

Estudio Experimental del Comportamiento de Métricas de QoS y QoE de Streamings de Video Multicast IPTV

Santiago Pérez¹, Higinio Facchini¹, Pablo Varela¹, Bruno Roberti¹,
Alejandro Dantiacq¹, Fabián Hidalgo¹, María Stefanoni¹, Matilde Césari¹

¹ CeReCoN – Departamento de Electrónica – Facultad Regional Mendoza – UTN
Rodríguez 273, Ciudad Mendoza
CP (M5502AJE) República Argentina
{santiagocp, higiniofac}@frm.utn.edu.ar

Abstract. Digital television is the most important advance in television technology. IPTV describes a mechanism for transporting a stream of video content over a network that uses the IP network protocol. IP Television must be a totally personalized experience that must guarantee Quality of Service (QoS), and QoE (Quality of Experience) within the organization, including the LAN Networks of a Television Channel, or the traditional LAN Networks. In the present research work, the behavior of IPTV traffic was analyzed in an experimental LAN network with controlled traffic. Different codecs were used for contrast, and detailed quantitative results of QoS metrics and, from them, indicative QoE values were established. The findings provide guidance on suitable software and network topology configurations for managing similar networks and provide detailed values for simulation analysts.

Keywords: IPTV, Multicast traffic, Codecs, QoS, QoE

1 Introducción

En términos generales, IPTV es una definición que aplica a la entrega de canales de televisión tradicional, entre otras cosas películas y contenido de video a demanda, a través de una red de tipo privada. Desde la perspectiva de un proveedor de servicio, IPTV abarca la adquisición, procesamiento y entrega segura de contenido de video, a través de una infraestructura de red basada en el protocolo IP. Desde la perspectiva del usuario final, IPTV se ve y funciona como un servicio estándar de televisión pago.

La definición oficial aprobada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones sobre IPTV (ITU-T FG IPTV) es la siguiente: IPTV se define como servicios multimedia como televisión, video, audio, texto, gráficos y datos entregados a través de redes basadas en IP, gestionados para proporcionar el nivel de calidad requerido de servicio y experiencia, seguridad, interactividad y confiabilidad. En la transmisión del formato audiovisual IPTV debe entenderse que los receptores serán dispositivos tales como tabletas, notebooks, smartphones, computadoras, televisores, etc. Y que hay que diferenciar este servicio de otros en línea, tales como canales de internet gratuitos, o de tipo “Youtube”, en los que los videos se pueden recargar y mirar sin garantías de calidad.

En este trabajo se describe un experimento de tráfico de video IPTV multicast en una red LAN de laboratorio real como test bed, emulando una Red LAN IPTV de un canal de televisión, o de Campus LAN. Se usó una topología de red experimental, de tráfico controlado, con clientes alámbricos e inalámbricos, usando el Software FFmpeg Server, como servidor de video, y el analizador de tráfico WireShark. El tráfico de video IPTV se codificó en H.264, H.265, VP8 y Theora, para contrastar y comprender el impacto de distintos codecs sobre la QoS y QoE del tráfico de la red. Los experimentos se realizaron usando un tráiler de video de la película Star Trek. Este trabajo es una continuación de experimentaciones realizadas sobre redes cableadas Ethernet y Wi-Fi, para tráfico de video general (no IPTV) con codecs H261, H263 y H264 en IPv4.

El resto de este documento se estructura de la siguiente manera: la sección 2 Protocolos y Codecs describe las principales características de estos componentes utilizados en el estudio experimental; la sección 3 Escenarios y Recursos Experimentales describe la topología, y los dispositivos hardware y software del ensayo; la sección 4 Resultados de la experimentación describe cuantitativamente los valores obtenidos de las diferentes métricas de QoS y QoE; y, finalmente, en la sección 5 se plantean las conclusiones del presente trabajo.

2 Protocolos y Codecs

En este apartado se plantea en forma resumida las principales características de los protocolos y codecs utilizados.

