

Análisis basado en parámetros QoS para el servicio VoIP sobre wireless en un campus universitario ^{*1}

[Analysis based on QoS parameters for VoIP service on a wireless network within a university campus]

ALEXANDER OLAVE², LUIS FELIPE VALENCIA², JUAN CARLOS CUÉLLAR³

RECIBO: 08.01.2014 – APROBACIÓN: 13.08.2014

Resumen

Voz sobre IP, VoIP, es uno de los servicios con mayor desarrollo bajo plataformas inalámbricas; actualmente se ha iniciado su implementación como alternativa frente a la PSTN (red pública conmutada). El interés por VoIP radica en su relación costo-beneficio, ya que las organizaciones pueden utilizar la misma plataforma de su red de datos para transmitir voz. Por lo anterior, es importante que la organización tenga claro que, para garantizar el buen funcionamiento del servicio de VoIP, es decir para ofrecer QoS, se debe realizar la medición de parámetros que afectan la calidad del servicio como lo son: el retardo, la variación del retardo, el ancho de banda y la pérdida de paquetes. Este artículo analiza y valida los parámetros de QoS necesarios para garantizar el buen funcionamiento del servicio de VoIP sobre la red inalámbrica del

*** Modelo para la citación de este artículo:**

OLAVE, Alexander; VALENCIA, Luis Felipe & CUÉLLAR, Juan Carlos (2014). Análisis basado en parámetros QoS para el servicio VoIP sobre wireless en un campus universitario. En: Ventana Informática No. 31 (jul-dic). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 11-23. ISSN: 0123-9678

- 1 Artículo de investigación científica y tecnológica proveniente del proyecto *Medición de parámetros para analizar QoS en VoIP en una red inalámbrica dentro de un campus universitario*, ejecutado en el periodo 07.2012-06.2013, [Trabajo para optar por el título de Ingeniero Telemático por parte de los dos primeros autores, con dirección del tercero].
- 2 Estudiantes de noveno semestre de Ingeniería Telemática. Universidad Icesi (Cali, Colombia). Correos electrónicos: alexolavejr16@hotmail.com y felipe30.05@hotmail.com, respectivamente.
- 3 Ingeniero Electricista, Maestría en Ingeniería – Área Telecomunicaciones, PhD(c). en Ingeniería Telemática. Jefe Dpto. Ciencias Físicas y Tecnologías Institución, Universidad Icesi (Cali, Colombia). Correo electrónico: jcuelar@icesi.edu.co

campus de la Universidad Icesi. Se realizan pruebas en diferentes escenarios para mostrar que no solo factores como el retardo, y su variación, influyen en la calidad de servicio, sino que también la intensidad de la señal que recibe el cliente desde los puntos de acceso.

Palabras Clave: *Voz sobre IP, Calidad de servicio, Pérdida de paquetes, Retardo, Variación del Retardo, Intensidad de Señal.*

Abstract

VoIP is one of the services that has been developing over under this type of wireless platforms and today has begun to implement as an alternative to the PSTN (Public Switched Telephone Network). The interest in VoIP is its cost-benefit ratio, and that organizations can use the same platform for their data network to transmit voice. Therefore it is important that the organization is clear that to ensure the smooth operation of the VoIP service, ie provide QoS, you must perform the measurement of parameters that affect the quality of service such as: delay, jitter, bandwidth, packet loss. In this paper we analyze and validate the QoS parameters needed to ensure the smooth operation of VoIP over wireless network on the Icesi University campus. We performed a series of tests in different scenarios to show that not only factors such as delay and jitter influencing the quality of service, but also the client signal strength received from of the AP (Access Point).

Keywords: *Voice over IP, Quality of service, Packet Loss, Delay, Delay variation, signal intensity.*

Introducción

Asegura Conti (2004, 27), que el auge de las redes inalámbricas implican movilidad y generación de nuevas formas para ofrecer las aplicaciones (como VoIP, videoconferencia, servicios de localización y distribución de Internet), por lo cual, de acuerdo con Prasad & Prasad (2005, 23), ofrecer calidad de servicio se ha convertido en un tema relevante para asegurar la satisfacción del usuario.

VoIP es la tecnología que, según Ohrtman (2004, 3), catalizó las comunicaciones del siglo XXI, captando la atención en un mercado globalizado, ofreciendo nuevos servicios y reduciendo costos en infraestructura hardware. Por ello está cambiando el concepto del acceso a la información,

unificando la transmisión de datos y voz en una sola infraestructura. Y resulta importante proveer al usuario final calidad de servicio (*Quality of Service - QoS*), sin afectar negativamente la red, ya que juega un rol decisivo a la hora de elegir VoIP en lugar de la telefonía tradicional (*Public Switcheled Telephone Network, PSTN*), según señalan Hamdi et al. (1999, 108).

