

# Un estudio práctico del rendimiento del servicio de Streaming de Video sobre redes móviles GPRS/UMTS

Almudena Díaz, Pedro Merino, Laura Panizo, Álvaro M. Recio  
Dpto. de Lenguajes y Ciencias de la Computación,  
Complejo Tecnológico, Campus Teatinos, 29071  
Universidad de Málaga  
Málaga, España  
Tlfn: 952132846  
{almudiaz, pedro, laurapanizo, amrecio}@lcc.uma.es

## Resumen

*En este artículo se lleva a cabo el estudio del rendimiento del servicio de streaming de video en las redes comerciales de telefonía móvil de segunda y tercera generación presentes en España. Para llevar a cabo el estudio se ha desarrollado una metodología centrada en la calidad de servicio que perciben los usuarios ya que se usan los propios terminales de usuario para llevar a cabo las medidas. Esta metodología permite llevar a cabo las pruebas de campo teniendo en cuenta las limitaciones presentes en los terminales móviles y usar los clientes de streaming para teléfonos celulares actualmente disponibles, lo que hace posible evaluar el rendimiento de las pilas de protocolos implementadas en los terminales.*

## 1. Introducción

En este artículo se analiza el rendimiento del servicio de streaming de vídeo en terminales móviles teniendo en cuenta las limitaciones presentes en dichos dispositivos como la potencia de procesamiento, memoria, ancho de banda y el consumo de batería. Nuestro objetivo es obtener medidas que mejoren de forma notable los análisis tradicionales, realizados normalmente mediante simulaciones. Para ello se ha diseñado una cadena de herramientas software que permiten la captura no intrusiva en el propio terminal móvil y el análisis del vídeo recibido.

En particular, se aborda el estudio de los principales parámetros que condicionan el correcto funcionamiento del servicio de streaming, como son el ancho de banda y la tolerancia a factores como el retardo, el jitter y las pérdidas. Se proporcionan estadísticas reales del servicio de streaming sobre redes celulares considerando las especificaciones de calidad de servicio definidas por el ETSI para redes GSM y 3G [1] y las definidas por el 3GPP [2].

Nuestra metodología de análisis se centra en la captura del tráfico en el propio terminal móvil. De esta forma el flujo RTP que llega al teléfono móvil es capturado y tras pasar una cadena de transformaciones se puede reproducir en un ordenador el flujo tal y como fue recibido en el terminal. Esto permite calcular parámetros de calidad de servicio como el PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) a través de la comparación del flujo inicialmente emitido y el recibido en el dispositivo móvil.

Las medidas se han llevado a cabo en dos tipos de escenarios, uno estático y otro dinámico. Las pruebas realizadas en el primer escenario nos

ayudarán a analizar y caracterizar el rendimiento del protocolo RTP sobre redes móviles. En el escenario dinámico, el objetivo es estudiar como afectan al servicio de vídeo streaming fenómenos como el handover entre distintas tecnologías de acceso (GPRS/UMTS) o fenómenos como el cell-reselection. También se analiza el impacto de las fluctuaciones del nivel de señal que tienen lugar debido a fenómenos como el multicamino, los desvanecimientos y otras cuestiones relacionadas con la movilidad.

Con este fin se han llevado a cabo una serie de pruebas de campo en las que se ha evaluado el rendimiento del protocolo RTP (Real-time Transport Protocol) en entornos móviles, protocolo que se ha convertido en el estándar para la transmisión de contenidos multimedia en tiempo real.

En el artículo se llevará a cabo una breve introducción a los protocolos usados en los servicios de streaming de audio y vídeo, entre los que se encuentran los protocolos RTSP (Real Time Streaming Protocol) [3], RTP (Real Time Protocol) y RTCP (Real Time Control Protocol) [4]. También se hablará de los estándares de compresión de vídeo H.263-1998 [5] y MPEG-4 Visual [6] y el formato de archivos 3GP (3rd Generation Partnership) usados en los experimentos. Por último se analizará la metodología y los distintos escenarios de pruebas utilizados, así como los resultados obtenidos durante el trabajo de investigación realizado.

