

# ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE CALIDAD DE SERVICIO SOBRE REDES INALÁMBRICAS BASADAS EN TECNOLOGÍA WIMAX

## Rubén Darío Gómez Tovar

Estudiante último semestre de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" en el programa de Ingeniería Electrónica. Bogotá, Colombia  
rubendario102@hotmail.com

## Jhon Jaime Ramírez Ochoa

Estudiante último semestre de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital "Francisco José de Caldas" en el programa de Ingeniería Electrónica. Bogotá, Colombia  
jaimeguitar33@hotmail.es

**Tipo:** Artículo de reflexión

**Fecha de Recepción:** Septiembre 8 de 2011  
**Fecha de Aceptación:** Noviembre 10 de 2011

## QUALITY OF SERVICE PERFORMANCE ANALYSIS OF WIRELESS WIMAX-BASED NETWORKS

### ABSTRACT

Nowadays, there is an increased demand for the use of wireless networks due to their flexibility and low cost. Since the release of IEEE 802.16 (WiMAX) standard, and as a result of the current needs in terms of communication and information within different sectors such as health services and education, it is allowed for the industry in general as well as for various research centers to strengthen the implementation of these technologies.

In order to satisfy these needs, it is important to guarantee a service that fulfills the corresponding requirements, in that sense, it is important to analyze the operation of these types of technologies through a performance evaluation that includes QoS parameters according to standards like IEEE 802.16.

The purpose of this paper is to present the characteristics and advantages that pertain to standard IEEE 802.16. This research focuses particularly on the analysis of variables such as traffic, delay, and network performance for the different types of schedulers that are included in the standard. OPNET is the network simulator used for the experiments, where it was found that throughput levels are reduced when implementing mobile receiving hosts.

**Keywords:** WiMAX, QoS, wireless networks, broadband, type of service, scheduler.

### RESUMEN

Actualmente el uso de redes inalámbricas se encuentra en un punto de alta demanda, debido a su flexibilidad y bajos costos en la implementación de las mismas. A partir de la construcción de la norma IEEE 802.16 (WiMAX) y de las necesidades actuales en campos médicos, educativos, entre otros por acceder a la información y en general por poder establecer comunicaciones confiables se permite que la industria y los centros de investigación fortalezcan la implementación de estas tecnologías.

Para satisfacer estas necesidades se hace importante garantizar un servicio que cumpla con los requerimientos solicitados, en este orden de ideas es importante, analizar el funcionamiento de este tipo de tecnologías a través de la evaluación del desempeño incluyendo parámetros de calidad de servicio (QoS) basados en la norma IEEE 802.16.

El paper tiene el objetivo de presentar a la comunidad científica las características y ventajas que trae consigo el estándar IEEE 802.16. Específicamente la investigación se enfocó en analizar variables como el tráfico recibido, retardos, rendimiento ofrecido por la red para diferentes tipos de scheduler soportados por el IEEE 802.16 haciendo uso del software OPNET, encontrando que los niveles de throughput pueden verse disminuidos cuando se incluye movilidad en los equipos receptores.

**Palabras clave:** WiMAX, QoS, redes inalámbricas, banda ancha, tipos de servicio, Scheduler.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las redes inalámbricas se encuentran en su mayor auge, con la implementación de WiFi el acceso a Internet se hace cada vez más sencillo alcanzando velocidades de 11, 54 y 300 Mbps y cobertura de hasta 100 metros. Sin embargo la implementación de la norma IEEE 802.16 (wimax), permite alcanzar velocidad de 1Gbps en reposo y 100Mbps en movimiento, y alcanza una cobertura de hasta 40km con línea de visión directa a la antena, operando en la banda de 2.5 a 11 GHz [1].

Wimax es un protocolo de banda ancha robusto, que cuenta con distintos tipos de reservación o calidad de servicio QoS y modulación, importantes a la hora de transmisión de servicios en tiempo real, como por ejemplo, voz sobre IP, video, telefonía entre otros y transmisión de tráfico en ráfagas como video conferencias o tráfico web a gran velocidad.