La calidad de servicio es una medida relevante a la hora implementar servicios sensibles al tiempo real en plataformas inalámbricas, debido a que el usuario final tiene la necesidad de movilidad sino también de un buen nivel de servicio. Es así como surge el proyecto que soporta el presente artículo, el cual se centra en evaluar una comunicación de voz sobre IP en una red inalámbrica, dando un amplio panorama del comportamiento de la red, en caso de una eventual unificación de la red de datos y voz en una única plataforma.

El artículo hace una breve descripción de los conceptos VoIP y *códec* de operación, define los parámetros que permiten analizar QoS –con base en las recomendaciones Y.1540 y Y.1541 (ITU-T, 2001a; 2011b)–, presenta las definiciones de MOS y R-factor, plantea los escenarios utilizados, muestra los análisis y resultados, para finalmente señalar las conclusiones obtenidas y bibliografía utilizada.

1. Fundamento teórico

1.1 Voz sobre IP en redes inalámbricas

Voz sobre IP, VoIP, es una tecnología donde la voz se transmite en paquetes a través del protocolo de Internet. En las últimas décadas, afirman Ahmed, Madani & Siddiqui (2011, 12), las comunicaciones de voz han sido transmitidas de forma dedicada por medio de la PSTN, mientras que VoIP usa una sola red para transmitir voz y datos, donde el reto es implementar una solución que satisfaga los requerimientos de QoS.

1.1.1 Códec de operación. Según Ali & Brunner (2004, 6), debido a que las redes datos fueron creadas para el control de flujo de datos, la red necesita una forma de convertir la voz en un formato que pueda transportar, es por esta razón que nacen los códec, los cuales, para Huzhairi et al. (2010, 245), hacen referencia a un codificador-decodificador que se encarga del proceso para convertir onda analógicas en información digital. La salida de dichos *códec* es un flujo de datos que se transportan a través de la red hasta el usuario final. Los puntos finales deben hacer uso de un mismo conjunto de *códec*. La tabla 1 muestra los estándares ITU más importantes.

Tabla 1. Estándares ITU de Códec de Operación (Ali & Brunner, 2004, 5).

ITU estándar	Descripción	Ancho de banda	Delay (ms)
G.711	PCM	64	<1.00
G.721	ADPCM	32, 16, 24, 40	<1.00
G.728	LD-CELP	16	~2.50
G.729	LS-ACELP	8	~15.00
G.723.1	MULTIRATE CELP	6.3, 5.3	~30.00

1.2 Recomendaciones Y.1540 y Y.1541

ITU (2011a), en su recomendación Y1540, define los parámetros que pueden ser usados para evaluar la calidad de funcionamiento en cuanto a velocidad, precisión, fiabilidad y disponibilidad en la transferencia de paquetes a través de protocolo de Internet IP. Dichos parámetros se aplican de extremo a extremo, punto a punto y en las partes de la red que aportan a la prestación de los servicios. Esta recomendación define diversos parámetros para medir la calidad de servicio, de los cuales se mencionan los cuatro principales:

- *IP packet transfer delay* o IPTD: «es el tiempo que hay entre la ocurrencia de dos eventos o entre la llegada de dos paquetes IP a su destino, es decir, que es el tiempo que tarda el paquete en recorrer todos los componentes de la red» (ITU, 2011a, 17).
- *IP packet loss ratio* o IPLR: «es la relación entre el total de paquetes IP perdidos y total de paquetes que fueron transmitidos, lo cual se refiere a la tasa de pérdida de paquetes» (ITU, 2011a, 20).
- *IP Packet Delay Variation* o IPDV: «es la diferencia de retardo en un camino seleccionado entre dos paquetes, solo los paquetes que llegan se utilizan en el cálculo del IPDV, es decir, que hace referencia a la variación en el tiempo de llegada de los paquetes, como se definió anteriormente» (ITU, 2011a, 28). Por otro lado, la IETF (2002), lo define como la diferencia de retardo entre los paquetes seleccionados en un solo sentido del camino.
- *IP Packet Error Ratio* o IPER: «es la tasa de paquetes con errores, que resulta de los paquetes que llegaron con éxito y el número de paquetes que llegaron con errores en una población de interés» (ITU, 2011a, 20).