## 2. Protocolos de streaming

Los terminales móviles usados como clientes de streaming en las pruebas realizan el streaming mediante la interacción de los protocolos RTSP (Real Time Streaming Protocol), RTP (Real-Time Transport Protocol) y RTCP (RTP Control Protocol).

RTSP es un protocolo de nivel de aplicación que se encarga de controlar la entrega de datos con propiedades de tiempo real. RTSP se sitúa por encima del protocolo TCP. Es capaz de controlar uno o varios streams (flujos de datos) sincronizados temporalmente. Normalmente no es el encargado del transporte de los datos, aunque existe un mecanismo, denominado interleaving, que le permite realizar esta función. Los streams controlados por RTSP pueden ser transportados por RTP, como es este caso, o por otros protocolos, ya que RTSP es independiente del mecanismo de transporte. Las principales funciones de RTSP son:

- Petición de datos multimedia a un servidor.
- Invitación de servidores multimedia a una conferencia.
- Añadir nuevos datos multimedia a una sesión.

RTP proporciona funciones de transporte extremo a extremo, para aplicaciones de transmisión de datos en tiempo-real. RTP no garantiza calidad de servicio para los servicios de tiempo-real, esa función la realizarán las capas inferiores. La cabecera RTP indica al receptor como reconstruir los datos y describe como se han codificado el flujo de bits. Habitualmente va sobre UDP. Tanto SIP (Session Initiation Protocol) como H.323 usan RTP.

RTCP es el protocolo de control de RTP. Permite monitorizar la entrega de los datos multimedia de forma escalable, lo que permite a los receptores detectar la pérdida de paquetes o compensar el jitter. Se basa en la transmisión periódica de paquetes de control a los participantes en la sesión, utilizando los mismos mecanismos de transporte que los paquetes de datos multimedia. La capa inferior debe proporcionar la multiplexación de paquetes de datos y control, normalmente se realiza mediante el uso de puertos UDP diferentes, uno para los datos, y el siguiente (impar) para los datos de control.

Las principales funciones del protocolo RTCP son:

- Proporciona retroalimentación de la calidad en la distribución de los datos.
- Proporciona un identificador a nivel de transporte para las fuentes RTP, llamado nombre canónico o CNAME.
- Permite saber el número de participantes, pues los paquetes de control se envían a todos los participantes. Esto se hace para calcular la tasa a la que hay que enviar los paquetes de control.
- Transmitir un mínimo de información de la sesión, como puede ser el identificador a mostrar en el interfaz de usuario. Esta última función es opcional.

### 3. Formato y codecs de video

Para la realización del estudio se han utilizado videos en formato 3gp, que son los que actualmente soportan los teléfonos móviles. Dentro de este formato se han utilizado dos codificaciones estandarizadas diferentes, H.263 y MPEG4.

El H.263 es un estándar de la ITU-T. Es un método de codificación que se usa para la compresión de imágenes en movimiento a velocidades binarias bajas. Soporta cinco formatos de imagen estandarizados: sub-QCIF (88x72), QCIF (176x144), CIF (352x288), 4CIF (704x576) y 16CIF (1408x1152). Las imágenes se dividen en macrobloques, que son conjunto de bloques de señal de luminancia y crominancia. La codificación de video comprime la información mediante las técnicas de estimación y compensación del movimiento, para eliminar la redundancia temporal que hay entre fotogramas consecutivos, y la DCT (Discrete Cosine Transform) para eliminar la redundancia espacial que hay en cada fotograma.

MPEG4 es un estándar de la ISO/IEC. Inicialmente se diseñó para comunicaciones de video con baja tasa binaria, por debajo de 64Kb/s, aunque posteriormente se expandió su utilidad y su capacidad. Es un estándar orientado a objetos. Los objetos se codifican de forma independiente, por lo que proporciona una gran flexibilidad para la composición de las escenas. Este estándar persigue una codificación con gran compresión y robusta frente a errores.

