

Análisis de rendimiento de la transmisión de IPTV sobre ADSL, WiFi y LAN Extended

Yezid Donoso Meisel¹, Jennifer Freja Fruto², César Viloría Núñez³

Resumen

En este artículo se presenta una síntesis del estudio acerca del rendimiento del servicio de televisión sobre IP, implementado sobre distintas plataformas tecnológicas, tales como ADSL, WiFi y LAN Extended.

Se presentan los resultados obtenidos y sus respectivos análisis referentes al retardo, jitter y pérdida de paquetes en cada una de las plataformas, variando la tasa de transmisión, el codec de video y la aplicación de calidad de servicio. Por último, se presenta un análisis comparativo entre las plataformas, definiendo la significancia de cada uno de los parámetros de red variados con los parámetros de rendimiento estudiados.

Palabras clave: Rendimiento, pérdida de paquetes, jitter, retardo, codec de Video, plataforma tecnológica, calidad de servicio, Sep Top Box, Sniffer.

Abstract

In this paper is presented a summary of the study about the Internet Protocol Television service performance implemented over different data transmission systems, such as ADSL, WiFi and LAN Extended.

The obtained results are presented and also their respective analysis about delay, jitter and packets loss over each one of the platforms changing the transmission rate, the video codec and the quality of service. Finally, a comparative analysis between platforms is presented, defining the significance of each changed network parameter with the studied performance parameters.

Index Terms: Performance, packets loss, jitter, delay, video codec, data transmission systems, quality of service, Sep Top Box, Sniffer.

Fecha de recepción: 27 de febrero de 2008
Fecha de aceptación: 22 de abril de 2008

¹ Ph.D. en Tecnologías de la Información, Universidad de Girona, España. ydonoso@uniandes.edu.co

² Candidata a Grado de Ing. Electrónica, Universidad del Norte, Barranquilla (Colombia).

³ Estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad del Norte, Barranquilla (Colombia). cesar.viloria@ieee.org

Apojos y subvenciones: Este proyecto fue financiado por la Dirección de Investigaciones y Proyectos de la Universidad del Norte como Proyecto de Menor Cuantía.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los usuarios de las tecnologías de la información y telecomunicaciones (TIC's) cada vez son más exigentes respecto a los servicios y los diferentes equipos que presenta la tecnología. Esta exigencia ha dado lugar a la convergencia de servicios telemáticos, la cual ha permitido que distintos dispositivos que recientemente se han convertido de uso cotidiano, puedan ser capaces de realizar distintas, mientras que antes eran necesarios varios equipos para realizar las mismas tareas. La televisión sobre IP (IPTV) es un servicio en el cual la televisión se transmite por medio del protocolo IP, teniendo una gran variedad de servicios adicionales al de televisión convencional [1], [2], [7].

A través de este proyecto se realizó un estudio de rendimiento de los parámetros relativos a la congestión (pérdida de paquetes, retardo y *jitter*) cuando se presta un servicio de IPTV sobre distintas plataformas tecnológicas como ADSL, WiFi, LAN Extended, variando también la tasa de transmisión utilizada, el *codec* de video implementado y la aplicación o no de la calidad de servicio (QoS).

Se comparó el rendimiento del servicio en cada una de las plataformas trabajadas y luego se realizó un diseño de experimento para definir qué variables son significantes para el rendimiento del servicio, comparando los resultados de una plataforma con otra.

El artículo muestra primero una descripción del sistema implementado, seguida de los resultados de los estudios y análisis en cada una de las plataformas. Luego, se presenta el resultado del diseño de experimento utilizado para hacer la comparación entre plataformas, y se muestra la significancia de la variación de la plataforma tecnológica, el *codec* de video y la tasa de transmisión con los parámetros de congestión como el *jitter*, la pérdida de paquetes y el retardo.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE IPTV

IPTV no implica entrar a páginas web para ver programación, sino el método cómo se envía la información. El video es enviado en forma de paquetes IP hasta llegar a los usuarios [2], [7]. Las señales de TV se codifican y convierten en paquetes IP para enviarse a Internet. Luego, se distribuyen por la red al usuario final, quien con un *Set Top Box* convierte los datos digitales en señales de televisión analógica para entregarlas al televisor [2], [8].

