

# Auditoría de VoIP: Análisis de la QoS objetiva y subjetiva en la transmisión de voz extremo a extremo sobre un acceso ADSL

Elena Macián-Senz, Julián Fernández-Navajas, Eduardo A. Viruete-Navarro, José Ruiz-Mas

Grupo de Tecnologías de las Comunicaciones (GTC) – Instituto de Investigación de Ingeniería en Aragón (I3A)  
Centro Politécnico Superior (CPS), Universidad de Zaragoza

Edificio Ada Byron. Campus Río Ebro. c/ María de Luna 3, 50.018 – Zaragoza (Spain)

Teléfono: 976 76 19 63 – Fax: 976 76 21 11

E-mail: {emacian, navajas, evirute, jruiz}@unizar.es

***Abstract.** In the last few years, IP networks and multimedia audio and video applications running on them have experienced an amazing development. These applications require plenty of network resources for a correct performance. Therefore, more and more Internet users, network administrators and application developers are demanding audits to control the QoS that their networks provide. This article presents a generic methodology to undertake a VoIP audit and emphasizes the importance of the audits of QoS in our society. It also shows interesting findings on QoS studies for Real Time multimedia applications in telematic networks, especially for VoIP in a scenario with an ADSL access. This analysis is done not only from an objective point of view (BW, delay, jitter or loss ratio), but also from a subjective perspective (MOS scale using the E-Model).*

## 1 Introducción

En los últimos años, las redes telemáticas, especialmente las redes IP, han experimentado un desarrollo espectacular, y de igual manera lo han hecho también los servicios y aplicaciones telemáticas que sobre estas redes se ofrecen. Así, las aplicaciones tradicionales, tales como navegación Web, correo electrónico, transferencia de ficheros o acceso remoto, se complementan con otras nuevas, denominadas aplicaciones multimedia, entre las que destacan la voz sobre IP (*Voice over IP*, VoIP) [1], la videoconferencia o el vídeo bajo demanda.

Este último tipo de aplicaciones, especialmente las de audio y vídeo, demandan a la red unos requisitos temporales muy estrictos para su correcto funcionamiento, además de los habituales requisitos de ancho de banda y baja tasa de pérdidas. Uno de los motivos de estas exigencias es que no se trata de aplicaciones conceptualmente nuevas, sino que existen sus respectivos precedentes analógicos (telefonía y televisión), y el usuario está acostumbrado a una cierta calidad en este tipo de servicios que estas aplicaciones deben cubrir como mínimo.

En este contexto, en el que la sociedad está demandando redes privadas y accesos a Internet cada vez de mayor calidad, para así cubrir sus nuevas necesidades de comunicación e información, es necesario proporcionar al usuario final de las redes telemáticas herramientas que le permitan conocer las prestaciones que está recibiendo de las mismas. En efecto, cada vez más empresas y particulares demandan auditorías de Calidad de Servicio (*Quality of Service*, QoS) [2] en sus redes.

Esta evolución está propiciando la proliferación de estudios para analizar y cuantificar la QoS que las aplicaciones, normalmente multimedia en tiempo real (*Real Time*, RT), requieren de la red telemática que las soporta para su correcto funcionamiento [3-5]. Cabe reseñar que cada aplicación tiene unos requisitos de QoS diferentes, por lo que una misma red puede ser suficientemente buena para ofrecer sobre ella un cierto tipo de servicios, mientras que para otros puede resultar inadecuada.

En la labor de estudio de los parámetros que influyen en mayor medida en la QoS están interesados tanto los usuarios finales de Internet, como las operadoras, los administradores de redes privadas y los desarrolladores de aplicaciones. Centrándonos en los accesos a Internet, la legislación vigente por la que se regulan las condiciones relativas a la QoS exigibles a las operadoras para los accesos a Internet (orden ITC/912/2006, de 29 de marzo del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio) [6] se encuentra todavía bastante inmadura y muchos de los parámetros fundamentales para el correcto funcionamiento de las aplicaciones RT no están garantizados, sino que se deben comprobar y medir experimentalmente. Es por este motivo por el que se requiere un método sencillo y rápido para estudiar las prestaciones de aplicaciones como VoIP sobre una red telemática extremo a extremo (*End-to-End*, E2E) que incluya un acceso a Internet. En particular, este artículo se centra en accesos ADSL ya que se trata de la tecnología más usada por los internautas españoles, y en representación de cualquier tecnología de acceso a Internet que realice el transporte de paquetes a tasa constante.

La estructura de este artículo es la siguiente: La sección 2 presenta el método utilizado para realizar

la auditoría de QoS. La sección 3 presenta la batería de pruebas y los resultados obtenidos en el escenario objeto de estudio. Finalmente, la sección 4 recoge las conclusiones y líneas futuras de este trabajo.