En este artículo se evalúa el funcionamiento del estándar IEEE 802.16 en la transmisión de aplicaciones susceptibles a retardos. El paper está dividido de la siguiente manera:

En la segunda parte se ilustra el desarrollo del estándar y de la norma 802.16 a través del tiempo, posteriormente se revisan las diferentes clases de servicio y sus aplicaciones, importantes para entender la calidad de servicio de la tecnología WiMAX; en la sección cuatro se muestran las simulaciones realizadas, para

posteriormente analizarlas partiendo de los resultados encontrados. En el apartado 6 se muestran las conclusiones y por último se presentan las referencias bibliográficas.

## 2. EVOLUCIÓN DEL ESTÁNDAR IEEE 802.16.

En un inicio, los desarrolladores de tecnologías diseñaban y trabajaban separadamente, lo cual ocasionaba incompatibilidades de hardware y software, precios altos y baja aceptación.

En julio de 1999 la IEEE formo un comité, integrado por centros de investigación que se dio a la tarea de crear un grupo de trabajo al que se le dio el nombre de 802.16 con el objetivo de desarrollar estándares y recomendar practicas para respaldar el desarrollo y optimización de sistemas de acceso inalámbrico de banda anchas fijas [2].

El estándar final se aprobó en abril de 2002 y fue conocido como WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Acces).

En marzo de 2003 se ratifico la nueva versión, el 802.16a [3] que hizo que cobrara importancia y relevancia la tecnología inalámbrica, estableciendo su operación en un rango de 2 a 11 GHz.

Para diciembre de 2005, el IEEE aprueba el estándar de WiMAX móvil el 802.16e, el cual permite utilizar el sistema de comunicaciones

con terminales en movimiento, lo cual inicia su auge, en investigación y producción.

Del año 2007 hasta el presente la tecnología se ha introducido en la vida diaria penetrando de a poco en los países industrializados y proyecta grandes cambios en el modo de vida.

WiMAX Forum hace una predicción de la penetración del WiMAX a nivel mundial que se observa en la Fig. 1. Esta gráfica muestra la importancia que va a tomar esta tecnología en un futuro cercano, creciendo exponencialmente especialmente en las zonas del mundo donde ya esta implementado y en menor medida pero igualmente alto en zonas en vía de desarrollo.

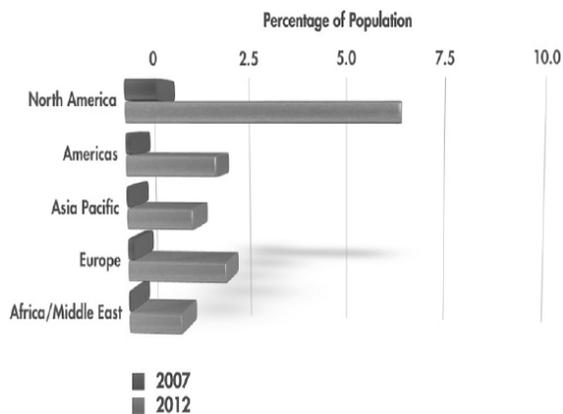


Fig. 1. Porcentaje de población con acceso a WiMAX [4].

En 2011 se presenta el estándar 802.16m [5] conocido como WiMAX 2[6], el cual alcanza velocidades des hasta 360 Mbps, compitiendo con su rival LTE (Long Term Evolution) [16]. Para el año 2012 se espera certificar el Hardware que implementara el WiMAX 2 con el fin de que los proveedores otorguen esta conectividad de banda ancha sostenible capaz de dar una cobertura de 50 km a la redonda, consecuente con la demanda de conexiones móviles.

### 3. MARCO TEÓRICO

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Acces) se define como una norma de

transmisión de datos que utiliza las ondas de radio (Fig. 2).

Se caracteriza porque puede cubrir distancias de hasta 48 Km y velocidades de hasta 75Mbps. En visión directa (LOS) se obtienen 10 Mbps en 10 km y en visión no directa (NLOS) se obtienen 10 Mbps en 2Km [8].