### 4. Escenario de test

Nuestro entorno de pruebas se muestra en la Fig. 1. El servidor de streaming es un PC Intel Pentium 4 a 3 GHz con 1 GB de RAM, sistema operativo Windows XP Profesional Service Pack 2. Los dispositivos móviles usados han sido el Nokia N80 y el Nokia 6680, ambos con sistema operativo Symbian y pertenecientes a la serie 60 de Nokia. El reproductor usado para todos ellos ha sido el RealOne Player desarrollado por RealNetworks, Inc, específicamente para terminales móviles con sistema operativo Symbian [7].

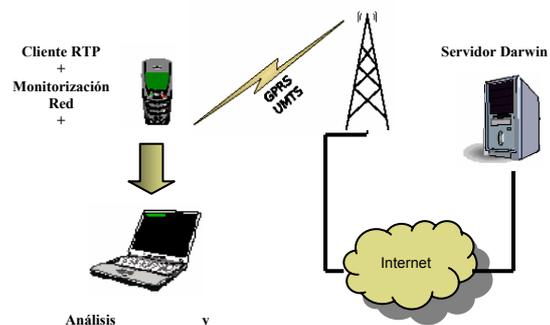


Fig. 1. Escenario de pruebas

El servidor está conectado a Internet a través de un acceso de alta velocidad. Tanto el cliente portátil como los clientes móviles acceden a Internet mediante conexiones GPRS y UMTS, proporcionadas por los tres operadores de telefonía móvil existentes actualmente en España.

#### 4.1. Cadena de herramientas

Para realizar las pruebas se han utilizado las muestras 3GPP del sitio web Catra Streaming Platform [8]. En la tabla 1 se muestran características de los diferentes videos usados.

Para realizar el análisis del tráfico RTP se hace uso de la cadena de herramientas mostrada en la Fig. 2 Esta cadena de herramientas nos permite hacer una comparación objetiva entre el vídeo original y el recibido en el cliente.

Cada prueba comienza con la transmisión de un vídeo desde el servidor Darwing Streaming Server [9] al cliente de streaming que se ejecuta en el teléfono móvil. Mientras tanto, SymPA [10], un analizador de protocolos para teléfonos móviles captura el tráfico entrante en el terminal y datos acerca de la conexión, como el identificador de celda y el nivel de potencia de señal recibido. Al concluir la reproducción, los datos capturados por SymPA son convertidos al formato tcpdump y transferidos a ordenador de sobremesa par su análisis con las tradiciones analizadores de protocolos usando en redes fijas.

Para procesar los datos capturados se usa una versión modificada del conocido analizador de protocolos Wireshark 1.1.0 (antiguo Ethereal) [11] a la que se ha añadido la capacidad de analizar flujos RTP establecidos mediante el protocolo RTSP. Con ayuda de la herramienta Wireshark se lleva a cabo el análisis a nivel IP del flujo RTP recibido.

Para llevar a cabo una comparativa de los videos en emisión y en recepción y analizar la degradación experimentada se exporta, desde el Wireshark, al formato rtpdump la secuencia de paquetes correspondiente al vídeo recibido. A continuación se usa la herramienta Rtpplay, del paquete RTP Tools 1.1.8 [12], para reproducir la secuencia de paquetes, tal y como fue recibida en el cliente. El cliente de streaming VLC [13] captura la secuencia en reproducción y la almacena en formato AVI sin pérdida. De esta forma se obtiene una copia idéntica del video que fue recibido en el terminal móvil y que es usada para un posterior procesamiento y análisis de la calidad del video recibido. Para este estudio se hace uso de la herramienta MSU Video Quality [14].

Se ha modificado la versión 0.8.5 del cliente de streaming VLC para evitar la detección errónea del final de la transmisión cuando tenían lugar grandes

pérdidas de paquetes debida a fenómenos como el handover entre GPRS y UMTS.