El proceso de transmisión de la televisión sobre IP puede comenzar desde un servidor donde esté almacenado el video, desde una transmisión en vivo o puede ser una señal satelital. Para convertir la señal de la fuente en datos digitales, debe pasar por un codificador, luego estos datos digitales son encapsulados en paquetes IP. Antes de ser distribuidos al usuario final, la señal de IPTV debe ser encriptada; luego es transmitida para llegar a un *Set Top Box* que convierte los datos digitales en señal analógica para que pueda ser interpretada por el televisor [3], [6].

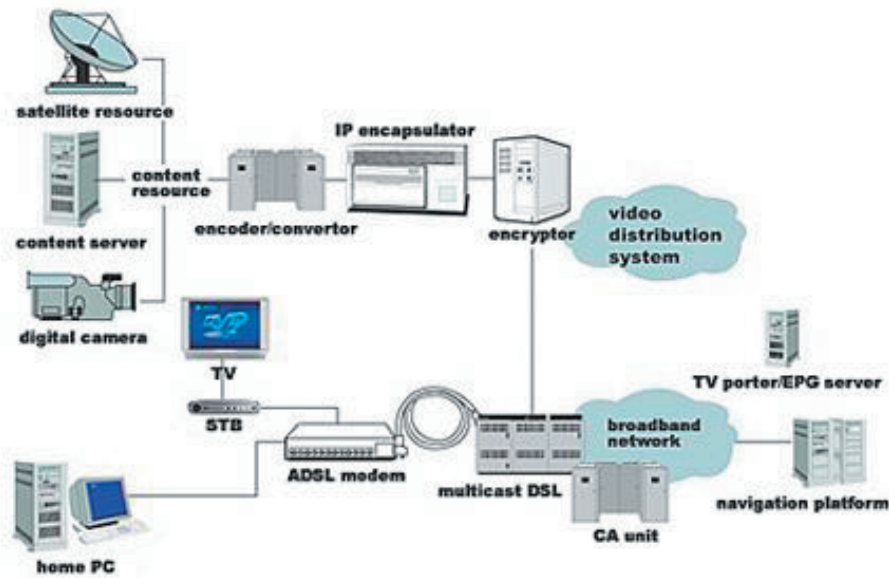


Figura. 1. Esquema de IPTV [7]

3. METODOLOGÍA

Para realizar el estudio se consideró la evaluación de las variables relativas a la congestión (pérdida de paquetes, retardo y *jitter*) teniendo en cuenta la variación de parámetros como la plataforma tecnológica (ADSL, WiFi y LAN Extended), el *codec* de video (MPEG-2 y MPEG-4), la tasa de transmisión y la aplicación de calidad de servicio.

Para las pruebas de calidad de servicio (QoS) se implementó el montaje que se muestra en la Figura 2. Un servidor se encuentra del lado de la central de la red transmitiendo el video utilizado en las pruebas y entregándolo a la red, que hace llegar el video a un computador receptor y a un *Set Top Box*. Este último entrega el video a un televisor. Además, del lado

de los usuarios se coloca un equipo en el que se hace correr un *software* que observa el flujo de paquetes y los registra para obtener los datos de interés (pérdidas de paquetes, retardo, *jitter*). Se añade un equipo transmisor de datos del lado del servidor para generar tráfico FTP en la red.