En este estándar WiMAX se encuentran distintas formas de reserva o clases de servicio (CoS); estos otorgan calidad de servicio incluyendo valores como Throughput, latencia, retardo, etc. La distinción de flujos se ofrece a partir de lo que se denomina como tipos de servicio de scheduler:

En el estándar 802.16 se diferencian 5 tipos de QoS:

- *Unsolicited Grant Service (UGS)*: servicio garantizado sin solicitud, es el de más calidad de servicio, se usa para servicios en tiempo real, que generan paquetes de tamaño fijo y periódicos, es rápido y no hay negociación previa [8].
- *Real Time Polling Service (rtPS)*: servicio en tiempo real por votación, es un servicio en tiempo real que generan paquetes de tamaño variable, los terminales con este tráfico hacen solicitudes indicando el volumen de datos, es el segundo en eficacia [8].
- *Extended Real Time Polling Servicem (ertPS)* servicio en tiempo real por votación extendido, está incluido en el estándar 802.16e, soporta paquetes de tamaño variable, es una especie de híbrido entre UGS y rtPS [8].
- *Non Real Time Polling Service (nrtPS)*: servicio de votación para aplicaciones en tiempo no real, es un servicio que generan paquetes variables con una cantidad mínima de datos para transmitir, son aplicaciones con tiempo no real, tiene un límite máximo de tiempo entre peticiones [8].
- *Best Effort Service (BE)*: mejor esfuerzo, los terminales envían peticiones y esperan hasta que la estación base les permita transmitir, usa los recursos sobrantes [8].

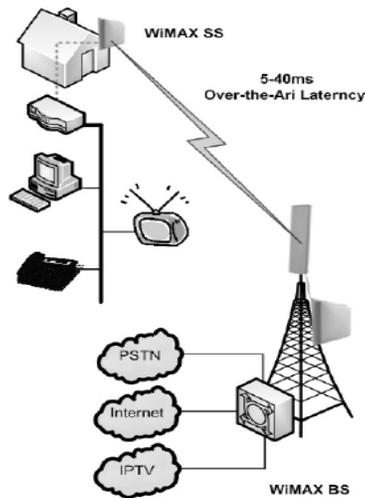


Fig. 2. Servicios soportados por Wimax Fig. [11]

Wimax utiliza la multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM) con esquemas de modulación de QPSK a 64-QAM. Cuando se usa un esquema robusto como QPSK, WiMAX puede ofrecer alto Throughput con altos rangos, mientras que la modulación de orden bajo (16 QAM), ofrece un Throughput inferior al mayor rango de la misma estación base [9].

#### 4. TOPOLOGIAS Y SIMULACIONES

En el proceso de simulación se pretende evaluar el desempeño para 3 tipos de servicio Scheduler en términos de throughput y retardos sobre las topologías planteadas. Para la simulación los tráficos a diferenciar serán: interactive voice, streaming video y best effort. Estos flujo se escogieron debido a que cada uno presenta características diferentes, y se les puede otorgar un tratamiento particular dependiendo del servicio que se les otorgue. La investigación se enfocó sobre el planteamiento de dos escenarios en el que uno incluía host móviles fijos, mientras que el otro, equipos móviles con movimiento.

#### 4.1. Primera topología propuesta

En el primer escenario planteado (Fig. 3) se disponen de 5 usuarios emisores fijos (inalámbricos) y 5 receptores (equipos no inalámbricos), dichos equipos son conectados a la estación base por una interfaz Ethernet (1000 BaseX) dúplex con lo que se soporta hasta una capacidad de transmisión de 1Gbits sin embargo se incorpora un retardo cercano a las 100  $\mu$ s intrínseco al medio de transmisión; Las características de los tráficos enviados a través de la estación base se observan en la tabla 1. Cuando los usuarios emisores están enviando datos simultáneamente saturan el canal de comunicación debido a que el ancho de banda existente es menor que el exigido por las múltiples aplicaciones generadoras de datos y se presenta pérdida de información, sin embargo el objetivo de este trabajo es otorgarle mayor de prioridad al emisor de tráfico de voz (interactive voice) y poder evaluar el estándar IEEE 802.16. Cabe aclarar que el análisis se centrará sobre los emisores 3, 4 y 5. Los emisores 1 y 2 se crearon con la intención de congestionar el medio y hacer más críticas las condiciones de transmisión.