## 5. Resultados

Los resultados obtenidos no han podido ser comparados con estudios previos. De hecho para llevar a cabo el estudio ha sido necesario modificar el comportamiento del conocido analizador de código abierto Wireshark debido a que existía un error en la decodificación de los flujos dinámicos que impedía realizar el estudio de los flujos RTP. Este comportamiento anómalo también se ha experimentado en otras herramientas de código abierto como TStat [15].

Los principales problemas que afectan al despliegue del servicio de streaming de video sobre redes celulares están relacionados con el ancho de banda, el jitter y las pérdidas de paquetes. Es este artículo nos centramos en el análisis de estos tres problemas. El ancho de banda representado en las figuras se calcula como el número de bytes recibidos por el cliente de streaming en el último segundo. El máximo tamaño de los paquetes IP usados durante las pruebas de campo es de 1478 bytes. Con este tamaño de paquete no se ha apreciado fragmentación.

Las medidas se han llevado a cabo en las tres redes de telefonía móvil comerciales presentes en España. En la tabla 2 se pueden ver los parámetros de calidad de servicio proporcionados por los diferentes operadores.

Tabla 1. Videos de prueba

Nombre	Codificació n Vídeo	Codificació n Audio	Duració n
3.3gp	MPEG-4 176x144	Banda estrecha AMR, mono, 8KHz	45 seg.
6.3gp	H.263 128x96	AAC, mono, 8KHz	1 min. 12 seg.
7.3gp	H.263 128x96	Banda estrecha AMR, mono, 8KHz	1min. 16 seg.
12.3gp	MPEG-4 176x144	Banda estrecha AMR, mono, 8KHz	7 min. 12 seg.

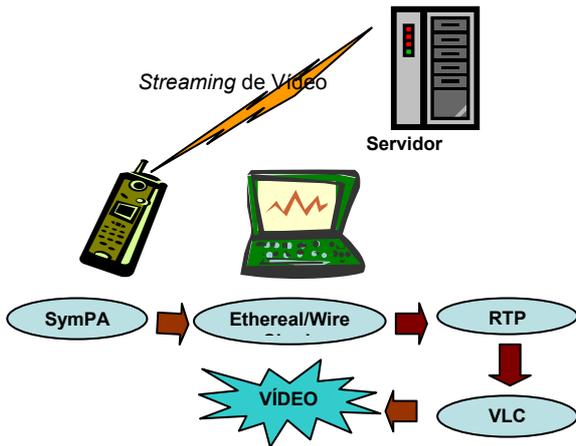


Fig. 2. Cadena de herramientas

Los tres operadores proporcionan la misma clase de calidad de servicio [16], la clase interactiva. Esta clase no tiene garantías de calidad de servicio, la calidad depende de la carga del sistema y de la política de control de admisión del operador de red. Atributos como el retardo, la tasa de bits y la pérdida de paquetes no son aplicables en esta clase. Las clases interactiva y de background están pensadas para su uso con aplicaciones tradicionales como WWW o correo electrónico, mientras que la clase conversacional y la clase streaming están orientadas al transporte de tráfico con características de tiempo real.

### 5.1. Escenario estático

En el escenario estático las medidas han sido llevadas a cabo en un entorno de interior.

#### 5.1.1. Paquetes fuera de orden

La llegada de paquetes fuera de orden es uno de los fenómenos observados con más frecuencia durante las pruebas de streaming realizadas.

Por ejemplo en una prueba realizada con el video 12 (codec MPEG-4) se han recibido un total de 3736 paquetes de los cuales han llegado desordenados un total de 268, esto supone un 7,17% de los paquetes. El máximo tamaño de los paquetes transmitidos es de 1478 bytes. En la mayor parte de los casos analizados las ráfagas de paquetes desordenados coinciden con la recepción de paquetes de este tamaño. Dichos paquetes se generan en situaciones en las que un fotograma se envía en dos tramas, la primera de ellas es de tamaño máximo y la segunda suele tener de media un tamaño de unos 400 bytes.

