR (*Committed Information Rate*), el cual es el valor mínimo de ancho de banda garantizado para un servicio Ethernet, y donde el valor cero es el correspondiente para el mejor esfuerzo. Los valores por debajo de la tasa CIR son considerados importantes, y los valores por encima de CIR son desechados.

5. MÉTRICAS DE CALIDAD DE SERVICIO (QOS) POR OBTENER DE EXTREMO A EXTREMO

Dos tipos de clasificaciones de QoS se pueden caracterizar: *QoS Relativa/Suave* implementa los mecanismos bien conocidos de la IETF para una arquitectura de servicios diferenciados; otros mecanismos, como IP DiffServ, IEEE 802.1p o incluso MPLS, son también propuestos. Y es imperativo definir políticas concisas de QoS a través de todo lo ancho de la red de datos. Esta propuesta es usada para proporcionar un servicio equivalente a un mejor esfuerzo (*Best-Effort*), o como también se le conoce: *tipos de servicio asegurados*. Por otro lado, tenemos la clasificación que se le conoce como *QoS Absoluta/Dura*, que usa una señalización basada en un control de admisión de conexiones; esta señalización puede ser utilizando el protocolo RSVP-TE o CR-LDP. Es importante el uso de protocolos como MPLS-LSP para garantizar un ancho de banda asegurado. Además, se proponen también mecanismos de enrutamiento como IGP basado en OSPF. Esta propuesta se considera útil para proporcionar un servicio *premium* o tipos de servicio *expedito*.

Actualmente dos enfoques diferentes son considerados cuando se trata el problema de la calidad de los servicios en una red de datos: la arquitectura de servicios integrados (IntServ), que utiliza el protocolo de reserva de recursos (RSVP), y la capacidad de clasificación de paquetes IP, que es utilizada por la arquitectura de servicios diferenciados (DiffServ), el cual utiliza el campo DSCP del encabezado IP.

La IETF [6] ha propuesto una arquitectura híbrida que toma las mejores características de ambos enfoques. El núcleo de la red tendrá un enfoque basado en las características del DiffServ para un mejor manejo de los problemas de escalabilidad. En esta propuesta, IntServ es utilizado solamente en los extremos de la red. Dado que la red IntServ y la red DiffServ se encuentran interconectadas a través de enrutadores de borde y enrutadores fronterizos, es posible proporcionar calidad de los servicios de extremo a extremo.

6. DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SERVICIOS EN UNA RED E-MAN

Una vez caracterizados los parámetros ideales para proporcionar calidad de los servicios a una red Ethernet Metropolitana, podemos obtener una descripción de parámetros de la calidad de los servicios de cada una de las tecnologías involucradas en la red E-MAN. Este trabajo (tabla I) considera que tres tecnologías son esenciales para la convergencia en la red E-MAN: *Paquete de Anillo Optimizado (RPR)*, *Gigabit Ethernet* y *Conmutación de Etiquetas Multi-protocolo (MPLS)*. Cada una de estas tecnologías presenta diversos parámetros de calidad de los servicios y desempeño que las caracterizan. Se describen también los tipos de pruebas que se proponen ejecutar en cada una de las tecnologías y las herramientas de medición utilizadas [7].

Tabla 1

Parámetros por considerar, tipos de pruebas y herramientas por utilizar

Tecnología	Parámetros por considerar	Pruebas	Herramientas
Gigabit Ethernet	Retardo (delay) Throughput (utilización) Fairness (equidad) Estabilidad ante cargas altas Pérdidas de paquetes Prioridades	Throughput End-to-end latency Recuperación ante fallas Throughput, Pérdidas de paquetes Latencia.	Netperf Netflow Smartbits 6000 y 2000 Smartflow V1.30.020 Smartmulticast IP V1.26
Resilient Packet Ring (RPR)	Fairness (equidad) Reutilización espacial Recuperación ante fallos Garantía de ancho de banda Prioridades	Throughput large frames Expedited Forwarding Weighted Random Early Detect (WRED) Recuperación ante fallos	Smartflow V1.30.020 Smartbits 6000 y 2000 Smartflow V1.30.020 SmartmultiCast IP V1.26
MPLS	Congestión en la red Uso eficiente del ancho de banda Throughput (utilización) Enrutamiento Prioridades	MPLS EXPLICIT LSPS Congestión de la red Throughput IGP Protocol MPLS CoS/QoS Prioridades de Reserva de ancho de banda Round-trip latency	Netperf Smartbits 6000 Smartmulticast IP V1.26