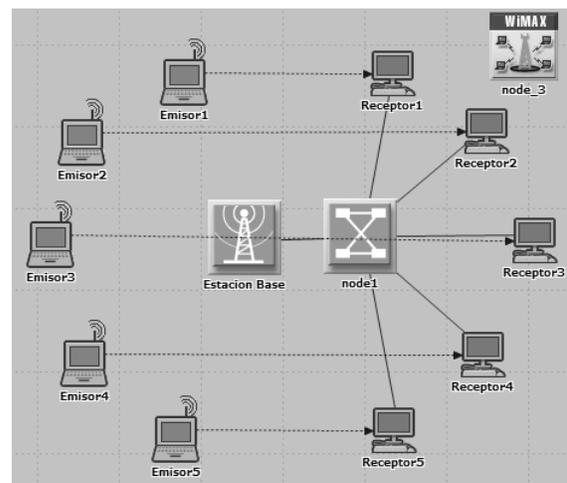
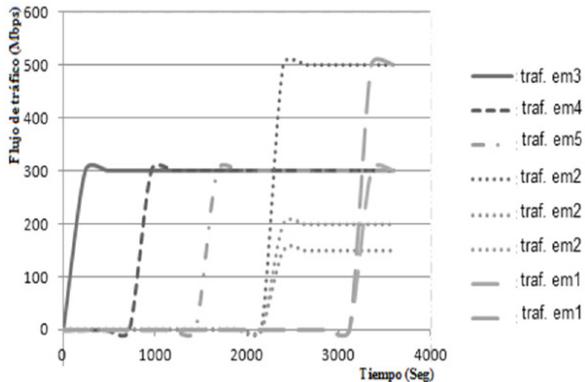


Fig. 3. Primer escenario planteado

**Tabla1.** Tráfico generado en los escenarios

Origen - Destino	Tipo de tráfico	Tasa de transmisión
Emisor 1 - Receptor 1	Silver (streaming video)	300 Mbps
Emisor 1 - Receptor 1	Silver (streaming video)	500 Mbps
Emisor 1 - Receptor 1	Bronze (Email)	300 Mbps
Emisor 2 - Receptor 2	Gold (Interactive voice)	500 Mbps
Emisor 2 - Receptor 2	Silver (streaming video)	150 Mbps
Emisor 2 - Receptor 2	Bronze (Email)	200 Mbps
Emisor 3 - Receptor 3	Gold (Interactive voice)	300 Mbps
Emisor 4 - Receptor 4	Silver (streaming video)	300 Mbps
Emisor 5 - Receptor 5	Bronze (Email)	300 Mbps

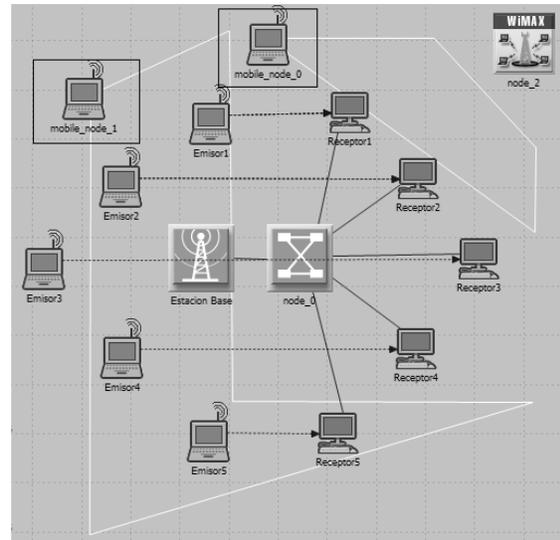
La simulación se generó durante un periodo de una hora; en el primer instante transmite el emisor 5, 700 s después transmite el emisor 4, a los 1500 s genera tráfico el emisor 3, y a los 2200 s envía la fuente 2, y finalmente a los 3000 s envía datos el emisor 1 (esto se puede ver reflejado en la Fig. 4).