## 2 Descripción del método

Para realizar la auditoría de QoS, se va a utilizar un escenario físico real en el que se encuentre contenido el acceso ADSL objeto de estudio (Fig. 1). Sobre este escenario se realizará una batería de varias pruebas para extraer conclusiones sobre las condiciones en las que es viable establecer comunicaciones VoIP en ese escenario. El acceso particular objeto de estudio se encuentra situado en Zaragoza, es de una operadora comercial y tiene una velocidad de 4 Mbps en el enlace descendente (*Downlink*, DL) y 512 Kbps en el ascendente (*Uplink*, UL). La red local del acceso particular está basada en Ethernet a 100 Mbps, mientras que la red desde la que se realizan medidas en la Universidad es Ethernet a 10 Mbps.

Como puede observarse, la QoS medida y analizada en este estudio es la QoS E2E entre dos usuarios que quieran mantener conversaciones a través de Internet usando VoIP. Sin embargo, la QoS E2E es la suma de las contribuciones de cada una de las subredes que atraviesa la comunicación. Suponiendo que el acceso ADSL a Internet es el cuello de botella que mayor degradación provoca en la QoS E2E, se puede afirmar que este método constituye un análisis o auditoría de la QoS para VoIP sobre un acceso ADSL a Internet.

Los parámetros a estudiar serán los parámetros objetivos de funcionamiento de la red [7-10], tales como retardos (disponibles gracias a la sincronización entre equipos mediante protocolo NTP), pérdidas de información o capacidad de transmisión. No obstante, conviene no olvidar que el concepto de calidad también incluye la apreciación subjetiva de los usuarios. La medida de los parámetros subjetivos [11] mediante métodos tales como la encuesta en base a factores sociológicos no se ha tenido en cuenta. Sin embargo, en este estudio no se quiere renunciar a medidas de QoS percibida por el usuario. Para ello, se aplicarán métodos y modelos que permitan relacionar directamente los parámetros objetivos de funcionamiento de la red con los parámetros subjetivos de calidad percibida. El modelo que se usará es el G.107 o E-Model [12], [13].

Las pruebas consistirán en lanzar tráfico controlado a la red para realizar mediciones o capturas de éste en distintos puntos del escenario. Para ello se utilizará un generador de tráfico UDP y emulará conversaciones reales, es decir, tendrá los mismos parámetros que el tráfico VoIP real según el patrón que se muestra en la Fig. 2 y los parámetros de la Tabla 1, usando los *codec* de audio estándares G.711, G.723 y G.729. Este método de obtención de

parámetros es de tipo activo e interfiere en el funcionamiento cotidiano de la red, aunque ofrece resultados más fiables que los métodos pasivos. Además, el hecho de que el tráfico introducido emule conversaciones reales permite aprovechar los beneficios de los generadores de tráfico artificial sin renunciar a un cierto realismo.

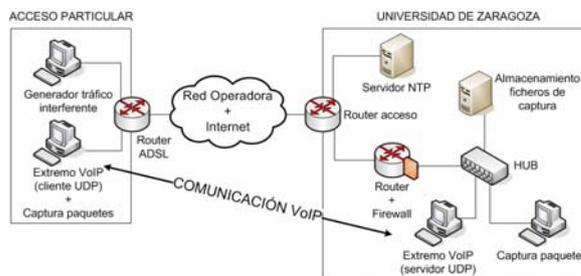


Figura 1: Escenario de medida

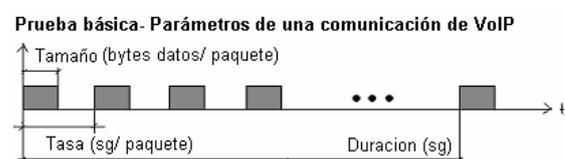


Figura 2: Patrón de emisión de paquetes

	MÉTODO DE COMPRESIÓN	TASA DE GENERACIÓN DE PAQUETES (ms)	TAMAÑO DE PAQUETE A NIVEL DE APLICACIÓN (bytes)	TAMAÑO DE PAQUETE A NIVEL IP (bytes)	BW A NIVEL DE APLICACIÓN (Kbits/sg)	BW A NIVEL IP (Kbits/sg)
CODEC G.711v	PCM	10	80	120	64	96
		20	160	200	64	80
		30	240	280	64	74,67
		60	480	520	64	69,33
CODEC G.723.1	MP-MLQ	30	24	64	6,3	17,07
		60	48	88	6,3	11,73
		90	72	112	6,3	9,96
CODEC G.729	CS-ACELP	10	10	50	6,3	40
		20	20	60	8	24
		30	30	70	8	18,67
		60	60	100	8	13,33
		90	90	130	8	11,56

Tabla 1: Parámetros de los codec

Los puntos clave del escenario donde se va a capturar el tráfico inyectado en las pruebas son los dos extremos de la comunicación E2E. Para ello, es necesario colocar en cada extremo de la comunicación una sonda capturando paquetes que los guarda junto con un sello temporal. Estas sondas no realizan ningún tipo de procesamiento al tráfico que capturan, sino que envían los ficheros de captura a una máquina gestora en instantes que no interfieran con la comunicación VoIP emulada. La máquina gestora será la que realice todo el procesamiento y extraerá los parámetros de QoS objetivos de interés: retardo, *jitter*, tasa de pérdidas y ancho de banda (*Bandwidth*, BW) utilizado por la comunicación. Posteriormente, aplicando el E-Model se obtendrá los una estimación de la QoS percibida por el usuario a partir de los parámetros medidos.