2.1 Multidifusión IP

La multidifusión IP (multicast IP) es una tecnología de conservación de ancho de banda que reduce el tráfico, porque entrega simultáneamente una sola secuencia de información a los millares de destinatarios corporativos y a los hogares.

Algunas de las ventajas de una solución multicast de distribución de contenidos son:

- Escalabilidad: ya que los requisitos de ancho de banda ya no son proporcionales al número de receptores.
- Rendimiento: debido a que el procesamiento de un único flujo de datos por fuente siempre será más eficiente que procesar un flujo por receptor.
- Menor gasto de capital: debido a la relajación en las especificaciones de los elementos de red necesarios para proporcionar el servicio.

Los routers (enrutadores) emplean protocolos multidifusión que construyen árboles de distribución para transmitir el contenido multidifusión, que aseguran la mayor eficiencia para el envío de datos a múltiples receptores. En IP se utilizan protocolos como PIM-SM, PIM-SSM u otros. Para nuestro trabajo se utilizó PIM-SM (Protocol Independent Multicast – Sparse Mode).

2.2 Codec de video

La codificación de video se refiere al proceso de convertir video sin formato a un formato digital que sea compatible con muchos dispositivos. Para reducir un video a un tamaño más manejable, los distribuidores de contenido utilizan una tecnología de compresión de video llamada codec. Esto se realiza mediante métodos sofisticados con pérdida, durante los cuales se descartan los datos innecesarios. Un codec actúa sobre el video, tanto en la fuente para comprimirlo, como antes de la reproducción para descomprimirlo.

Para la experimentación se seleccionó una combinación equilibrada de estándares ya establecidos y algunos más novedosos. Los utilizados en este trabajo son:

- H.264/MPEG-4 AVC: Es una norma promovida conjuntamente por la UIT y la ISO, que ofrece un gran avance significativo en la eficiencia de compresión para lograr una reducción de alrededor de 2 veces en la velocidad de bits, en comparación con MPEG-2 y MPEG-4 de perfil simple.
- H.265/ MPEG-H Parte2/ High Efficiency Video Coding (HEVC): Define un formato de compresión de video, sucesor de H.264/MPEG-4 AVC, desarrollado conjuntamente por la ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) y ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG), como ISO/IEC CD 23008-2 High Efficiency Video Coding. Este estándar puede utilizarse para proporcionar mejor calidad de videos de bajo bitrate con la misma tasa de datos. Es compatible con la televisión en ultra-alta definición y resoluciones hasta 8192x4320.
- VP8: Es un códec de video de On2 Technologies anunciado el 13 de septiembre de 2008. El 19 de mayo de 2010, Google, que adquirió On2 Technologies en 2009, liberó el códec VP8 como código abierto (bajo una licencia permisiva similar a la licencia BSD).
- Theora: Es un códec de video libre desarrollado por la Fundación Xiph.Org, como parte de su proyecto Ogg. Basado en el códec VP3. Google, en 2010, empezó a financiar parte del proyecto de Ogg Theora Vorbis. Theora es un códec de video de propósito general con bajo consumo de CPU.

3 Escenarios y recursos experimentales

En la comunidad científica-tecnológica, existe diversas líneas de investigación dedicadas al estudio del tráfico de video IPTV, basadas en trabajos experimentales realizados sobre redes reales, que muestran el comportamiento de cada caso [1-11]. Los análisis se realizan con la captura de tráfico en escenarios de tráfico de video real y/o sintético. Lamentablemente, los trabajos de investigación, relacionados con la temática de IPTV LAN para Canales de Televisión o Redes LAN tradicionales, muestran, en general, una falta de uniformidad de los escenarios de experimentación, en la cantidad y tipos de codecs, en los videos utilizados, etc. Estos y otros aspectos complican, en su conjunto, los contrastes entre trabajos contemporáneos entre sí, y los realizados previamente. Esta ha sido la principal motivación para proponer un nuevo escenario y, en consecuencia, una nueva metodología de experimentación para la captura del tráfico de video IPTV.