**Fig.4.** Tráfico enviado por los equipos emisores

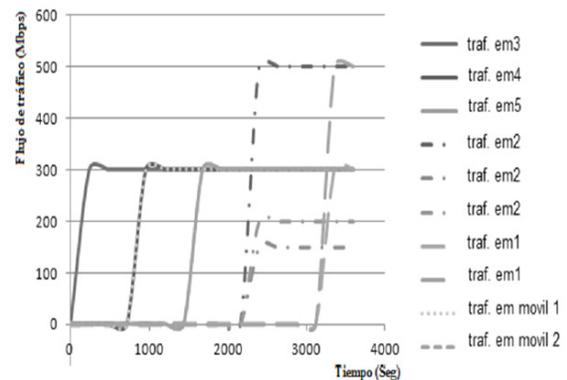
Para el segundo escenario se propone la misma topología anterior, sin embargo se añadirán nodos móviles, los cuales se encuentran señalados en la Fig. 5 con una trayectoria particular; estos generaran tráfico de video streaming asociado con “rtPs” y tráfico de email asociado con “best effort”. En este caso se analizará el efecto

que tiene la movilidad de dichos nodos sobre el tráfico enviado y recibido.



**Fig. 5.** Segundo escenario planteado.

En la Fig. 6, se observan los flujos enviados por los emisores a fin de poder analizar las variables de red throughput y retardo y estimar la QoS. El emisor móvil que transmite video streaming lo empieza a hacer a los 700 s, mientras que el emisor de tráfico tipo best effort a los 1500 s.



**Fig. 6.** Tráfico generado por los emisores para el escenario 2.

Las condiciones físicas más relevantes de transmisión como lo son potencia de la antena, tipo de modulación, área de trabajo entre otros, se encuentran sintetizadas en la tabla 2.

**Tabla 2.** Condiciones físicas de transmisión

Área de trabajo	15 km
Ganancia de la antena	-1 dBi
Tipo de modulación	16 QAM
Tecnología de acceso	OFDMA
Velocidad de los nodos móviles	1 km/ s
Frecuencia central	5 Ghz
Ancho de banda	20 MHz

Ahora bien, como se trabajarán con 3 tipos de tráfico, lo conveniente será asociarlos a 3 tipos de Scheduler para la asignación de la calidad de servicio, en este caso serán UGS, nrtPS y BE (Best effort). En la simulación se deberá asociar UGS con un servicio Gold, rtPS con un servicio Silver y BE con un servicio Bronze.

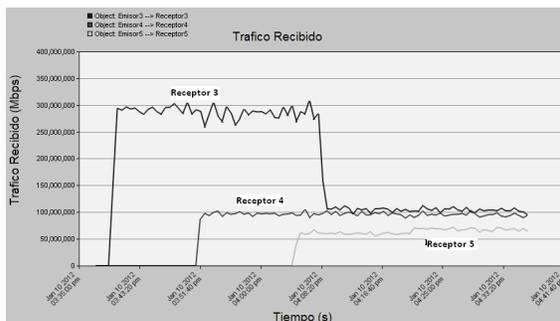
Las características de los servicios a parecen en la tabla 3.

**Tabla 3.** Configuración de los Scheduler

Servicio	Máxima capacidad sostenida	Mínima capacidad sostenida	Retardo máximo
Silver (streaming video)	10 Mbps	5 Mbps	30ms
Bronze (best effort)	1 Mbps	0,5 Mbps	50ms
Bronze (best effort)	378 Kbps	378 Kbps	50ms

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Fig. 7 se evidencia el comportamiento del escenario 1 en términos de tráfico recibido por los receptores 3,4 y 5.



**Fig. 7.** Tráfico recibido en el escenario 1.

Como se aclaró anteriormente en el instante 0.0 el emisor 3 (servicio UGS) envía información a una tasa de 300 Mbps y el canal no presenta saturación por lo tanto dicha información se envía completamente, posteriormente el emisor 4 (servicio rtPS) envía datos a la misma tasa, sin embargo ya se presenta saturación por ende en la estación base se realiza la respectiva clasificación de paquetes dependiendo del tipo de prioridad. El emisor 3 tiene mayor prioridad por lo que se descartan los paquetes de menor prioridad en este caso los del emisor 4, con un throughput solo de 100 Mbps aproximadamente. Seguidamente el emisor 5 (servicio BE) envía datos a una tasa de 300 Mbps no obstante como el canal ya se encuentra saturado se procesan una cantidad de paquetes menor a los tráficos anteriores por poseer la prioridad más baja alcanzando un throughput cercano a los 60 Mbps. Finalmente cuando las seis fuentes (incluyendo el emisor 1 y 2) creados intencionalmente para congestionar el medio envían simultáneamente se observa una disminución en el throughput del emisor 3. En los emisores 4 y 5 no se vislumbra ningún deterioro, debido a que en la configuración que se le dio al tratamiento de cada servicio se establecieron capacidades de envío mínimas.