### 2.1 Parámetros de QoS objetivos

La definición de los parámetros de QoS objetivos puede observarse en las siguientes ecuaciones (Fig. 3):



Figura 3: Toma de tiempos en el escenario de medida

- Ancho de Banda en emisión:

$$BW_{emisión} = \frac{\sum_{i=n}^{n+2000} total\_bytes\_paquete(i)}{t_{src\_out}(n+2000) - t_{src\_out}(n)} \quad (1)$$

- Retardo de la red en un sentido (*One-Way*):

$$Retardo\_red\_ow = t_{dst\_in}(n) - t_{src\_out}(n) \quad (2)$$

- Retardo de la red de ida y vuelta (*Round Trip Time, RTT*):

$$Retardo\_red\_rtt = t_{src\_in}(n) - t_{src\_out}(n) \quad (3)$$

- *Jitter*:

$$Jitter = (t_{dst\_in}(n+1) - t_{dst\_in}(n)) - (t_{src\_out}(n+1) - t_{src\_out}(n)) \quad (4)$$

Una vez obtenidos los parámetros de QoS objetivos, los compararemos con los umbrales de la Tabla 3, que constituyen un resumen de los requisitos especificados en [14], [15], para saber si la calidad de una comunicación de VoIP es alta, media o baja.

	CALIDAD ALTA	CALIDAD MEDIA	CALIDAD BAJA
Pérdidas	1%	3%	5%
Retardo	150 ms	400 ms	600 ms
Jitter	20 ms	50 ms	75 ms

Tabla 3: Umbrales de calidad

NOTA: El Retardo que aparece en la Tabla 3 es el retardo boca-oído, cuya definición es la siguiente:

$$Retardo\_bo = \frac{Retardo\_red\_rtt}{2} + Contribuciones \quad (5)$$

## 2.2 Parámetros de QoS subjetivos

Dando un paso más allá en el procesado de los parámetros de QoS objetivos, éstos serán introducidos en modelos matemáticos de QoS percibida por los usuarios de aplicaciones VoIP. Estos modelos intentan relacionar los parámetros objetivos de funcionamiento de la red y el tipo de *codec* utilizado en la comunicación de voz, con la percepción de la calidad del audio por parte del usuario de la aplicación VoIP. El conocimiento de esta calidad, como grado de satisfacción del usuario, es fundamental y estos métodos permiten calcularla sin emplear costosos métodos basados en encuestas.

El modelo que se utilizará es el E-Model simplificado [12],[13],[16-18]. Este modelo intenta obtener el factor R que posteriormente se traducirá en

un valor de la escala subjetiva MOS según las ecuaciones siguientes:

$$R = R_o - I_s - I_d - I_{eff} + A \quad (6)$$

Siendo:

$R_o$  → degradación por efectos de ruido

$I_s$  → degradaciones por efectos simultáneos varios

$I_d$  → degradaciones por retardos en la red

$I_{eff}$  → degradaciones por el uso de un tipo de *codec* y las pérdidas de la red.

A → factor de corrección por las expectativas de calidad del usuario

El MOS se calcula según:

$$MOS = \begin{cases} 1 & \text{si } R \leq 0 \\ 1 + 0.035R + R(R-60)(100-R)7 \times 10^{-6} & \text{si } 0 < R < 100 \\ 4.5 & \text{si } R \geq 100 \end{cases} \quad (7)$$

En la Tabla 4 se observa finalmente la calidad de voz percibida subjetiva en base a los valores de los parámetros R y *Mean Opinion Score* (MOS) obtenidos en base a los parámetros de QoS objetivos medidos en la red.

Calidad de la voz transmitida	MOS	Factor R
Óptima	4.50 – 4.34	100 – 90
Alta	4.34 – 4.03	90 – 80
Media	4.03 – 3.60	80 – 70
Baja	3.60 – 3.10	70 – 60
Pobre	3.10 – 2.58	60 – 50

Tabla 4: Calidad de voz subjetiva

## 2.3 Obtención de parámetros

Finalmente, cabe destacar que se obtendrán los diversos parámetros de forma continua y uniformemente espaciada en el tiempo, lo que permite estimar la QoS de una conversación de duración estándar (2 minutos) iniciada en cualquier instante del día.

A partir de la captura de datos masiva con este método, es posible obtener muchas realizaciones diferentes con un adecuado tratamiento de las medidas obtenidas.

## 3 Batería de pruebas y resultados obtenidos

A continuación se detallan algunas de las pruebas lanzadas en este estudio para auditar parámetros y comportamientos de aplicaciones VoIP sobre el escenario de la Fig. 1.