Este comportamiento puede verse representado en la Fig. 3. En la figura los paquetes llegados fuera de orden se presentan como puntos amarillos. Los paquetes de 1478 bytes aparecen siempre marcados con un punto amarillo, el resto de puntos se corresponde con el paquete de menor tamaño que

contiene la segunda parte del fotograma pero que ha llegado antes que el paquete que contiene la primera.

Este fenómeno hace necesaria la implementación, en el extremo del cliente, de mecanismos de reordenación de paquetes a partir de los sellos de tiempos que se incluyen en los paquetes RTP cuando son emitidos por el servidor. Sin embargo tras los resultados obtenidos la llegada de paquetes desordenados podría reducirse considerablemente dividiendo de forma equitativa en varios paquetes los fotogramas de mayor tamaño evitando, así, la generación de paquetes de gran tamaño.

El impacto final que los paquetes desordenados tienen sobre el servicio de streaming depende del tamaño del buffer de reproducción. Si el paquete desordenado tarda más en llegar que la duración del buffer de reproducción este paquete, a todos los efectos, se puede contabilizar como un paquete perdido.

### 5.1.2. Variaciones del retardo

En la Fig. 4 se representa la evolución del retardo entre paquetes durante una sesión de streaming del video 6.3gp.

Tabla 2. Perfil de QoS para diferentes operadoras

Parámetro	Operadora 1	Operadora 2	Operadora 3
Clase de Tráfico	Interactive	Interactive	Interactive
Tasa de bit Máxima Kbps (ascendente/descendente)	8640/8640	384/384	384/384
Entrega ordenada	No	No	No
Tamaño máximo de SDU (octetos)	1500	1500	1500
Tasa de error de SDU	0,001	0,001	0,001
Tasa de error de bit residual	0,00001	0,00001	0,00001
Entrega de SDU erróneas	No	No	No
Retardo de transferencia (ms)	0	768	1000
Tasa de bit garantizada Kbps (ascendente/descendente)	0/0	16/64	64/384
Prioridad de tráfico	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 1

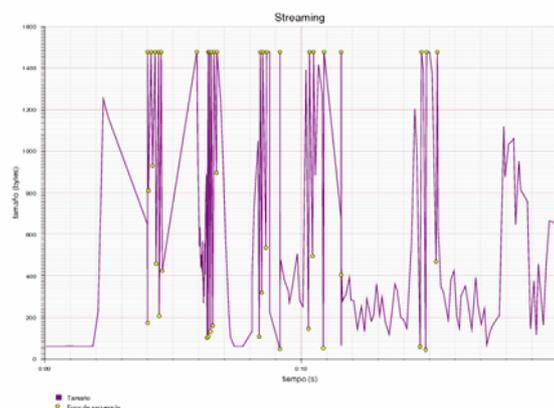


Fig. 3. Llegada de paquetes fuera de orden durante una sesión de streaming



Fig 4. Retardo entre paquetes

Los retardos entre paquetes pueden alcanzar valores de varios segundos, aunque este ocurre en un porcentaje reducido de los paquetes recibidos. En estos casos, a continuación se produce una subida de la tasa de llegada de paquetes que se han acumulado durante el periodo en el cual se ha producido el retardo. Una posible causa de este fenómeno puede ser la utilización de mecanismos de control de errores a nivel de enlace en los protocolos de acceso radio que provocan que un determinado número de paquetes no se entreguen a la aplicación hasta que todos los paquetes anteriores han llegado sin errores.

La Fig. 5 muestra la distribución de los retardos de transmisión en una sesión típica de streaming, el 95% de los paquetes recibidos se concentra en un rango de 120ms. Si se amplía el porcentaje al 99% el rango de retardos abarca 800ms. Esta información es útil de cara al dimensionado de los buffers en función del porcentaje de pérdidas admisibles por desbordamiento.