En la Fig. 8 se muestra el retardo en la transmisión sobre la red implementada para los 3 tipos de flujo más representativos; allí se visualiza el retardo de todos los paquetes que son enviados desde los emisores hasta la estación base y posteriormente son dirigidos hacia los respectivos receptores. El valor del retardo para los paquetes best effort se encuentra entre 80 ms y 58 ms con un valor promedio de 62 ms, para el tráfico video streaming el retardo de los paquetes se encuentra en un valor promedio de 50 ms. Para el caso de la transmisión de voz se procuró que el retardo máximo de los paquetes fuese de 30 ms, mientras que para los otros tipos de datos este margen fue mayor, por no ser tan crítico dicho factor.

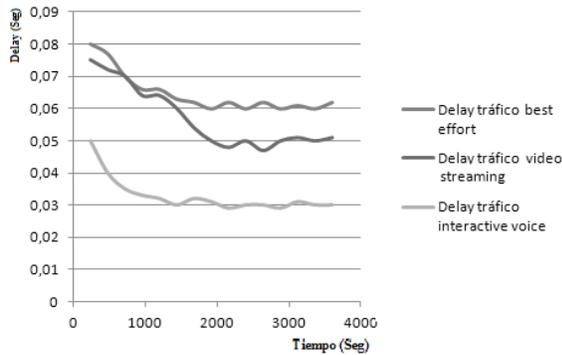


Fig. 8. Delay del escenario 1.

En la Fig. 9 se muestra el tráfico recibido por los receptores de los emisores móviles (Host 1 y 2) más el tráfico de los emisores 3, 4 y 5 planteados en el escenario 2. Como se especificó inicialmente se enviaron datos rtPS y BE por los emisores móviles; en primera instancia se asegura el ancho de banda necesario para transmitir el tráfico de voz, y al igual que en el caso anterior el throughput de las fuentes 4 y 5 es menor debido a que se presenta saturación. Analizando el tráfico recibido por los receptores de los equipos móviles, es menor al de las fuentes 4 (40% menos que el emisor fijo de tráfico streaming video) y 5 (15 % menor que el emisor fijo de tráfico BE) aún cuando la tasa de transmisión de todos los emisores es de 300Mbps, esto quiere decir que el throughput se encuentra relacionado con la movilidad del equipo, de hecho, es claro que cuando el host móvil se aleja más allá de la cobertura de la estación base le es imposible lograr la transmisión, sin embargo en la simulación la trayectoria del dispositivo se mantiene dentro de dicha cobertura.

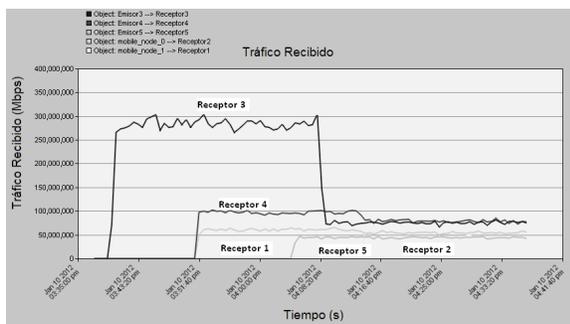


Fig. 9. Tráfico recibido en el escenario 2.

De la Fig. 10 se intuye que el retardo es mayor en el escenario con equipos móviles, en este caso el valor promedio es de 80 ms para la fuente de datos tipo best effort y de 66 ms para el video streaming, esto quiere decir que la movilidad es un factor que afecta tanto la cantidad de paquetes enviados como el retardo de los mismos. Sin embargo el hecho de proveer calidad de servicio preserva los paquetes de mayor prioridad y se intenta cumplir con los requisitos de transmisión, a pesar de circunstancias adversas como saturación del canal, o movilidad de los equipos.