3.1 Escenario de experimentación

La topología utilizada es una computadora funcionando como servidor de streaming, y computadoras de escritorio (PCs) como clientes, todas conectadas en los extremos de una red mixta conformada por routers y switches, con distintos tipos de enlaces interconectando a los mismos. En esta topología, los enlaces son del tipo FastEthernet, con una velocidad de transmisión de 100 Mbps. Para el funcionamiento entre los routers R1 a R6 se configuró el protocolo de enrutamiento OSPF v2. Para los mismos routers se configuró el protocolo de enrutamiento multicast PIM de modo SM. Los enlaces redundantes existentes se plantearon para aproximar una red real, pero se configuró el protocolo de ruteo, para que el tráfico entre el servidor y cada cliente siga siempre una única ruta. La Figura 1 muestra la topología de trabajo.

- Como servidor: una computadora de escritorio, con CPU Intel Core I5, con 8 GB de RAM, y sistema operativo Linux Ubuntu.
- Como clientes: computadoras de escritorio CPU AMD Athlon(tm) II X2 250, a 3 GHz, con 4 GB de RAM, y sistema operativo Windows 10 de 64 bits,
- Los routers R1, R2, R3 y R4 fueron modelo Cisco 2811, y los routers R5 y R6 fueron resueltos con switches multicapa Cisco WS-CS3750.
- Finalmente, para la conexión de los routers a las PCs se usaron switches Cisco Layer 2 Catalyst Model WS-2950-24.

El software utilizado como servidor de streaming es FFmpeg [12]. El framework consta de una base de componentes, que interactúan con la aplicación a través de comandos ffmpeg, para completar los procesos de streaming de manera correcta.

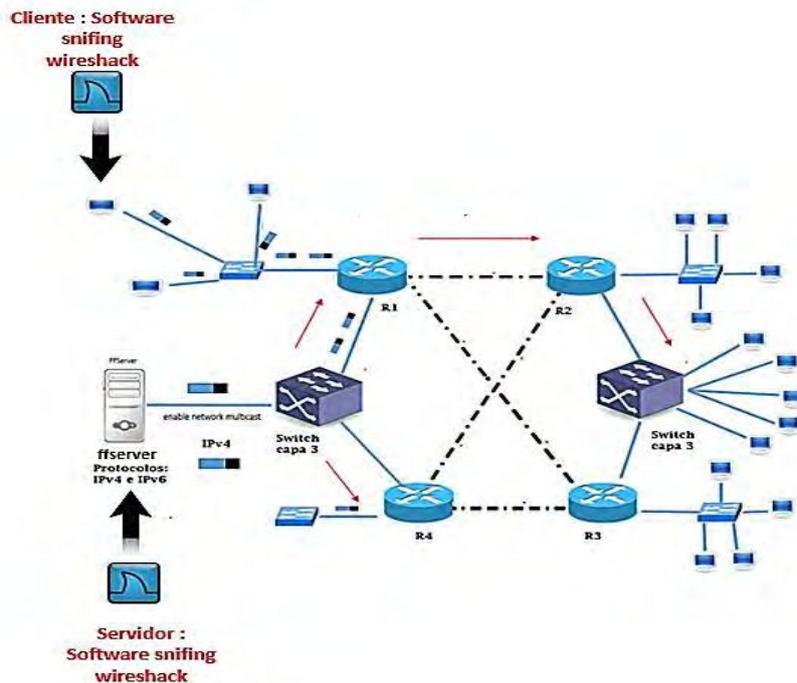


Fig. 1. Topología de red utilizada.

3.2 Video y sniffer utilizado

Se utilizó un archivo de video codificado con los codecs mencionados previamente. Se trata de un tráiler de la película Star Trek [13] de 2 minutos 11 segundos de duración. La Tabla 1 muestra la comparación de las características propias de cada códec para este video.

Wireshark [14] fue la aplicación utilizada para la medición y captura de tráfico. Este software comprende una serie de características que sirven para analizar cada uno de los paquetes de datos, y así mismo, hacer una evaluación de conjunto de paquetes correspondientes a la transmisión del video. Para el trabajo de experimentación se evaluaron ciertos parámetros de tráfico de red, como el retardo, la cantidad de paquetes transmitidos, etc.