Por su parte, la recomendación Y.1541 (ITU, 2011b, 9), especifica los valores de calidad de funcionamiento para los parámetros anteriores (Tabla 2), pero antes se definen un número de clases de QoS para los diferentes servicios:

- Clase 0: «Está definida para aplicaciones de tiempo, sensibles al retardo y de alta iteración como VoIP y VTC [Video Teleconference], emplea mecanismos de cola separada por prioridad, preparación de tráfico y uso de técnicas de enrutamiento y distancia limitadas» (ITU, 2011b, 12).
- Clase 1: «Al igual que la clase 0 está definida para aplicaciones de tiempo, sensibles al retardo y de alta iteración como VoIP y VTC, emplea mecanismos de colas separadas con servicio preferencial, preparación de tráfico. A diferencia de la anterior usa técnicas de enrutamiento y distancia menos limitadas» (ITU, 2011b, 12).
- Clase 2: «Se usa para aplicaciones de datos transaccionales y aplicaciones altamente interactivas, emplea mecanismos de colas separadas y prioridad por supresión. Utiliza técnicas de enrutamiento y distancia limitadas» (ITU, 2011b, 12).
- Clase 3: «Está definida para aplicaciones de datos transaccionales e interactivos, emplea mecanismos de colas separadas y prioridad por supresión. Utiliza técnicas de enrutamiento y distancia menos limitada» (ITU, 2011b, 12).
- Clase 4: «Aplicaciones que soporten pérdidas bajas como transacciones cortas, videostreaming etc. emplea mecanismo de colas largas y prioridad por supresión. Utiliza técnica de cualquier ruta o trayecto» (ITU, 2011b, 13).
- Clase 5: «Está definida para aplicaciones tradicionales de redes IP. Por defecto, emplea mecanismos de colas separadas y técnica de cualquier ruta o trayecto» (ITU, 2011b, 13).

Tabla 2. Parámetros de QoS en una red (ITU, 2011b, 9)

Parámetro de Calidad de funcionamiento	Clases de QoS					
	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
IPTD	100 ms	400 ms	100ms	400 ms	1 s	U
IPDV	50 ms	50 ms	U	U	U	U
IPLR	1x10-3	1x10-3	1x10-3	1x10-3	1x10-3	U
IPER			1x10-4			U

1.3 MOS (Mean Opinion Score) y R-Factor (Factor de Determinación de transmisión)

Según la recomendación ITU-T P.800 (ITU, 1996, 6), suministra un indicador de la calidad apreciada de la señal luego de ser comprimida y transmitida. Se expresa por medio de un valor único dentro de un rango entre 1 y 5, donde uno es la calidad más baja apreciada y cinco la más alta (Tabla 3).

De otra parte, según la recomendación ITU-T G.107 (ITU, 2011c), el R-Factor es un método alternativo para evaluar la calidad de una llamada, expresado en un rango de 0 a 100, en oposición a la escala del MOS, aseguran Galiotos, Dagiuklas & Arkadianos (2002, 308), haciendo de este método una herramienta más precisa para medir la calidad de la voz. El factor se calcula a través de la evaluación de la percepción de los usuarios, considerando igualmente los factores que afectan la red como el retardo, la pérdida de paquetes, el códec utilizado, entre otros.

Tabla 3. Relación entre el MOS y calidad de una llamada y Relación entre R-Factor y la satisfacción del usuario (ITU, 1996, 6 e ITU, 2011c, 3).

MOS	Calidad	Factores de perturbación	R Factor	Satisfacción del usuario
5	Excelente	Imperceptible	90	Muy satisfecho
4	Buena	Perceptible sin molestar	80	Satisfecho
3	Regular	Un poco molesta	70	Algunos usuarios insatisfechos
2	Mediocre	Molesta	60	Muchos usuarios insatisfechos
1	Mala	Muy molesta	50	Casi todos los usuarios insatisfechos

2. Metodología

En este artículo se pretende analizar el comportamiento de una red que implemente la convergencia de aplicaciones, como las aplicaciones de voz, teniendo en cuenta un flujo real de todo tipo de datos basados en la red establecida dentro de la Universidad Icesi.

Para completar este proceso de forma adecuada, se divide en las siguientes etapas:

- Adaptación a la red existente para la realización de las pruebas y mediciones.
- Análisis de sitio (*site survey*).
- Análisis de proceso de traspaso de llamadas entre puntos de acceso existentes al interior de la universidad.

- Realización de las pruebas y mediciones definidas posteriormente. Se plantearon tres escenarios de simulación:
 - el primero consiste en evaluar una llamada de PC a PC haciendo uso de un software que simule un teléfono convencional, *softphone*,
 - el segundo se basa en evaluar la llamada desde un teléfono inalámbrico a un teléfono inalámbrico,
 - el tercero consiste en evaluar una llamada PC a teléfono inalámbrico.