La herramienta Netperf se utiliza para la medición del desempeño y utilización del canal, latencia de extremo a extremo (*end-to-end latency*). Netperf es usada también para mediciones en MPLS. Smartbits 2000 es utilizado para generar y monitorear tráfico en la red Ethernet. La versión 6000 de Smartbits se utiliza para enlaces Ethernet y paquetes sobre RPR, e incluso Smartbits es capaz de generar tráfico de paquetes de tipo MPLS. Smartflow es otra aplicación ampliamente utilizada para analizar el desempeño de la capa de enlace de datos y red, e incluye la característica de analizar el desempeño y comportamiento de dispositivos de redes basadas en el concepto de vigilancia (*policing*). Smartflow también es capaz de reportar el correcto manejo del desempeño de las políticas de red y ancho de banda basadas en atributos como Diffserv, procedencia IP, prioridades de VLAN, protocolo y número de puerto. Smartmulticast es otra herramienta diseñada para el monitoreo de enrutadores y conmutadores (capas 2 y 3); ejecuta pruebas de desempeño de utilización, tasa de envío y pruebas de latencia, pérdidas de paquetes por flujo (*loss per stream*).

7. SIMULANDO TRÁFICO CLASE C (MEJOR ESFUERZO) EN EL NÚCLEO DE LA RED METROPOLITANA UTILIZANDO RPR

Las herramientas de simulación también se pueden utilizar para crear modelos que nos permitan caracterizar sistemas específicos de redes, y dado los bajos costos de su implementación, son una opción viable para la modelación de nuevas estrategias o algoritmos de comportamiento de las redes. Entre las herramientas más utilizadas encontramos a Opnet, Omnet y NS-2.

Para nuestras simulaciones utilizamos el modelo del Std. IEEE 802.17 [8], desarrollado por el laboratorio de redes ópticas de la Universidad de Carleton. Nuestro objetivo fue analizar el comportamiento de la utilización (*throughput*) en el núcleo del backbone de una red metropolitana basada en el protocolo *Resilient Packet Ring* (RPR). El modelo consta de dos escenarios: el primero de ellos con una red de anillo doble con 6 nodos interconectados por medio de enlaces dobles OC-12 (622 Mbps); el segundo consta de una red de 12 nodos. Cada nodo cuenta con 2 enlaces de ingreso y 2 enlaces de egreso (*inter ring, outer ring*) para transporte de tramas en direcciones contrarias. La circunferencia total del anillo se consideró de 90 kms.; la velocidad de propagación se establece a 2 milisegundos. El tipo de tráfico generado se establece con una distribución de probabilidad constante y una tasa de generación de paquetes de 175,000 por segundo, con un tamaño de trama de 4.400 bits. El modelo fue desarrollado con la herramienta Opnet [9], basado en el draft 3.0 del Std 802.17 de mayo del 2004 (figura 3).

Se estableció que cada nodo/conmutador de la red en ambos escenarios generara la mayor cantidad de tráfico posible (aproximadamente un 95% de la tasa total del ancho de banda); todo el tráfico se dirigió hacia el nodo número cero, el cual es el único nodo de la red que no generó tráfico.