A partir del escenario de experimentación, se realizaron una serie de ensayos con las siguientes consideraciones:

- Se configuró el archivo de video codificados en uno de los 4 formatos mencionados en el servidor de streaming,
- Antes de comenzar las mediciones, se sincronizaron en tiempo todos los equipos involucrados en la topología, usando un servidor NTP local.
- Desde el servidor se envió el archivo del video en el codec particular a la red en formato multidifusión (multicast).
- Posteriormente, se cambió el formato de video a los otros tres codecs de video, repitiendo el paso c.

Tabla 1. Propiedades del Trailer Star Trek.

Video	H.264	H.265	Theora	VP8
Format	MPEG-4	MPEG-4	Ogg	WebM v2
File size	79,9 MiB	72,3 MiB	83,3 MiB	78,6 MiB
Duration	2 min 11 s			
Bit rate mode	Variable	Variable	Variable	Variable
Bit rate	5 109 kb/s	4 620 kb/s	5 329 kb/s	5 028 kb/s
Video				
Format	AVC	HEVC	Theora	VP8
Bit rate	5 011 kb/s	4 514 kb/s	5 010 kb/s	4 721 kb/s
Width [pixeles]	1 280 pixeles	1 280 pixeles	1 280 pixeles	1 280 pixeles
High [pixeles]	528 pixeles	528 pixeles	528 pixeles	528 pixeles
Aspect ratio	2,4:1	2,4:1	2,4:1	2,4:1
Frame rate mode	constant	constant	constant	constant
Frame rate [fps]	23,976 FPS	23,976 FPS	23,976 FPS	23,976 FPS
Bits/(pixel*frame)	0.309	0.279	0.309	0.291
Audio				
Format	AAC LC	AAC LC	Vorbis	Vorbis
Bit rate mode	Variable	constant	Variable	Variable
Bit rate	98,7 kb/s	99,7 kb/s	98,7 kb/s	98,7 kb/s
Maximum bit rate	167 kb/s	167 kb/s	167 kb/s	167 kb/s
Channel	2 canales	2 canales	2 canales	2 canales
Sampling rate	44,1 kHz	44,1 kHz	44,1 kHz	44,1 kHz
Track size	1,54 MiB	1,56 MiB	1,54 MiB	1,54 MiB

Durante cada ensayo, se realizaron capturas de tráfico en el servidor y en cada uno de los clientes, usando el software sniffer Wireshark. Los paquetes se filtraron por tipo de paquetes RTCP o UDP. Para la transferencia del video se necesitaron 59.644, 54.202, 46.502 y 61.986 tramas, para los codecs H.264, H.265, Theora y VP8, respectivamente. Las capturas se exportaron desde archivos tipo .pcap de Wireshark a archivos tipo .csv. Un archivo en el formato .csv es, básicamente, un archivo de texto, que permite guardar la captura como un vector de tramas, para ser analizados bajo Excel o un programa a medida (en nuestro caso se utilizó el lenguaje Python).

4 Resultados de la experimentación

4.1 Análisis de QoS

La Calidad de Servicio puede considerarse en base al comportamiento de ciertos parámetros de red, de un tráfico determinado, en una arquitectura de red dada. Los parámetros de calidad de servicio estandarizados son: el retardo, la diferencia de retardos (jitter), y la pérdida de paquetes. Los valores de referencia para estas métricas de red son 100 ms, 30 ms y 0,1%, respectivamente.

En la Figura 2 se pueden apreciar, a los fines comparativos, la métrica de retardo para cada uno de los codecs analizados. Se observa que los valores satisfacen holgadamente los requerimientos de QoS, y que en la banda de 1 a 2 ms, los codecs presentan un comportamiento claramente diferenciado, a excepción de los codecs H.264 y H.265.5. Estos últimos codecs concentran sus retardos en el orden de los 2 mseg, mientras que el códec Theora lo hace en el orden de los 1,5 mseg. Finalmente, el códec VP8 concentra sus retardos en el orden de 1 mseg. De la misma forma, en la misma Figura 3 se presenta el comportamiento de los distintos codecs bajo estudio para la métrica jitter. Se observa que los valores satisfacen holgadamente los requerimientos de QoS, y que en la banda de los -0,010 a los + 0,020 ms, los codecs presentan un comportamiento claramente diferenciado para esta métrica.