### 5.1.3. Pérdida de paquetes

En condiciones estáticas se producen pérdidas esporádicas y aisladas de paquetes. Como se puede apreciar en la Fig. 6 y en la Fig. 7 las pérdidas no parecen estar relacionadas con ningún parámetro.

En experimentos realizados en condiciones estáticas los porcentajes de pérdidas oscilan entre un 0% y un 2% en UMTS y son nulos en GPRS.

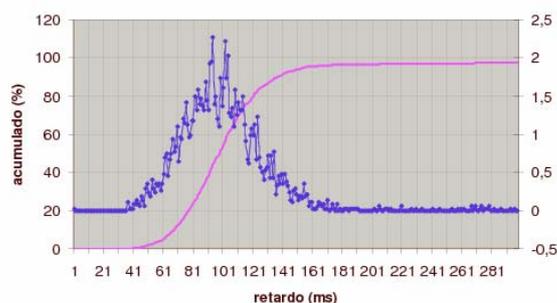


Fig 5. Distribución de retardos

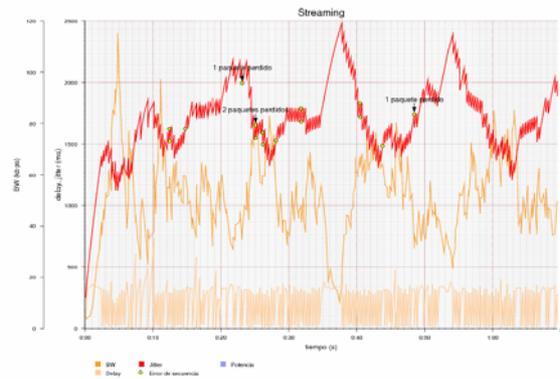


Fig. 6. Streaming sobre UMTS en condiciones estáticas

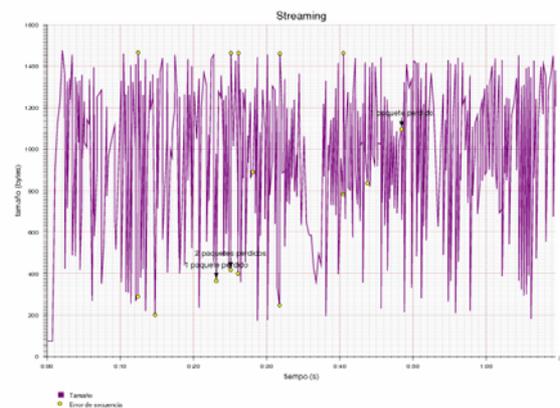


Fig. 7. Streaming sobre UMTS en condiciones estáticas

## 5.2. Escenario dinámico

Las pruebas en este escenario se han llevado a cabo en un entorno urbano e interurbano. El cliente móvil se desplazaba en coche a una velocidad media de 100 km/h.

En el escenario dinámico, se ha encontrado un problema con el reproductor usado en el teléfono móvil. El problema consiste en que cuando el streaming se lleva a cabo en condiciones de movilidad y debido a las ráfagas de pérdidas que se producen en estas condiciones el cliente de streaming pierde la sincronización con el servidor y deja de reproducir el video y de enviar los informes RTSP, sin embargo el servidor continúa enviando el video. Esto puede suponer un grave inconveniente de cara al usuario ya que se le está facturando el tráfico pero no recibe el servicio.

### 5.2.1. Pérdida de paquetes

En este apartado se analizan las pérdidas de paquetes IP que se producen durante una sesión de streaming en condiciones de movilidad.

En la Fig. 8 se puede apreciar como las pérdidas de paquetes se producen en ráfagas y están motivadas por los cambios de celda dentro de la red GPRS y por cambios cobertura de GPRS a UMTS.