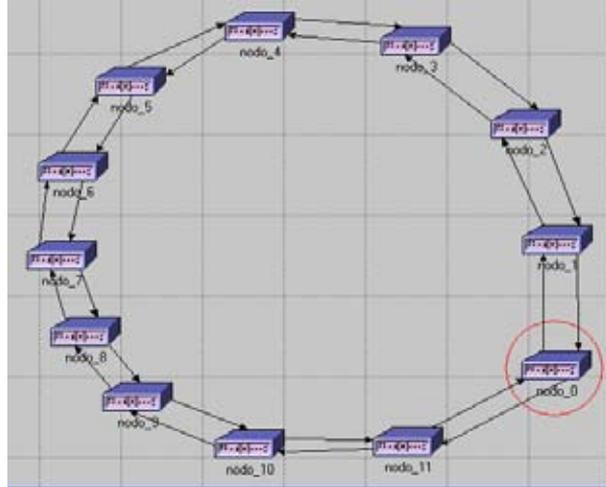


Figura 3

Escenario de 12 nodos en la red metropolitana RPR

En ambos escenarios se estableció una duración de la simulación de 0.5 segundos. El tipo de tráfico que se generó es de clase C (el modelo soporta 8 tipos de tráfico, según el estándar 802.1p y q); este tipo de tráfico se considera de prioridad baja y es utilizado normalmente en aplicaciones tipo *web*, *email*, etc. Este tipo de tráfico también es conocido como de mejor esfuerzo (*best effort*). Todos los nodos tienen el mismo peso de prioridad, el cual es igual a 1. El objetivo de la simulación es inundar de tráfico los enlaces dobles del nodo 0 y analizar el comportamiento del algoritmo de asignación equitativa de ancho de banda ante estos escenarios de congestión muy conocidos, cuando se generan problemas de denegación de servicios, y de esta forma poder ejemplificar los problemas de calidad de los servicios utilizando técnicas de DiffServ en el núcleo de la red metropolitana.

8. RESULTADOS OBTENIDOS

En el escenario 1 se aprecia un total de la utilización del 100% del ancho de banda al inicio del período de la simulación, aproximadamente al instante de tiempo de 0.1 segundos en todos los nodos de la red. Después de este

período se observa un decrecimiento de la utilización, seguido de una estabilización en una tasa de aproximadamente 110 Mbps. Todos los nodos de la red metropolitana tienen un comportamiento similar, por lo que se deduce que el algoritmo de asignación de caudal de ancho de banda (algoritmo de equidad o *fairness*) está reservando equitativamente el ancho de banda a cada uno de los nodos [10] (figuras 4 y 5), proporcionando de esta forma calidad de servicio a la red.