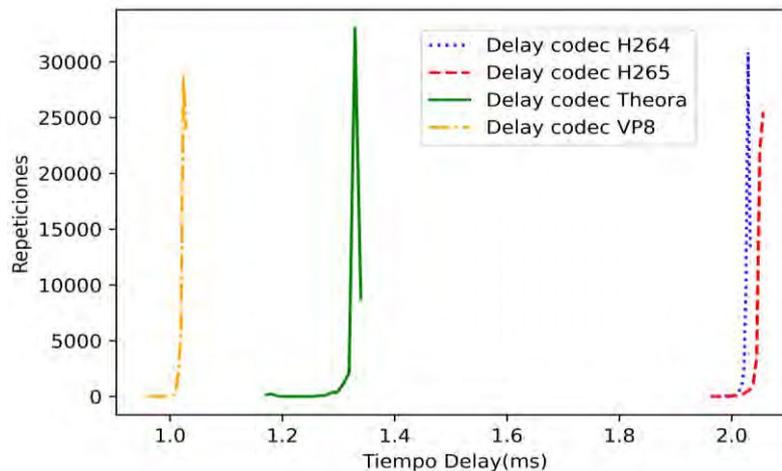


Fig. 2. Se observa el comportamiento solapado de los codecs para la métrica retardo.

Cada códec tiene una respuesta en la forma de triángulo. Sin embargo, se destaca que los códec tienen bases y alturas distintas, lo que implica la amplitud de banda de valores de jitter, y el nivel de repetición con que se concentran la mayor cantidad de valores

En la red LAN de laboratorio, que permitía un análisis de tráfico controlado, no se observaron pérdidas de tramas.

4.2 Análisis de QoE

Los procesos de QoS, por si solos, no son totalmente adecuados para proporcionar una garantía de rendimiento, debido a que no tienen en cuenta la percepción del usuario sobre el comportamiento de la red. Esto condujo a la disciplina emergente de Calidad de Experiencia (QoE, Quality of Experience). La QoE, desde una visión teórica, es el grado de satisfacción o molestia del usuario de una aplicación o servicio. Resulta del cumplimiento de sus expectativas, con respecto a la utilidad/disfrute de la aplicación o servicio, a la luz de la personalidad y el estado actual del usuario.

Para evaluar o medir la calidad de la experiencia percibida por el usuario se han propuesto tres métodos: (i) métodos subjetivos, (ii) métodos objetivos y (iii) métodos indirectos. Los métodos subjetivos están relacionados con la utilización de personas, para evaluar la calidad del video en un ambiente controlado, mediante el uso de encuestas. Los métodos objetivos son algoritmos, que utilizan una señal de referencia completa, parcial o sin utilizar señal de referencia, para medir calidad del video. Por último, están los métodos indirectos, que mediante un modelo matemático evalúan la calidad de experiencia asociada al video. Este modelo matemático es generado básicamente teniendo en cuenta la variación de las métricas de QoS.

Teniendo en cuenta lo mencionado, y en una primera aproximación, la QoE de la red se evaluó por un método indirecto. Con esos datos, y como una continuación de la presente investigación, se perfeccionarán los resultados de QoE con métodos que aporten la subjetividad del usuario.