Debido a que no se tenía control y gestión sobre la red inalámbrica de la universidad, se optó por realizar un *site survey*⁴. Este estudio permite identificar la intensidad de la señal proveniente de cada AP (*Access Point*), en sendos lugares del campus y así determinar en qué puntos se deben realizar las pruebas. Para realizar el análisis se tomó como referencia la siguiente relación entre la intensidad de la señal⁵ y su calidad: - cuando la intensidad es mayor a -60 dB, la calidad es buena, - si la intensidad está entre -77 y -60 dB, la señal se considera regular, y - la calidad es mala, si la intensidad es menor a -77 dB.

Las pruebas se realizaron en puntos estratégicos dentro del campus universitario, en donde la potencia de transmisión de los AP era de -44, -77 y -88 dBs, para cubrir de manera óptima la generación de datos que permitieran sacar conclusiones sólidas y orientadas al objetivo del proyecto. En las pruebas de las llamadas se utilizó el siguiente texto: *Esto es una llamada para validar calidad de servicio en voz sobre IP sobre wireless en el campus de la universidad Icesi*. Esta frase se repitió dos veces en ambas direcciones de la comunicación en cada llamada realizada, donde tenía una duración promedio de 45 segundos.

Estas llamadas se realizaron entre las 13:00 y las 18:00 horas, durante las semanas 8 y 12 del calendario académico, donde había un gran porcentaje de tráfico de datos debido a la cantidad de estudiantes que se encontraban utilizando la red. Se hicieron varios *site survey*, en el campus universitario: en el segundo piso del edificio C (figura 1a), en el tercer piso del edificio D (figura 1b), en el quinto piso del edificio L (figura 1c), en el segundo piso de la biblioteca (figura 1d).

4 El *site survey* puede realizarse de distintas formas, habitualmente este proceso en redes inalámbricas se hace de manera asistida, es decir, indican Zvanovec, Pechac & Klepalcir (2003, 243), que un software a través del adaptador Wi-Fi del PC se encarga de medir la intensidad de las señales de la red inalámbrica.

5 En las figuras, el área azul indica que la intensidad de la señal es buena, el área verde indica que la intensidad de la señal es regular y el área roja muestra que la intensidad de la señal es deficiente.

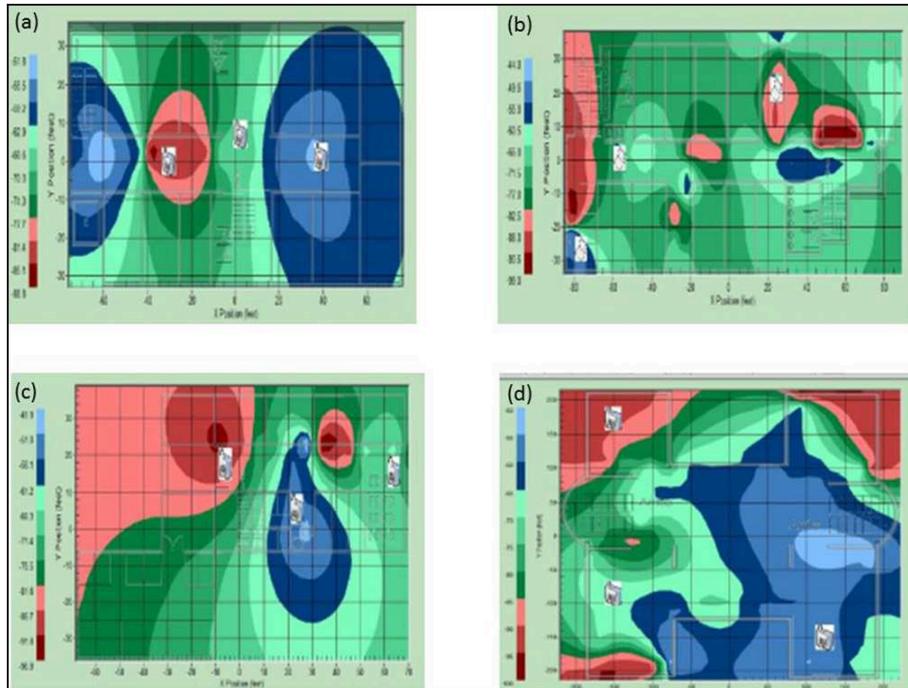


Figura 1. Site survey realizados en el campus de la Universidad Icesi

3. Resultados y discusión

3.1 Llamada VoIP PC a PC

En la figura 2, se muestran los resultados obtenidos al realizar las llamadas, pudiéndose observar que:

- Para la señal de -44 dB, un retardo y una variación del retardo de 78 ms y 14 ms respectivamente (lo cual es aceptable, considerando que para tener una buena calidad de la llamada los valores correctos son hasta 100 ms de retardo y 50 ms de variación del retardo) y las pérdidas son de 0,7% (valor tolerable, debido a que es aceptable hasta un 1% en pérdida de paquetes).
- Para la señal de aproximadamente -77dB, un retardo de 223 ms, una variación del retardo de 25 ms y pérdidas del 1%, mostrando un retardo fuera de lo normal, mientras que la variación del retardo y las pérdidas se encuentran dentro de su rango normal, pero aun así se podría tener una degradación de la llamada.
- Para la señal de -88 dB, un retardo de 135 ms, una variación del retardo de 25 ms y pérdidas del 1%. A pesar de que en este caso

el retardo es mucho menor que en el anterior, sigue fuera del rango considerado aceptable para la calidad de la llamada.

Figura 2. Resultados de las llamadas VoIP PC a PC

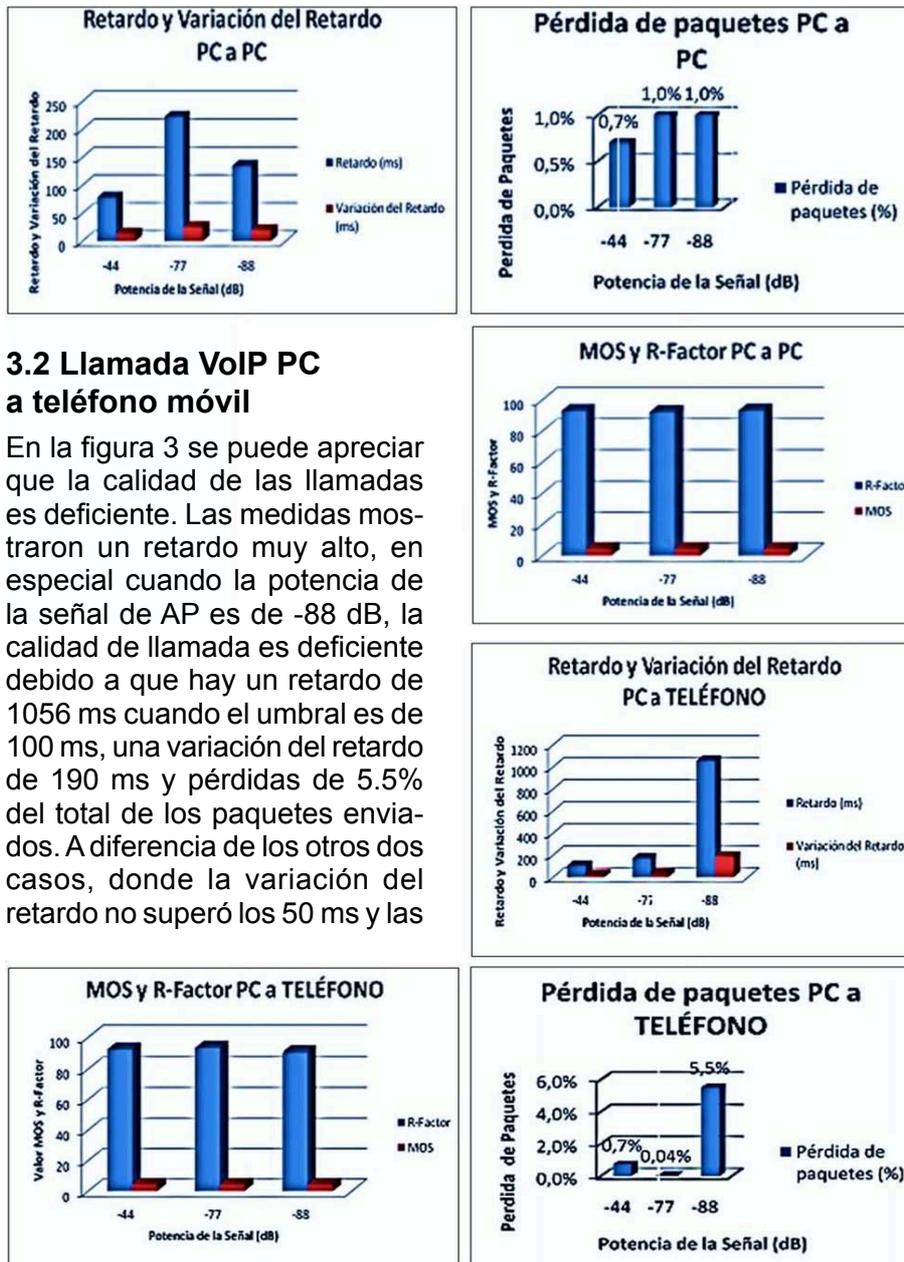


Figura 3. Resultados de las llamadas VoIP PC a teléfono móvil

pérdidas no superan el 1%, pero la calidad de la voz es mala, debido al retardo muy grande.