## PRUEBA 1: Emulación de 1 conversación que usa el codec G.723 y una tasa de generación de paquetes constante de 30 ms.

Objetivo: Estudiar BW, retardo, *jitter*, tasa de pérdidas y MOS durante un largo periodo de tiempo. Sin embargo, a efectos de este estudio se ha representado un zoom de 2,5 minutos de la transmisión, lo que equivale a 5000 paquetes emitidos a una tasa de 30 ms.

### Estudio del retardo:

En Fig. 4 se observan las gráficas de los retardos de la red: *Round-Trip* y *One-Way* calculado a partir del *Round-Trip*. El retardo a considerar para estudiar la viabilidad de implementar la VoIP es el retardo *one-way* total "boca-oído" (Retardo\_bo) extraído de la recomendación G.114 [19]. En la prueba, el RTT de la red (Retardo\_red\_rtt) se mantiene a lo largo de todo el tiempo alrededor de los 65 ms. A pesar de la asimetría de la comunicación bidireccional, se considera que el retardo *one-way* de la red (Retardo\_red\_ow) es igual a la mitad de Retardo\_red\_rtt y, por tanto, se encuentra alrededor de los 32,5 ms. Tras corregir este valor y añadir las contribuciones al retardo pertinentes se obtiene un retardo *one-way* total de 102,4 ms. Estas contribuciones al retardo son suma del retardo del algoritmo, del retardo de paquetización, del retardo de serialización y del retardo del *buffer* de *jitter*.

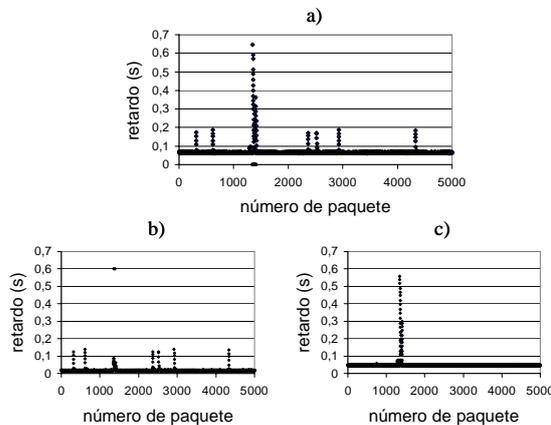


Figura 4: Retardo de un paquete en la red.  
a) retardo round-trip. b) retardo one-way-DL. c) retardo one-way-UL

Este valor de retardo boca-oído, salvo en casos puntuales, permite realizar comunicaciones de VoIP con calidad alta (valor por debajo de los 150 ms) y además permite usar un *buffer* de *jitter* de hasta 50 ms, que como se verá posteriormente, es mucho mayor que el *jitter* que introduce la red.

Los picos de retardo presentes en las gráficas anteriores representan comportamientos aislados de la comunicación VoIP. Examinando cómo se

comportan los paquetes en estos periodos de tiempo se observa que el primer paquete del pico es el que sufre un gran retardo, debido probablemente al intercalado de una ráfaga de tráfico, mientras que los paquetes sucesivos, aunque no sufran retardo, experimentan el efecto de haber sido introducidos en un *buffer*. Estos grandes picos de retardo duran solamente décimas de segundo, por lo que no introducen excesiva distorsión vocal en la señal audible.

### Estudio del *jitter*:

En las gráficas de Fig. 5 pueden observarse representaciones de *jitter*. Estas gráficas muestran el *jitter* introducido por la red en el UL y en el DL.

En estas gráficas se puede apreciar que, en condiciones normales, el *jitter*, en el UL y en el DL nunca supera los 10 ms. Según la Tabla 3, esto significa que la calidad de las comunicaciones de VoIP que se establezcan es muy buena.

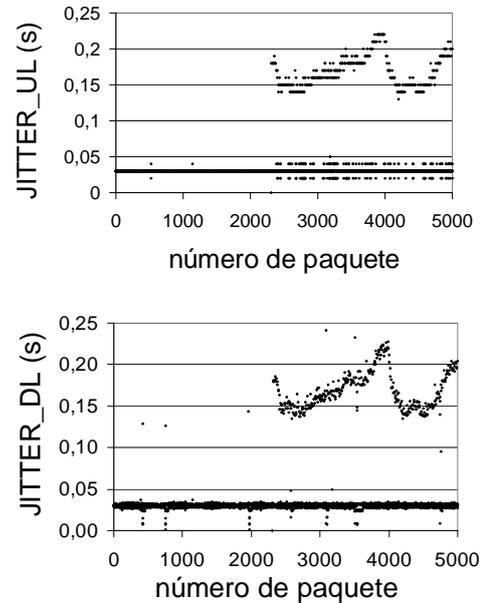


Figura 5: Jitter introducido por la red en el UL y DL

### Estudio de la tasa de pérdidas:

En Fig. 6 se representan las pérdidas. Cabe destacar que son escasas y además se producen a ráfagas y coinciden con los instantes de picos de retardo. Este comportamiento se debe al modo en que las colas de los routers se implementan a la hora de retrasar o descartar paquetes.