GPRS no implementa mecanismos de macrodiversidad, lo cual provoca que durante los cambios de celda se pierda temporalmente la

conexión con la estación base mientras la conexión con la red vuelve a reestablecerse en la nueva celda.

Esto provoca situaciones de pérdida masiva de paquetes. Al tratarse de tráfico UDP dichos paquetes no son retransmitidos y la pérdida de paquetes tiene un impacto directo en la calidad de servicio que perciben los usuarios, como veremos en el siguiente apartado. Esto mismo fenómeno tiene lugar en una situación de handover entre GPRS y UMTS.

Si se repite el mismo experimento pero esta vez sin cambios de celda ni handovers las pérdidas de paquetes son aisladas (Fig. 9).

## 6. Calidad del video

Para medir la calidad del video en el servicio de streaming no existe un algoritmo estandarizado, pero se pueden emplear métricas que comúnmente se usan para determinar la calidad de las imágenes recibidas durante una sesión de streaming. Con este objetivo se ha hecho uso del programa MSU Quality Measure.

En este apartado analizaremos como influye la pérdidas de paquetes en la calidad del video recibido usando como métrica el PSNR (Peak-to-Peak Signal to Noise Ratio). El PSNR es una de las medidas más comunes para medir la relación señal/ruido. Se expresa en dB.

En la Fig. 10 se comparan los valores de PSNR obtenidos para el vídeo 6.3gp en condiciones estáticas sin cambios de celda y en condiciones de movilidad con cambios de celda. En el segundo escenario se produce un cambio de celda que provoca una ráfaga de pérdidas de 43 paquetes. Debido a las pérdidas que se producen en el segundo escenario los valores de PSNR obtenidos son mayores que para el escenario móvil, lo que significa que las tramas recibidas en el primer caso guardan una mayor similitud con las tramas originalmente enviadas. La trama con el PSNR más bajo en el segundo escenario se muestra en la Fig. 11. Se puede apreciar como varias imágenes se han fundido en una sola debido a la reconstrucción errónea de las tramas motivada por la pérdida de paquetes.

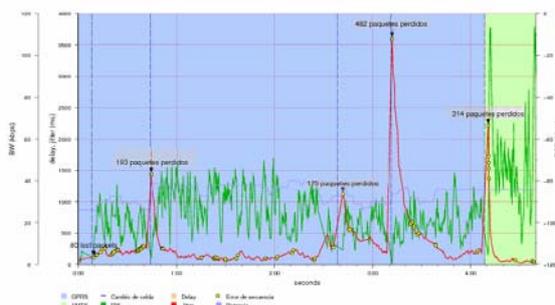


Fig. 8. Pérdidas debidas a cambios de celda en GPRS y handover entre GPRS y UMTS



Fig. 9. Streaming sobre UMTS en condiciones de movilidad

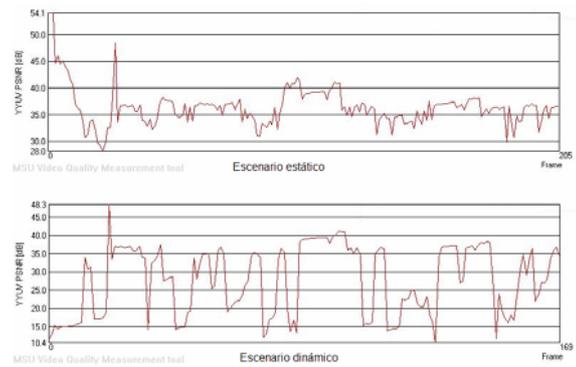


Fig. 10. PSNR



Original



Recibida

Fig. 11. Trama con el mínimo PSNR

## 7. Conclusiones

En este artículo se ha llevado a cabo la evaluación del rendimiento del servicio de video streaming en redes de telefonía móvil de segunda y de tercera generación.

Se ha propuesto una metodología para llevar a cabo la evaluación de dicho servicio en dispositivos reales, teniendo en cuenta las limitaciones propias de estos y las aplicaciones que actualmente hay disponibles para la ejecución de este servicio en un terminal celular.