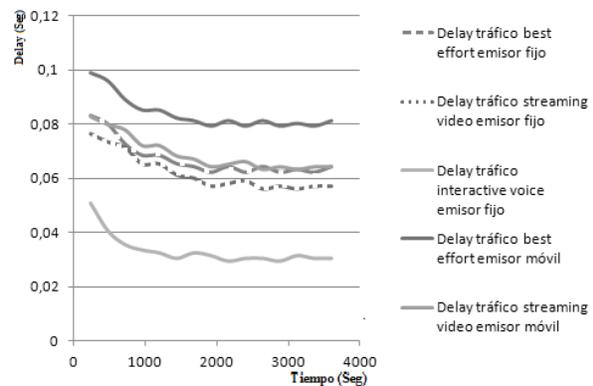


Fig. 10. Delay en el escenario 2.

En las tabla 4 y 5 se encuentran sintetizados los resultados obtenidos en ambos escenarios. Como era de esperarse los paquetes que poseen mayor prioridad son los que reciben mayor eficiencia de envío en términos de throughput y retardos dependiendo de la configuración que se haya realizado a los scheduler asignados. En el escenario 2 se hicieron más críticas las condiciones lo cual se refleja en un throughput menor para algunos tipos de servicio y un retardo mayor.

Ahora bien, según la norma IEEE 802.16 [2], se establece capacidades de transmisión teóricas desde 150 Mbps a 350 Mbps lo cual es acorde a lo arrojado en la simulación; se observa que a partir de que el tráfico total enviado supera los 400 Mbps se empiezan a presentar pérdidas de paquetes. En términos de retardos la norma IEEE 802.16e maneja un rango de tolerancia sobre éstos. Por ejemplo para los scheduler UGS (asignados generalmente para tráfico de

voz) especifica que no se debe sobrepasar los 50 ms. En el caso del streaming se procuró manejar retardos del mismo orden.

**Tabla 4.** Resultados de Throughput

Variable	Escenario 1	Escenario 2
Throughput -Gold	300 Mbps	300 Mbps
Throughput-Silver	100 Mbps	90 Mbps
Throughput-Bronze	50Mbps	50 Mbps
Throughput -Silver (móvil)		60Mbps
Throughput -Bronze (móvil)		40Mbps

**Tabla 5.** Resultados de delay

Variable	Escenario 1	Escenario 2
Delay - Gold	30ms	30ms
Delay - Silver	50ms	55ms
Delay - Bronze	60ms	67ms
Delay - Silver (móvil)		67ms
Delay - Bronze (móvil)		80ms

## Referencias Bibliográficas

- [1] J. Ortiz, Análisis y diseño de técnicas de calidad de servicio en redes inalámbricas de banda ancha. [En línea], consultado en Agosto 15 de 2011, disponible en: [http://profesores.fi-b.unam.mx/victor/MTesis\\_JavierOrtiz.pdf](http://profesores.fi-b.unam.mx/victor/MTesis_JavierOrtiz.pdf).
- [2] IEEE Standard 802.16: A technical overview of the wirelessman™ air interface for broadband wireless access. [En línea], consultado en Marzo 10 de 2011, disponible en: [http://ieee802.org/16/docs/02/C80216-02\\_05.pdf](http://ieee802.org/16/docs/02/C80216-02_05.pdf)
- [3] IEEE 802.16a Standard and WiMAX igniting broadband wireless access. [En línea], consultado en Abril 2 de 2011, disponible en: <http://admin.npu.ac.th/media/WiMAXWhitepaper.pdf>
- [4] WiMAX Forum® WiMAX™ Technology forecast (2007-2012). [En línea], consultado en Marzo 7 de 2011, disponible en: [http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/wimax\\_forum\\_wimax\\_forecasts\\_6\\_1\\_08.pdf](http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/wimax_forum_wimax_forecasts_6_1_08.pdf)
- [5] IEEE 802.16m Standard. [En línea], consultado en Agosto 22 de 2011. Disponible en: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.16m-2011.pdf>
- [6] IEEE approves next WiMax standard. [En línea], consultado en Agosto 30 de 2011, disponible en: [http://www.computerworld.com/s/article/9215414/IEEE\\_approves\\_next\\_WiMax\\_standard](http://www.computerworld.com/s/article/9215414/IEEE_approves_next_WiMax_standard).
- [7] M. Lalwani, Analysis of video surveillance over WiMAX networks. [En línea], consultado en Junio 11 de 2011, disponible en: <http://www.sfu.ca/~mla17/Final%20Report.pdf>
- [8] A. Gonzales, Construcción de un modelo de nodo híbrido de red inalámbrica WiMAX - Red óptica pa-