3.3 Llamada VoIP teléfono móvil a teléfono móvil

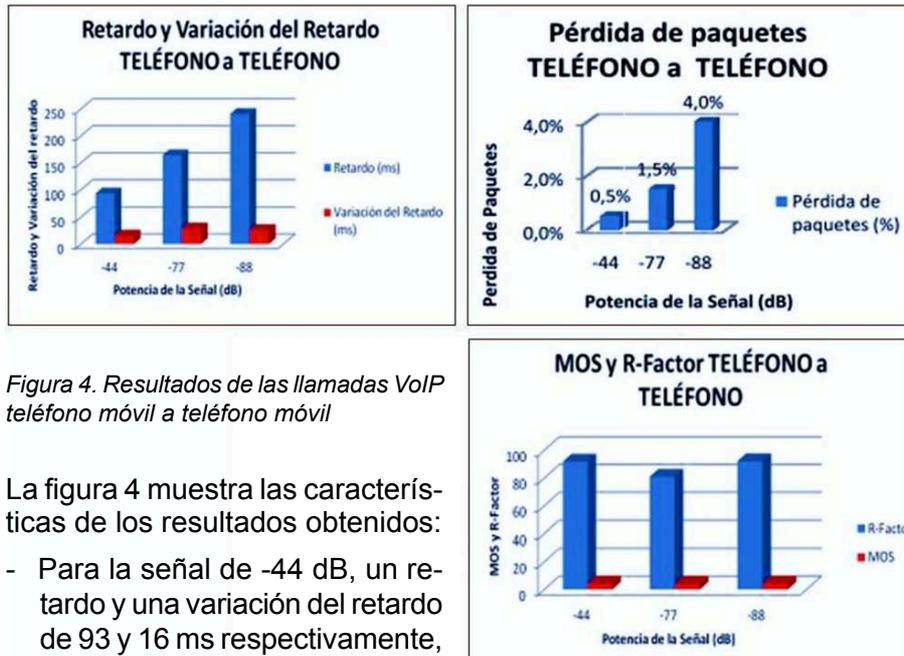


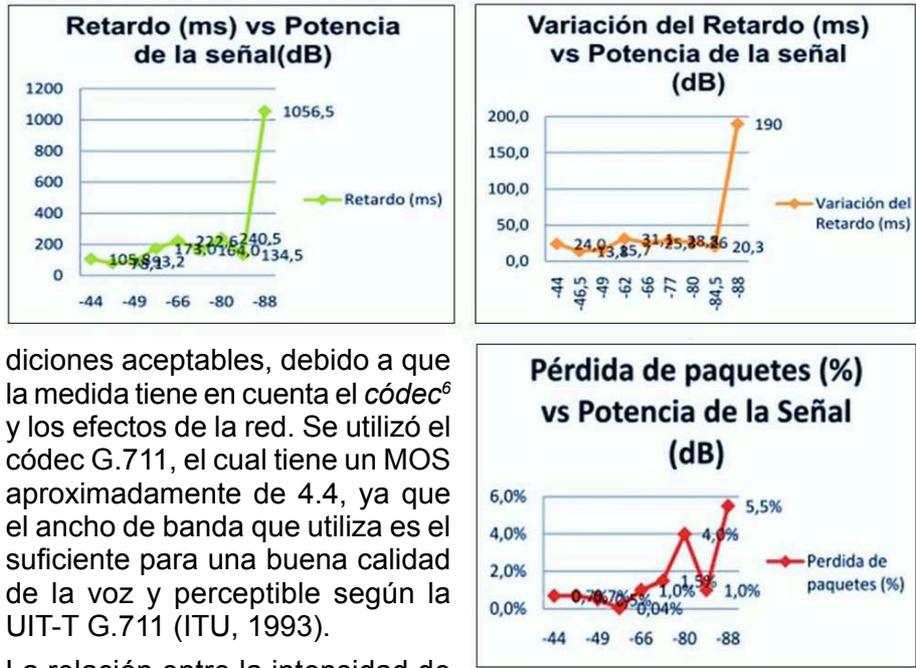
Figura 4. Resultados de las llamadas VoIP teléfono móvil a teléfono móvil