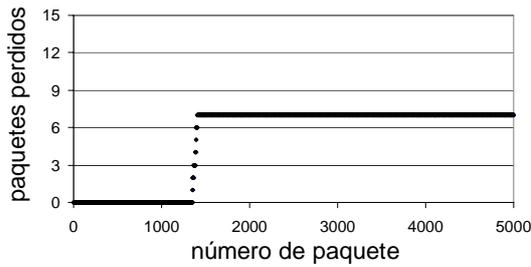


Figura 6: Número acumulado de paquetes perdidos

Analizando las pérdidas en el UL y en el DL nos damos cuenta de que las pérdidas se producen a la vez en las dos direcciones y además no se produce en ningún caso desorden de paquetes. La tasa de pérdidas en esta prueba está muy por debajo del 1% si se considera una conversación de duración de alrededor de 3 horas. La presencia de pérdidas se produce con tan poca frecuencia que puede considerarse que no afecta a la buena calidad de la conversación.

**Estudio del MOS:**

En la gráfica resumen de la figura 7 se representa, en cada instante de tiempo a lo largo de las 24 horas del día, la calidad subjetiva en escala MOS que un usuario final percibiría en la conversación que emulada, en base a los parámetros calculados antes de retardo, jitter y pérdidas que en cada instante experimenta la red.

Un valor de 1 en la escala MOS representa un grado de satisfacción inaceptable para un usuario final de la VoIP, mientras que un valor de 4.5 significa calidad óptima. Teniendo esto en cuenta, la Fig. 8 muestra el porcentaje de intervalos de 5 segundos a lo largo de 24 horas en los cuales la comunicación de VoIP se produciría con una determinada calidad (óptima, alta, media, baja, pobre o inaceptable).

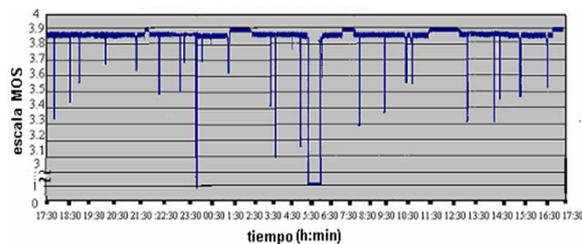


Figura 7: MOS (promediado cada 5 s) de una conversación VoIP (G.723, tasa 30 ms) durante 24 h

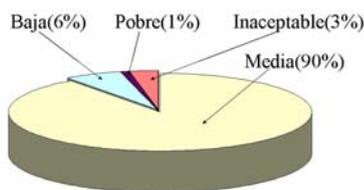


Figura 8: Porcentaje de tiempo para cada calidad (promediado cada 5 segundos) de comunicaciones de VoIP (G.723, tasa 30 ms) a lo largo de 24h.

El cálculo del MOS anterior se ha realizado suponiendo un *buffer* de *jitter* ideal y adaptativo que elimina el *jitter* de red en cada instante. En un caso real, un *buffer* de *jitter* constante es suficiente siempre y cuando sea capaz de amortiguar los mayores *jitter*. Usando esta solución, además se podrían eliminar también los picos de retardo de 150-200 ms que aparecen. Estos picos no degradan sustancialmente el MOS, pero sí que producen en el oyente chasquidos en la voz. Colocando un *buffer* de *jitter* de 150 ms se amortigua gran parte del *jitter* y de estos retardos, a costa de aumentar el retardo “boca-oido” y de empeorar el MOS (Fig. 9). Vemos que durante el 100% del tiempo la conversación tiene una calidad ‘Media’ en torno a 3,3.

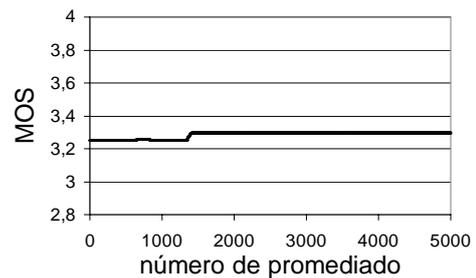


Figura 9: MOS (promediado cada 5s) de una conversación VoIP (G.723\_tasa 30 ms) con un *buffer* de Jitter de 150ms

**PRUEBA 2: Emulación de 1 conversación que usa el codec G.723 y una tasa de generación de paquetes constante de 30 ms, interferida por tráfico TCP, UDP y Peer-to-Peer (P2P)**

Objetivo: Comprobar la degradación que sufren los parámetros de QoS al interferir una conversación VoIP con tráfico Web (TCP), radio *on-line* (UDP), *File Transfer Protocol* (TCP) y *Emule* traffic (P2P) durante un largo periodo de tiempo.

En esta prueba volvemos a realizar un *zoom* de 2,5 minutos de la transmisión, lo que equivale a 5000 paquetes emitidos a una tasa de 30 ms.