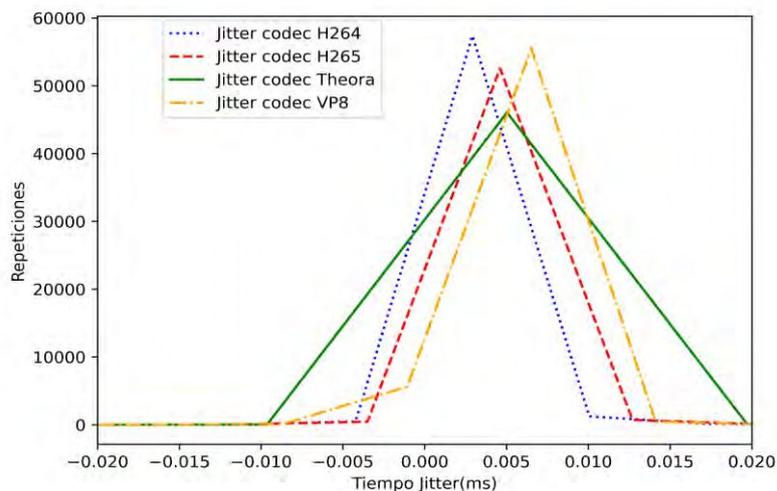


Fig. 3. Se observa el comportamiento solapado de los codecs para la métrica jitter.

Por ello, se adoptó el modelo matemático propuesto en [8], a través de la siguiente expresión:

$$QoE = 1 / (\text{retardo} + K * \text{Jitter}) * e^{\text{(pérdida de paquetes)}} \quad (1)$$

donde K permite balancear el impacto del parámetro jitter, con respecto al retardo, para el cálculo de la QoE de los usuarios. Ninguno de los parámetros utilizados en la expresión podría ser negativo. Para la evaluación se utilizó el valor de K=2.

En la Figura 4 se muestra, a los fines comparativos, la QoE para cada uno de los codecs analizados, en función del retardo y usando como parámetros los valores promedio y máximo de jitter, para cada caso. Se observa que en la banda de 1 a 2 ms, los codecs presentan un comportamiento claramente diferenciado, a excepción de los codecs H.264 y H.265. Estos últimos codecs tienen una peor respuesta para la QoE. El códec VP8 presenta un mejor comportamiento, mientras que el codec Theora se ubica en una respuesta intermedia.

Y en la Figura 5 se presenta, a los fines comparativos, la QoE para cada uno de los codecs analizados, en función del jitter, y usando como parámetros los valores promedio y máximo del retardo, para cada caso. Se observa que en la banda de -0,10 mseg a +0,15 mseg, los codecs presentan un comportamiento claramente diferenciado, a excepción de los codecs H.264 y H.265. Estos últimos codecs tienen una peor respuesta para la QoE. Nuevamente, el códec VP8 presenta un mejor comportamiento, mientras que el codec Theora se ubica en una respuesta intermedia.