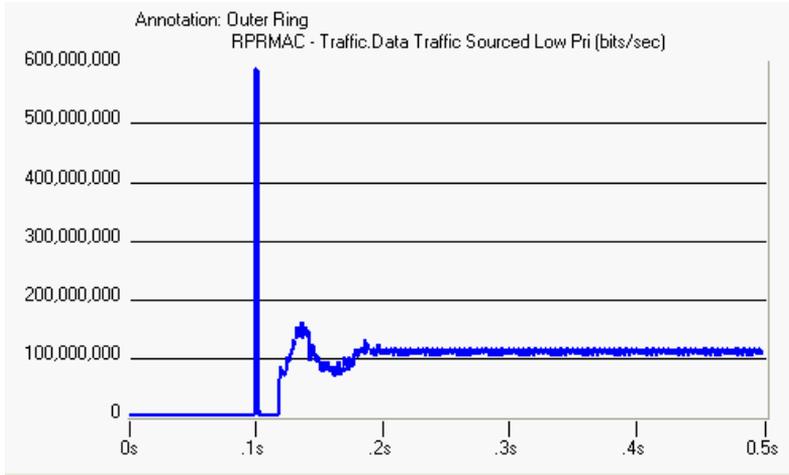


Figura 4
Rendimiento *throughput* en el nodo 1

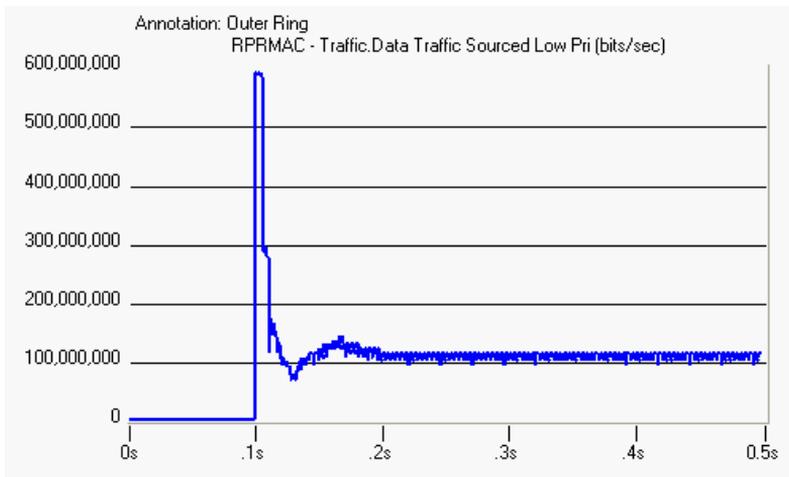


Figura 5
Rendimiento *throughput* en el nodo 5

En contraste tenemos el escenario 2. La cantidad de nodos es de 12, y se conservan los mismos parámetros de generación de tráfico que el escenario 1. Al ejecutar las corridas de simulación, se observa una lucha agresiva por el control de la red; el algoritmo de equidad no es suficiente, ya que la asignación del ancho de banda no es adecuada; algunos nodos (e.g., nodo en la posición número 6, en el centro de la red, figura 6) tienen un disparo de utilización del 100%, seguido de un decrecimiento, y después un nuevo disparo y en seguida un decrecimiento constante del desempeño.

Los nodos más cercanos al núcleo de la congestión en la red (nodo 11, figura 7) tienen un disparo instantáneo de la transmisión, pero inmediatamente se presenta una utilización casi nula del canal de comunicación. Esto es debido a que las condiciones de la generación de tráfico en ambos escenarios se mantuvieron iguales, pero se varía la cantidad de nodos participantes en las transmisiones, afectando de esta manera el rendimiento de la red metropolitana y por ende su capacidad de dar servicios de calidad al usuario final.