Las menor tasa de bits disponible en GPRS repercute en una peor calidad del video debido al fenómeno conocido como rebuffering [17] que tiene lugar en numerosas ocasiones a los largo de una sesión de streaming en GPRS. Las accesibilidad al servicio de streaming es también menor en GPRS que en UMTS. En numerosas ocasiones la sesión de streaming no se ha podido llevar a cabo bajo GPRS debido a que el ancho de banda disponible no era el suficiente para la reproducción del video.

En UMTS y en un escenario estático los resultados obtenidos son muy prometedores de cara al despliegue de nuevos servicios como por ejemplo IPTV. En estas condiciones la tasa de pérdidas de paquetes es baja y de carácter aislado. El máximo jitter obtenido en este escenario es de 250 ms.

En un escenario vehicular las pérdidas aumentan considerablemente debido a los cambios de celda. Las pérdidas a ráfagas suponen un deterioro inaceptable de la calidad del video recibo en el terminal de usuario. De igual forma las numerosas pérdidas de cobertura que se producen en dicho escenario provocan que la tasa de sesiones de streaming que finalizan con éxito sea mucho menor que en el escenario estático.

Otro de los comportamientos detectados durante las pruebas de campo llevadas a cabo es que antes de que tenga lugar un handover o una pérdida de cobertura temporal tanto la potencia de señal como la tasa de bits recibida disminuye. Este comportamiento puede ser utilizado para diseñar un mecanismo de cross-layer que permita mantener el flujo RTP durante situaciones de handover, tanto vertical como horizontal, y en situaciones de pérdida de cobertura temporal.

#### **Agradecimientos**

Trabajo parcialmente financiado por los proyectos PTR 95-0961.OP y TIN 2005-09405-C02-01.

#### **Referencias**

- [1] ETSI, Speech Processing, Transmission and Quality Aspects(STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks. TS 102 250, 2006.
- [2] 3GPP TS 22.233, 3GPP TS 22.233 Transparent End-to-End Packet-switched Streaming Service; Stage 1
- [3] "Rtsp," IETF, RFC 2326, 1998.
- [4] "Rtp," IETF, RFC 3550, 2003.
- [5] "Rtp payload format for the 1998 version of itu-t rec. h263 video," IETF, RFC 2429, 1998.
- [6] "Rtp payload format for mpeg-4 audiovisual streams," IETF, RFC 3016, 2000.
- [7] Richard Harrison "Symbian OS C++ for Mobile Phones" Ed. John Wiley and Sons, LTD.2003
- [8]Catra Streaming Platform. Disponible en: <http://www.catrasoftware.it/Streaming/CatraStreamingServer.htm>

[9]Darwin Streaming Server. Disponible en: <http://developer.apple.com/opensource/server/streaming/index.html>

[10]A. Díaz, P. Merino, and F. J. Rivas, "Performance monitoring and analysis of wireless communication protocols for mobile devices," *ICUC*, pp. 103–108, June 2006.

[11]Anteriormente Ethereal. Disponible en: <http://www.wireshark.org/>

[12] RTP Tools. Disponible en: <http://www.cs.columbia.edu/IRT/software/rtpools/>

[13] VLC media player. Disponible en: <http://www.videolan.org/>

[14] MSU Video Quality Measurement Tool. Disponible en: [http://www.compression.ru/video/quality\\_measure/video\\_measurement\\_tool\\_en.html](http://www.compression.ru/video/quality_measure/video_measurement_tool_en.html)

[15] TCP Statistic and Analysis Tool. Disponible en: <http://tstat.tlc.polito.it/>

[16] "3gpp technical especificacion group services and system aspects; qos concept and architecture (release 4)," 3GPP, TS 23 107, 2002.

[17] M. Lundan and I. D. D. Curcio, "Mobile services in wcdma networks," *10th IEEE Symposium on Computers and Communications*, 2005.