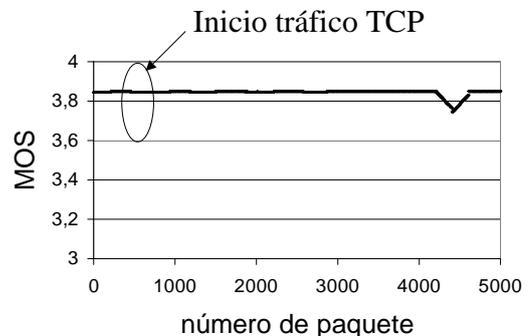


Figura 10: MOS instantáneo de una conversación VoIP (G.723\_tasa 30 ms) interferida con tráfico TCP

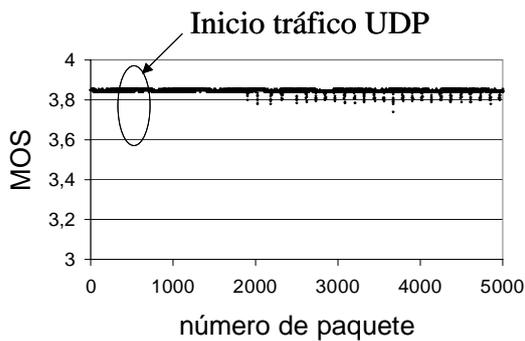


Figura 11: MOS instantáneo de una conversación VoIP (G.723\_tasa 30 ms) interferida con tráfico UDP

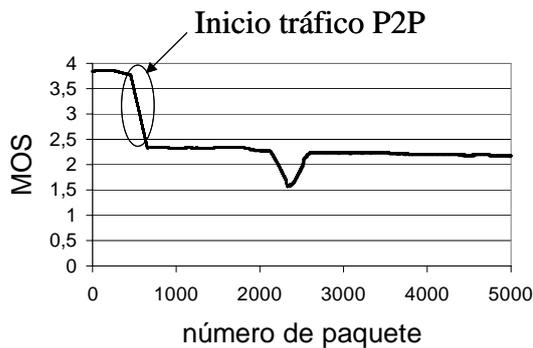


Figura 12: MOS instantáneo de una conversación VoIP (G.723\_tasa 30 ms) interferida con tráfico P2P

En las figuras 10, 11 y 12 se pueden ver el MOS y el grado de satisfacción en cada instante de una conversación con el *codec* G.723 y de tasa de envío de paquetes cada 30 ms cuando su tráfico se ve interferido por tráfico TCP, UDP y P2P de diversas aplicaciones en el acceso ADSL. A continuación, en la Tabla 5 vemos, para cada caso de interferencia, el porcentaje de tiempo de cada tipo de calidad que presenta una conversación.

CALIDAD DE LA CONVERSACION	INTERF. TCP	INTERF. UDP	INTERF. P2P
Optima	0%	0%	0%
Alta	0.9%	0%	0%
Media	99.1%	100%	29.89%
Baja	0%	0%	0.26%
Pobre	0%	0%	0.27%
Inaceptable	0%	0%	69.57%

Tabla 5: Porcentaje de tiempo de cada calidad de conversación para los casos de interferencia TCP, UDP y P2P.

En el caso de interferencia TCP el MOS no sufre degradación alguna respecto al caso sin interferencia. Esto se debe a que el tráfico TCP se autoregula y adapta al ancho de banda que en cada momento deje disponible la conversación VoIP sobre UDP, la cual no se ve afectada en gran medida.

Para el caso de interferencia UDP, el MOS se degrada un poco, apreciando agrupaciones de picos de degradación de MOS puntuales de alrededor de 3.75, debido a que el tráfico UDP interferente no es muy abundante. El tráfico UDP interferente entra en competencia directa con el tráfico UDP de la conversación VoIP y, en ausencia de prioridades, cuando el acceso a Internet se satura se pierden paquetes UDP de una u otra aplicación.

Sin embargo, en la interferencia P2P, debido a la existencia de numerosas conexiones simultáneas, tanto TCP como UDP de numerosos usuarios que quieren intercambiar archivos en una red P2P, como es el caso de la prueba de *Emule*, el MOS se degrada a niveles inadmisibles imposibilitando la comunicación de VoIP por completo todo el tiempo.

### PRUEBA 3: Emulación de 4 conversaciones simultáneas que usan el *codec* G.723 y una tasa de generación de paquetes constante de 30 ms

Objetivo: Comprobar tendencias en la degradación de la QoS de las conversaciones de VoIP a medida que aumentan en número a través de un mismo enlace durante un largo periodo de tiempo.

En esta prueba se ha estudiado el valor de MOS de cuatro conversaciones simultáneas. Las cuatro conversaciones presentan idéntica calidad y en caso de tomar un *zoom* de cuatro conversaciones juntas a lo largo de 2,5 minutos vemos que el valor medio del MOS está, para las cuatro conversaciones, en torno al 3,1 en la escala MOS. Sin embargo, también se aprecia que al estar las cuatro conversaciones simultáneas hay más momentos de mal comportamiento respecto al caso en el que sólo existe una conversación.