La figura 4 muestra las características de los resultados obtenidos:

- Para la señal de -44 dB, un retardo y una variación del retardo de 93 y 16 ms respectivamente, para una buena calidad de la llamada. Las pérdidas de 0.5%, se encuentran en un umbral aceptable, con una buena recepción de la llamada.
- Para la señal de aproximadamente -77 dB, un retardo de 164 ms, una variación del retardo de 29 ms y pérdidas del 1.5% del total de paquetes enviados, que indica un retardo y pérdidas por encima del umbral aceptable, mientras que la variación del retardo se encuentra dentro del umbral establecido.
- Para la señal de -88 dB, un retardo de 240 ms, una variación del retardo de 26 ms y pérdidas del 4%. A pesar de que la variación del retardo es aceptable, la calidad de la llamada no es suficientemente buena, dado que se pierde un alto porcentaje de los paquetes.

En cuanto al MOS y R-Factor utilizados para evaluar la calidad de la voz, siguiendo la ITU-T G.114 (ITU, 2003), se puede observar (Figuras 2, 3 y 4) que tienen un valor alrededor 4.2 y 91.5 respectivamente. A pesar de la calidad deficiente de las llamadas, los valores indican con-

Figura 5. Relaciones entre retardo, intensidad de señal y pérdida de paquetes



diciones aceptables, debido a que la medida tiene en cuenta el *códec*⁶ y los efectos de la red. Se utilizó el códec G.711, el cual tiene un MOS aproximadamente de 4.4, ya que el ancho de banda que utiliza es el suficiente para una buena calidad de la voz y perceptible según la UIT-T G.711 (ITU, 1993).

La relación entre la intensidad de la señal y el retardo, la variación del retardo y la pérdida de paquetes es mostrada en la Figura 5, donde se observa la relación inversa entre la potencia de la señal y el valor de estos parámetros, en especial en lugares donde la intensidad de la señal es de -88 dB, debido al requerirse la garantía de una adecuada cobertura de AP del área en particular, ya que cuando un terminal se aleja del AP asociado, la señal que viene del mismo disminuye, y es necesario asegurarse del correcto traslape⁷ del área de cobertura entre AP.

4. Conclusiones

Dado el alto tráfico de la red inalámbrica de la universidad en un día promedio, el porcentaje de pérdida de paquetes aumenta, siendo este el parámetro que más afecta la calidad de una llamada, la cual es percibida por el usuario como un espacio en blanco durante la conversación. La

6 Algunos códec proporcionan la habilidad de reducir el ancho de banda necesitado para realizar una llamada produciendo degradaciones en la calidad de la voz.
 7 Se habla de correcto traslape del área de cobertura entre AP, ya que si hay un excesivo traslape entre sus áreas de cobertura, puede resultar en interferencia.

calidad de la voz es deficiente, debido a no tenerse un mecanismo que garantice la calidad de servicio a aplicaciones de tiempo real, como VoIP. Además, las llamadas presentan ruido y eco, debido a que el retardo y la variación del retardo están por encima de los umbrales de calidad establecidos por la ITU en las recomendaciones Y.1540 y Y.1541.

Se recomienda adicionar AP en las zonas de las pruebas para garantizar una mejor cobertura del campus. Así, se puede evitar la pérdida o corte en la comunicación al garantizarse un correcto traslape, una amplia cobertura y una mínima interferencia. Cuando ocurre un corte en la comunicación debido a un cambio de AP la llamada se retoma segundos después pero la degradación de la calidad de la voz es mucho mayor que la conexión anterior.

El VoIP tiene problemas de fiabilidad todavía por resolver, lo cual se ejemplifica cuando la conexión de banda ancha falla ocasionando la terminación de la conexión telefónica, de igual manera, cuando se corta el suministro eléctrico, contrario a lo que sucede con PSTN. Sin embargo, VoIP tiene gran flexibilidad en la asignación de prefijos permitiendo que se puedan crear, modificar y eliminar de acuerdo a las necesidades de la organización.