## 6. CONCLUSIONES

La implementación de calidad de servicio sobre tráfico enviado a través de redes wimax, permite la debida clasificación de los paquetes y en caso de ser necesario descartar algunos, y preservar otros que poseen prioridad media y alta como en el caso del tráfico de voz o servicios multimedia en tiempo real los cual son bastantes sensibles al retardo.

Es claro que con la asignación de un tipo de Scheduler a un determinado tráfico se permite trabajar sobre cada uno de forma particular, con el fin de cumplir con los requerimientos de retardos, usos de ancho de banda entre otros como se observó mediante el software de simulación y la debida configuración para cada prioridad. Sin embargo la norma IEEE 802.16 no establece un tratamiento específico sobre cada Scheduler el cual identifica cada tráfico, sino que otorga cierta libertad a los fabricantes sobre el uso de ancho de banda, retardos tolerables entre otros entre otras variables

- siva (PON). [En línea], consultado en Julio 1 de 2011, disponible en: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bits-tream/2099.1/7849/1/memoria.pdf>.
- [9] E. Boyer and Afrin Choudhary. (2010), Analysis of quality of service (QoS) for video conferencing in WiMAX networks. [En línea], consultado en Mayo 12 de 2011, disponible en: <http://www.sfu.ca/~asc13/ensc427/>
- [10] Manual del OPNET. [En línea], consultado en Julio 8 de 2011, disponible en: [http://www.opnet.com/university\\_program/teaching\\_with\\_opnet/textbooks\\_and\\_materials/materials/OPNET\\_Modeler\\_Manual.pdf](http://www.opnet.com/university_program/teaching_with_opnet/textbooks_and_materials/materials/OPNET_Modeler_Manual.pdf)
- [11] Clases de servicio de WiMAX. [En línea], consultado en Septiembre 2 de 2011, disponible en: [www.tranzeo.com/allowed/Tranzeo\\_WiMAX\\_QoS\\_Classes\\_Whitepaper.pdf](http://www.tranzeo.com/allowed/Tranzeo_WiMAX_QoS_Classes_Whitepaper.pdf)
- [12] H. Kaur, Implementation and evaluation of scheduling algorithms in point-to-multipoint mode in Wimax networks. [En línea], consultado en Julio 18 de 2011, disponible en: <http://www.ijcst.com/vol23/3/harpreet.pdf>
- [13] W. Hruday, L. Trajković, Streaming video content over Wimax broadband access [En línea], consultado en Abril 19 de 2011, disponible en: [http://www2.ensc.sfu.ca/~ljilja/ENSC835/Spring08/Projects/hrudey/whruday\\_presentation.pdf](http://www2.ensc.sfu.ca/~ljilja/ENSC835/Spring08/Projects/hrudey/whruday_presentation.pdf)
- [14] A. Chowdhury, Analysis of quality of service (QoS) for video conferencing over Wimax networks. [En línea], consultado en Mayo 4 de 2012, disponible en: [http://www.sfu.ca/~asc13/ensc427/afrin\\_eric\\_project\\_2010.pdf](http://www.sfu.ca/~asc13/ensc427/afrin_eric_project_2010.pdf)
- [15] Cicconetti, C. Ert, A. Lenzi, L. Mingozi, Performance evaluation of the IEEE 802.16 MAC for QoS support, mobile Computing, IEEE Transactions on, vol.6, no.1, pp.26-38, Jan. 2007doi: 10.1109/TMC.2007.250669
- [16] M. Torad, A. Qassas, Al H , Comparison between LTE and WiMAX based on system level simulation using OPNET modeler (release 16)," National Radio Science Conference (NRSC), 2011 28th , vol, no, pp.1-9, 26-28, 2011