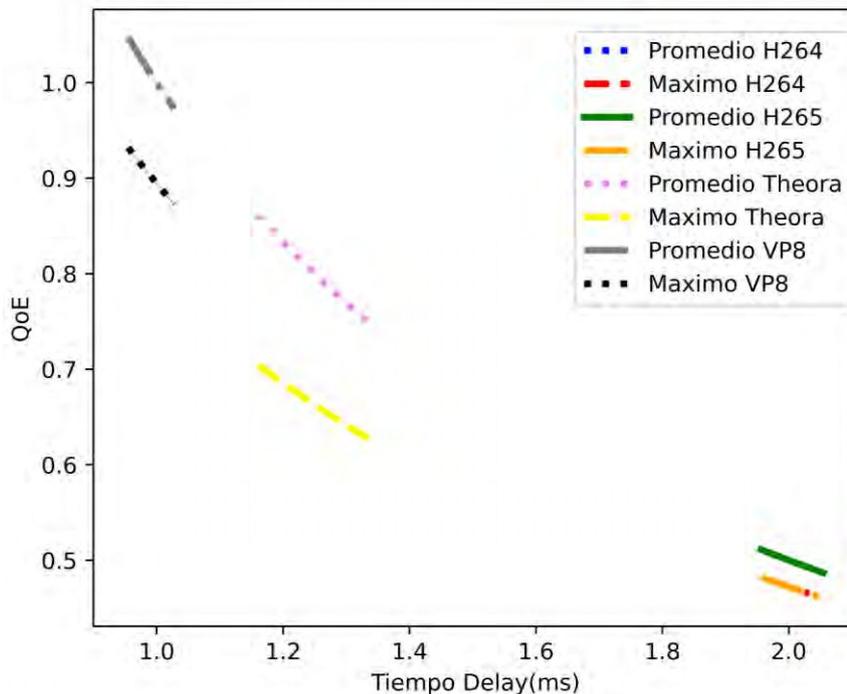


Fig. 4. Comparación de la QoE en función del retardo, para los valores promedio y máximo del jitter para los 4 codecs.

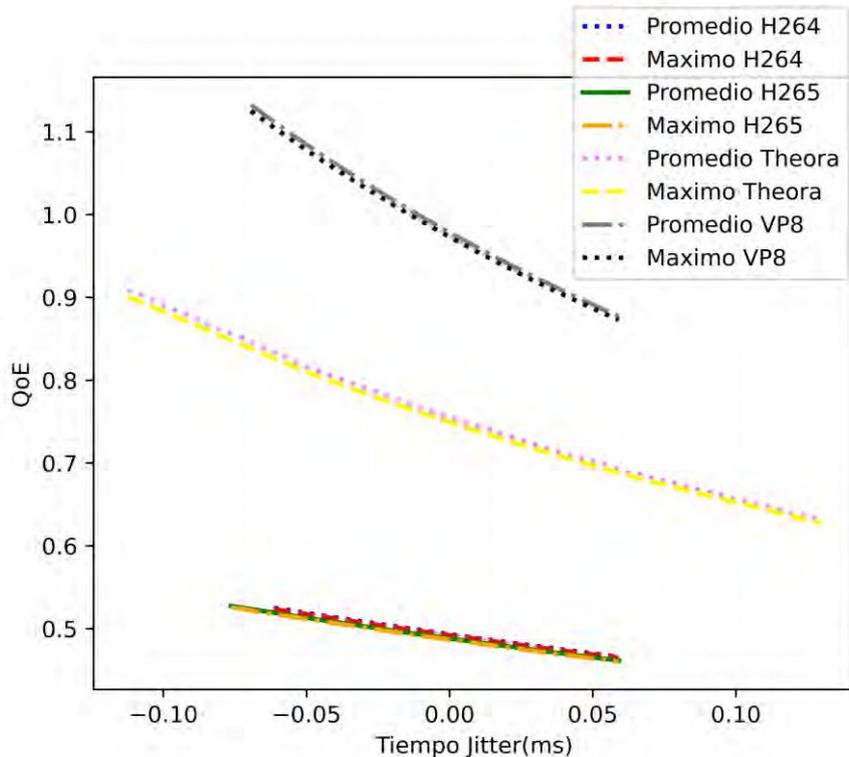


Fig. 5. Comparación de la QoE en función del jitter, para los valores promedio y máximo del retardo para los 4 codecs.

5 Conclusiones

Se analizaron detalladamente los alcances de la QoS y de QoE para el tráfico IPTV sobre una red LAN experimental. Se utilizó una topología de red real de tráfico controlado, un servidor y clientes de video IPTV, un trailer de Star Trek, con 4 subescenarios o casos particulares, por cada uno de 4 codecs: H.264, H.265, Theora y VP8. El tráfico fue capturado para análisis, en todos los casos, usando un sniffer.

Se demostró experimentalmente que:

- La métrica de retardo para tráfico IPTV, en la red experimental, satisface holgadamente los requerimientos de QoS, y presenta un comportamiento claramente diferenciado, a excepción de los codecs H.264 y H.265. Estos últimos codecs concentran sus retardos en el orden de los 2 mseg, mientras que el códec Theora lo hace en el orden de los 1,5 mseg. Finalmente, el códec VP8 concentra sus retardos en el orden de 1 mseg.
- La métrica jitter para tráfico IPTV, en la red experimental, satisface holgadamente los requerimientos de QoS, y presenta un comportamiento claramente diferenciado. Cada códec tiene una respuesta en la forma de triángulo, cuando se

representa la cantidad de valores, en repetición, en función del jitter. Los códec tienen bases y alturas distintas. El codec H.264 (Theora) presenta la mejor (peor) respuesta general.