La tendencia que se ve en esta prueba es el mantenimiento de la calidad de las conversaciones simultáneas constante, mientras el ancho de banda disponible sea suficiente para albergarlas.

### PRUEBA 4: Emulación de 2 conversaciones que usan los *codecs* G.723 y G.711 con tasas de 30 ms.

Objetivo: Analizar durante un largo tiempo los dos parámetros que el software de VoIP comercial permite configurar manualmente: el *codec* y la tasa. De nuevo en esta prueba ilustraremos un *zoom* de 2,5 minutos que equivalen a 5000 paquetes generados a tasa 30 ms.

Las Figs. 13 y 14 muestran los resultados de esta prueba y representan el MOS de 2 conversaciones con diferente *codec* por la misma red, una con G.711 y otra con G.723. Vemos que para la conversación con el *codec* G.723 la calidad de la conversación es durante el 100% del tiempo considerada como

'Media', mientras que para el *codec* G.711 es considerada como 'Óptima'.

A pesar de que el comportamiento de los parámetros objetivos (retardos, *jitter* y pérdidas) es ligeramente peor con el *codec* G.711 que con el G.723, en la gráfica del MOS se observa que éste es mejor, en general, para el *codec* G.711.

Este hecho es debido a que el valor de MOS es fruto de dos contribuciones: una debida al funcionamiento de la red y otra a las características del método de codificación del *codec*. Como el G.711 no comprime la voz, su calidad no se degrada y el hecho de que los paquetes se transporten peor por la red se compensa. Como contrapartida, el *codec* G.711 consume más ancho de banda.

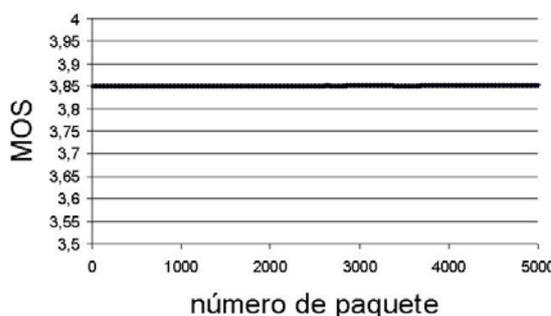


Figura 13: MOS instantáneo de una conversación VoIP (G.723\_tasa 30 ms)

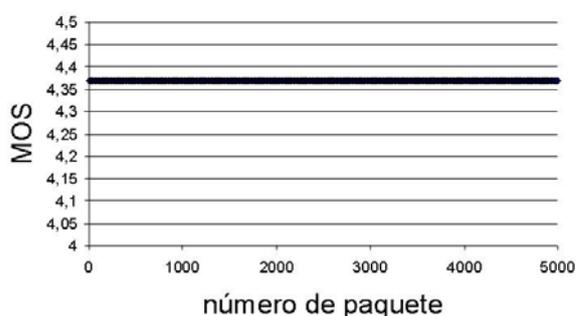


Figura 14: MOS instantáneo de una conversación VoIP (G.711\_tasa 30 ms)

## 4 Conclusiones

En este trabajo se ha presentado una metodología genérica para realizar una auditoría del correcto funcionamiento de VoIP sobre un acceso a Internet ADSL. No obstante, esta metodología puede usarse sobre cualquier otro entorno telemático.

A continuación se resumen algunas de las conclusiones específicas obtenidas a partir de la auditoría de VoIP en el escenario completo contemplado a lo largo del artículo:

### 4.1. Sobre el comportamiento general y puntual de la red

- A pesar del carácter *Best-effort* de Internet, la variabilidad de los parámetros de QoS medidos no es tan elevada y las degradaciones de calidad en la

conversación VoIP duran décimas de segundo siendo su efecto muy pequeño (pequeños chasquidos) que si coincidieran con fonemas sordos, como /p ,t ,k/, o momentos de silencios, no se apreciarían.

- Las comunicaciones de VoIP han resultado viables durante el 96% del tiempo auditado con calidad media-alta (MOS de 3,8).
- Si antes de establecer una comunicación de VoIP se lanza una pequeña prueba de estimación de QoS, ésta podría considerarse como una idea previa de la probable calidad de la conversación futura.

### 4.2. Sobre el comportamiento con tráfico interferente

- El tráfico TCP interferente no degrada la calidad de la comunicación VoIP en curso, debido a que su naturaleza orientada a conexión hace que se autoregule. Por tanto, para asegurar la viabilidad de VoIP no es necesario limitar este tipo de tráfico.
- El tráfico UDP interferente, sin embargo, sí que produce degradación en la QoS de la comunicación VoIP, ya que el tráfico UDP interferente entra en competencia directa con el tráfico UDP de la conversación de voz. En estos casos es necesario un mecanismo de prioridades para poder garantizar la QoS de las conversaciones VoIP.
- El tráfico P2P, como combinación de numerosas conexiones UDP y TCP, produce resultados catastróficos en la conversación de VoIP, haciéndola inviable. Por tanto, es necesario implementar un sistema de limitación de este tráfico en el acceso ADSL.