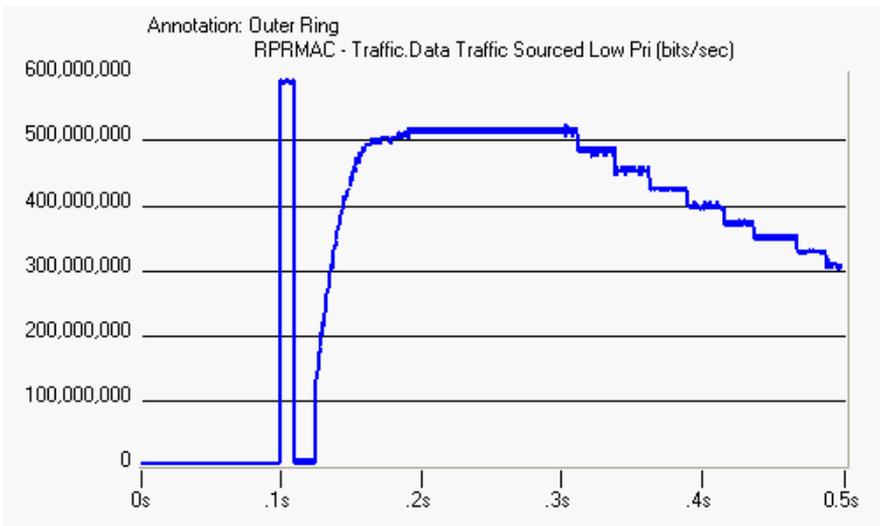


Figura 6
Rendimiento *throughput* del nodo 6

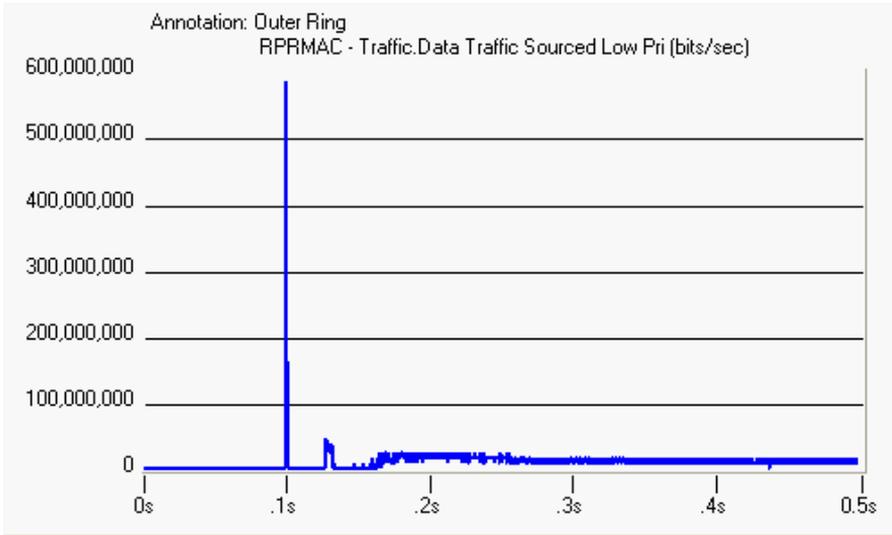


Figura 7

Rendimiento *throughput* del nodo 11

9. CONCLUSIONES

Algunos autores describen experimentos en los que parámetros como el retardo medio o la congestión de la red se han podido caracterizar en tecnologías como *GigabitEthernet* o *Resilient Packet Ring*, pero estos son experimentos en los que la topología de la red no es tan compleja como en la vida real. Para un verdadero sistema de QoS, es necesario implementar estrategias que permitan realmente obtener un servicio de calidad en cualquier punto de la red; es aquí donde el sistema se vuelve una compleja mezcla de protocolos, todos trabajando en algún punto de la red con alguna tarea específica para solucionar el problema de la QoS en su segmento específico de red. En este apartado podemos mencionar el modelo de integración IntServ sobre DiffServ, donde se mezclan las características sobresalientes de ambos sistemas en una red híbrida.

En este trabajo se propone un criterio nuevo para ejecutar pruebas de desempeño y calidad de los servicios en una red E-MAN, utilizando las experiencias de diversos investigadores, lo cual da como resultado una tabla de pruebas y herramientas para medir el desempeño de la calidad de los servicios. Como se observa, las tecnologías de capa 2, RPR y *GigabitEthernet*, presentan parámetros similares de desempeño; pocas son las variantes entre ellas, por lo tanto las herramientas y pruebas ejecutadas en estas tecnologías son similares.

Por último se lleva a cabo la simulación de tráfico en el núcleo de una red metropolitana RPR y se demuestra que los requerimientos de calidad de los servicios que para un escenario de una red son suficientes e incluso hasta eficientes, en otro escenario con mayores necesidades pueden ser insuficientes, por lo que es necesario adecuar nuevas estrategias que permitan una mejor ingeniería de tráfico. Entre estas estrategias podemos mencionar las principales propuestas que serán adecuadas en las nuevas versiones del Std. 802.17, la ejecución de nuevas reglas en los algoritmos de equidad (*fairness*), la utilización de clasificadores y marcadores de tráfico, la planificación en el envío de tráfico (*traffic scheduler*) y la conformación de tráfico (*traffic shapping*).

REFERENCIAS

- [1] SANTITORO R, *Metro ethernet Services-A technical Overview*. Metro Ethernet Forum, 2003.
- [2] KHALDEKAR S, *Developing a QoS Framework for Metro Ethernet Networks to Efficiency Support Carrier Class SLAs*. Metro Ethernet Forum, 2004.
- [3] IPPM (IP Performance Metrics) <http://www.ietf.org/html.charters/ippm-charter.html>, Febrero 2005
- [4] WONG YF *et al*, Operation, Management and Performance Issues of LAN Technologies Applied to WAN Architecture. *Eighth IEEE International Symposium on Computers and Communications*, Kemer-Antalya, Turkey, Jun-Jul 2003, pp 1379.
- [5] JHA S, *Engineering Internet QoS*, Artech House, 2002.
- [6] BERNET Y *et al*. A framework for Integrated services operation over Diffserv networks, *RFC 2998*, November 2000.
- [7] SHIN-JER Y. An approach to modeling performance evaluation on the Ethernet with QoS parameters, *International Journal of Network Management*, 2001, Vol. 11, pp 91-101.
- [8] IEEE STANDARD 802.17-2004, *Resilient Packet Ring*, junio 24 de 2004, disponible en: <http://ieee802.org>
- [9] OPNET Modeler, disponible en: <http://www.opnet.com>
- [10] DE JAEGHER J, Understanding the issues of QoS related motions, *RPR Forum*, 2001.