Referencias bibliográficas

- AHMED, A.; MADANI, H. & SIDDIQUI, T. (2011). VoIP Performance Management. Indianapolis (Indiana, USA): Cisco Press. Networking Technology: IP Communications series. 448 p. ISBN: 978-1-58705-528-7
- ALI, A. A. & BRUNNER, S. (2004) Voice Over IP 101: Understanding the Basic Functions, Components, and Signaling in VoIP Networks. Sunnyvale (California, USA): Juniper Networks, Inc. 21 p. 408.745.2000 1.888 JUNIPER.
- CONTI, J.P. (2004). Talk about a change [VoIP replacing PSTN] [online]. In: IEE Review, Vol. 50, No. 12 (Dec). Stevenage (UK): The Institution of Engineering and Technology, IET. 27 p. ISSN: 0953-5683 <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=1395329&queryText%3DTalk+about+a+change>> [consult: 29/10/2013]
- GALIOTOS, P.; DAGIUKLAS, T. & ARKADIANOS, D. (2002). QoS management for an enhanced VoIP platform using R-factor and network load estimation functionality. In: 5th IEEE International Conference on High Speed Networks and Multimedia Communications, HSNMC (03-05/07/2002), Jeju Island (Korea): Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE p. 305-314. ISBN: 0-7803-7600-5.
- HAMDI, M., VERSCHEURE, O.; HUBAUX, J. P.; DALGIC, I. & WANG, P. (1999). Voice Service Interworking for PSTN and IP Networks. In: IEEE Communication Magazine, Vol. 37, No. 5 (May). New York (NY, USA): IEEE Communications Society. p. 104-111. ISSN: 0163-6804
- HUZHAIRI, Z.; LEE L. W.; LIAS, K.; MARZUKI, A. S.; MAT, D. A. W. & YU, K. C. (2010). Performance analysis of VoIP over 802.11b and 802.11e using different CODECs. In: 10th International Symposium on Communications and Information Technologies, ISCIT (26-29/10/ 2010). Tokyo (Japan): Meiji University, p. 244-248. e-ISBN: 978-1-4244-7009-9
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, ITU (1993). Recommendation ITU-T G.711: General aspects of digital transmission systems. terminals equipments. Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies. Geneva (Switzerland): ITU.

- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, ITU (1996). Recomendación ITU-T P.800: Métodos de determinación subjetiva de la calidad de transmisión [en línea]. Ginebra (Suiza). <https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-P.800-199608-!!PDF-S&type=items> [consulta: 14/04/2014]
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, ITU (2003). Recomendación ITU-T G.114: Serie G: Sistemas y Medios de Transmisión, Sistemas y Redes Digitales. Conexiones y Circuitos Internacionales – Recomendaciones Generales sobre calidad de transmisión para una conexión telefónica Internacional Completa. Tiempo de Transmisión en un Sentido. Ginebra (Suiza): ITU.
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, ITU (2011a). Recommendation ITU-T Y.1540: Serie Y: Infraestructura Mundial de la Información y Aspectos del Protocolo Internet. Aspectos del Protocolo Internet – Calidad de Servicio y Características de Red. Servicio de comunicación de datos con Protocolo Internet – Parámetros de calidad de funcionamiento Relativos a la disponibilidad y la transferencia de paquetes del protocolo Internet. Ginebra (Suiza): ITU.
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, ITU (2011b). Recomendación ITU-T Y.1541: Serie Y: Infraestructura Mundial de la Información, Aspectos del protocolo Internet y Redes de la próxima generación. Aspectos del protocolo Internet – Calidad de Servicio y Características de red. Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet. Ginebra (Suiza): ITU.
- INTERNATIONAL TELECOMMUNICATIONS UNION, ITU (2011c). Recommendation ITU-T G.107: Series G: Transmission Systems and media, Digital Systems and Networks. International Telephone connections and circuits – Transmission planning and the E-model. The E-model: a computational model for use in transmission planning. Geneva (Switzerland). ITU.
- INTERNET ENGINEERING TASK FORCE, IETF (2002). RFC 3393: IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM) [online]. Reston (VA, USA): IETF Trust. 21 p. <<http://tools.ietf.org/html/rfc3393>> [consult: 14/04/2014]
- OHRTMAN, F. (2004). Voice Over 802.11. Norwood (MA, USA): Artech House Inc. 258 p. ISBN: 9781580536776
- PRASAD, A. R. & PRASAD, N. R. (2005). 802.11 WLANs and IP Networking: security, QoS, and mobility. Norwood (MA, USA): Artech House Inc. 330 p. ISBN: 9781580537896
- ZVANOVEC, S.; PECHAC, P. & KLEPAL, M. (2003). Wireless LAN Networks Design: Site Survey or Propagation Modeling? [online]. In: Radioengineering, Vol. 12, No. 4 (Dec), Brno (Czech Republic): Brno University of Technology. p. 42-49. ISSN: 1210-2512. <http://radioeng.cz/fulltexts/2003/03_04_42_49.pdf> [consult: 23/03/2014]