### 4.3. Sobre el comportamiento de varias conversaciones simultáneas

Al lanzar cuatro conversaciones de VoIP iguales todas presentan la misma calidad. Este sería el caso de escenario de comunicación entre dos sucursales de oficinas con un acceso a Internet único compartido para todo el edificio mediante *Network Address Translation* (NAT).

### 4.4. Sobre los parámetros configurables de la VoIP

- Sobre el *codec* de compresión a usar:

En redes privadas, donde los recursos de ancho de banda sean holgados, el *codec* G.711 es preferible, ya que al no comprimir la voz, la calidad de la conversación es máxima en cuanto al *codec* se refiere, aunque el comportamiento de la red frente al *codec* G.723 sea ligeramente mejor que frente al

codec G.711. Sin embargo, en un escenario que incluya Internet se recomienda usar el *codec* G.723.

- Sobre la tasa a usar:

Se han observado mejores comportamientos de la red cursando el tráfico generado con tasa menor, ya que este presenta paquetes de pequeño tamaño que se comportan mejor que los grandes en escenarios de Internet. Sin embargo, la optimización del ancho de banda que se obtiene con paquetes pequeños es menor.

- Sobre el *buffer* de *jitter* a usar:

El tiempo de *jitter* máximo presente en nuestro escenario es generalmente de 10 ms. Por tanto, con un *buffer* de *jitter* capaz de absorber 10 ms de *jitter* sería suficiente para que el usuario final no percibiera el efecto del *jitter* más que como un retardo E2E. Sin embargo, la elección del tamaño del *buffer* de *jitter* es siempre un compromiso entre el retardo “boca-oido” (añadiendo al retardo de red los propios de la aplicación) y la eliminación de chasquidos.

## Agradecimientos

Este trabajo ha recibido el apoyo de proyectos de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) y de los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) TSI2004-04940-C02-01, del VI Programa Marco (Pulsers II IP) IST-27142, y del Ministerio de Educación y Ciencia (beca FPU AP-2004-3568).

## Referencias

- [1] Estándar ITU-T H.323 para VoIP. Enero 1996
- [2] A.Vogel, B.Kerhervé, G. von Bochmann and J. Gecsei. *Distributed Multimedia and QoS: A Survey*. IEEE Multimedia Paper, 1995.
- [3] Viruete E.A., Fernández J., Martínez I. *Evaluation of QoS in Internet accesses for Multimedia applications (EQoSIM)*. CCNC 2006
- [4] J. Lafuente Martinez, I. García Muñoz, J. Fernández Navajas. *QoS Estimators for Client-Side Dynamic Server Selection: Limitations and Keys*. The Ninth IEEE Symposium on Computers and Communications. Alexandria, Egypt. June 29-July 1. 2004.
- [5] Viruete E.A., Fernández J., Martínez I. *On-line Internet Access Estimation Tool: EQoSIM*. Eurocon 2005 Serbia & Montenegro, Belgrade, November 22-24, 2005

[6] Orden ITC/912/2006 de 29 de marzo del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio por la que se regulan las condiciones relativas a la calidad de servicio en la prestación de los servicios de comunicaciones electrónicas.

[7] Recomendación ITU-T I.350 *Aspectos generales de calidad de servicio y de calidad de funcionamiento en las redes digitales incluidas las redes digitales de servicios integrados*, Marzo 1993.

[8] ETSI EG 202 057. *Speech Processing, Transmission and Quality Aspects(STQ); User related QoS parameter definitions and measurements Part 2: General*. 2005

[9] ETSI EG 202 057 Part 2: *Voice telephony, Group 3 fax, modem data services and SMS*. Revisión 2005

[10] ETSI EG 202 057 Part 3: *QoS parameters specific to Public Land Mobile Networks (PLMN)*. Revisión 2005

[11] Recomendación ITU-P P.800, *Methods for subjective determination of transmission quality*, 1996

[12] ITU-T G.107, *El modelo E, un modelo informático para utilización en planificación de la transmisión*, Marzo 2005

[13] ITU- T G.108, *Aplicación del modelo E: Directrices para la planificación*, Septiembre 1999

[14] ETSI EG 202 057 Part 4: *Internet Access*. Revisión 2005

[15] Recomendación ITU-T G.1010, *End-user multimedia QoS categories*.

[16] Thomas Pfeiffenberger and Thomas Fichtel. *An Agent Based Framework for Comprehensive IP Measurements*. CMT, 2005

[17] ITU-T Study Group 12, *Estimation of Ie and Bpl parameters for a range of CODEC types*, 2003

[18] R. G. Cole and J. Rosenbluth, *Voice over IP Performance Monitoring*, Journal on Computer Communications Review, vol. 31., Abril 2001

[19] Recomendación G.114, *One-way Transmission Time*, 2003.