- La respuesta de QoE, en base a la expresión matemática utiliza, usando el retardo (jitter) como variable independiente, y el jitter (retardo) como parámetro, muestra que los H.264 y H.265 tienen el peor comportamiento. El códec VP8 presenta el mejor comportamiento, mientras que el codec Theora se ubica en una respuesta intermedia.

Las conclusiones podrán utilizarse como referencias a contextos similares, y por analistas de simulación para la parametrización de los simuladores de tráfico IPTV. La experiencia reunida con los estudios realizados sobre la QoS y QoE del tráfico IPTV en una red LAN, utilizando diferentes codecs abrió una serie de alternativas de profundización de la línea de investigación, con el objeto de avanzar el perfeccionamiento de los resultados de QoE, incluyendo algunas consideraciones de subjetividad del usuario.

Referencias

1. Driscoll G. "Next Generation IPTV Services and Technologies". (1ª Ed.). Editorial: Wiley-Interscience, Canada, 2018.
2. J. Lloret, A Canovas, J. J. P. C. Rodriguez, K. Lin. "A network algorithm for 3D/2D IPTV distribution using WIMAX and WLAN technologies" Springer Science-Business. 2011.
3. J. C. C. Valencia, W. C. Muñoz, G. E. C Golondrino. "Análisis de QoS para IPTV en un entorno de redes definidas por software". Revista Ingenierías Univer. de Medellín. 2019.
4. J. Cuellar, J. Arciniegas, J. Ortiz. "Modelo para la medición de QoE en IPTV". Editorial: Universidad Ecesi. Colombia, 2018.
5. J. M. J. Herranz, J. L. Mauri. "Estudio de la variación de QoE en Televisión IP cuando varían los parámetros de QoS". Tesis Master. Univer. Politecnica de Valencia, Gandia 2014.
6. J. C. Cuellar, S. Acosta, J. L. Arciniegas. "QoE/QoS Mapping Models to measure Quality of Experience to IPTV Service". Conferencia Paper. Publicación: ResearchGate. Octubre 2018.
7. G. Baltoglou, E. Karapistoli, P. Chatzimisios. "IPTV QoS and QoE Measurements in Wired and Wireless Networks". Publicación: Globecom. Editor IEEE. 23 de Abril de 2013.
8. A. C. Solbes, D. J. L. Mauri, D. J. T. Gironés. "Diseño y Desarrollo de un Sistema de Gestión Inteligente integrado de servicios de IPTV estándar, estereoscópico y HD basado en QoE". Tesis, Universidad Politecnica de Valencia, Gandia 9 de Septiembre de 2013.
9. H. A. Facchini, S. C. Perez, A. Dantiacq, F. Hidalgo. "Estudio Experimental de Tráfico de Video en Redes IPv6 Multicast IEEE 802.11ac", CACIC 2019, CeReCoN. Universidad Tecnológica Nacional, UTN Mendoza, Octubre 2019.
10. H. A. Facchini, S. C. Perez, F. Hidalgo, P. Varela. "Análisis, simulación y estudio experimental del comportamiento de métricas de QoS y QoE de streamings de video multicast IPTV. WICC 2020. CeReCoN. UTN Mendoza, Mayo 2020.
11. S. C. Perez, G. Q. Salomón, H. Facchini. "Comparación del comportamiento de los códec de video en el entorno WI-FI IEEE 802.11ac". Argencon 2020. CeReCoN. Universidad Tecnológica Nacional y Universidad Nacional de Chilecito. Chaco, Diciembre 2020.
12. Ffmpeg, Available: <https://www.ffmpeg.org/>
13. Video Star Trek, Available: <https://www.youtube.com/watch?v=g5IWao2gVpc>
14. Wireshark, Available: <https://www.wireshark.org/>