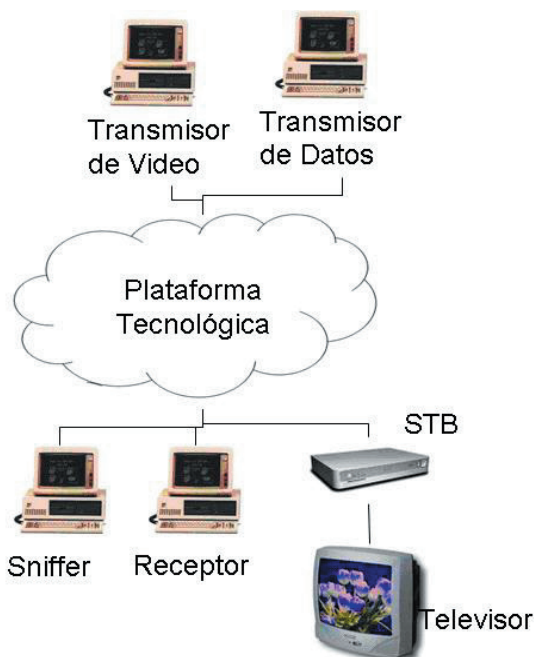


Figura 2. Esquema de pruebas de IPTV con tráfico

Posteriormente, en la Figura 3 se agrega un administrador de ancho de banda al esquema anterior, antes de entrar a la red por el servidor, para reservar una fracción del ancho de banda para ser utilizada sólo por el tráfico de IPTV.

Por último, se realizó un análisis comparativo entre las tres plataformas tecnológicas analizando por separado cada una de las tres variables (pérdida de paquetes, retardo y *jitter*), teniendo en cuenta variación de parámetros como la plataforma tecnológica, el *codec* de video y la tasa de transmisión. Para este análisis, se realizaron tres tipos de pruebas diferentes: sin tráfico, con tráfico y con QoS. Se realizó un diseño de experimento teniendo tres factores (Plataforma, Tasa de Transmisión y *Codec*), tres variables (Pérdida de Paquetes, Retardo Máximo y *Jitter* Promedio) y se realizaron tres repeticiones del experimento. El experimento no se realizó de forma aleatoria debido a la complejidad de los montajes de las pruebas.

En el análisis del experimento se generó la tabla de Análisis de Varianza para observar los factores significantes para cada una de las variables. También se estudió la gráfica de los residuales contra los valores predichos; esta gráfica no debe mostrar ningún patrón entre los residuales, es decir, no puede ser posible realizar un análisis de regresión a los residuales. Por último, se analizó la gráfica de probabilidad normal de los residuales, en la cual se debe observar que los residuales siguen una línea recta para indicar que los datos ingresados tienen distribución normal [4], [5].

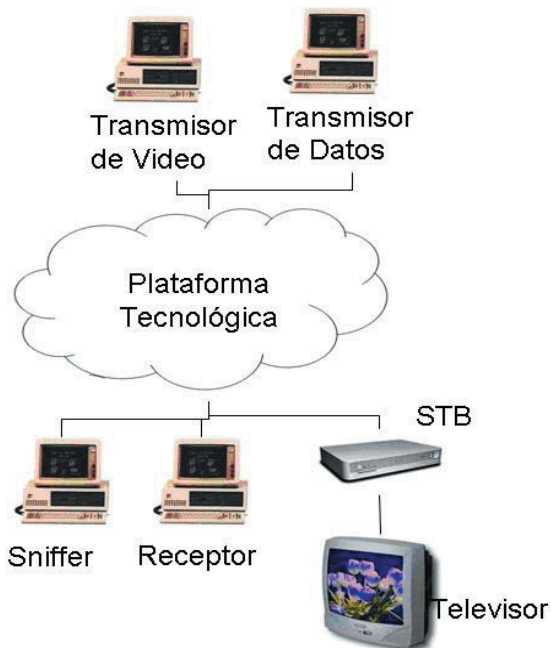


Figura 3. Esquema de pruebas de IPTV con QoS

4. ANÁLISIS INDIVIDUAL DE LAS PLATAFORMAS

4.1. ADSL

En la Figura 4 se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de IPTV sobre ADSL. De la Figura 4 se puede deducir que el servicio de IPTV sobre ADSL presenta pérdidas de paquetes ligeramente más bajas con el *codec* MPEG2 que con MPEG4 cuando hay tráfico y cuando se implementa QoS. Por tanto, se concluye que respecto a la pérdida de paquetes es mejor MPEG2. Se puede concluir también de la misma figura, que la implementación de la calidad de servicio no mejora notablemente el servicio en cuanto a la pérdida de paquetes.

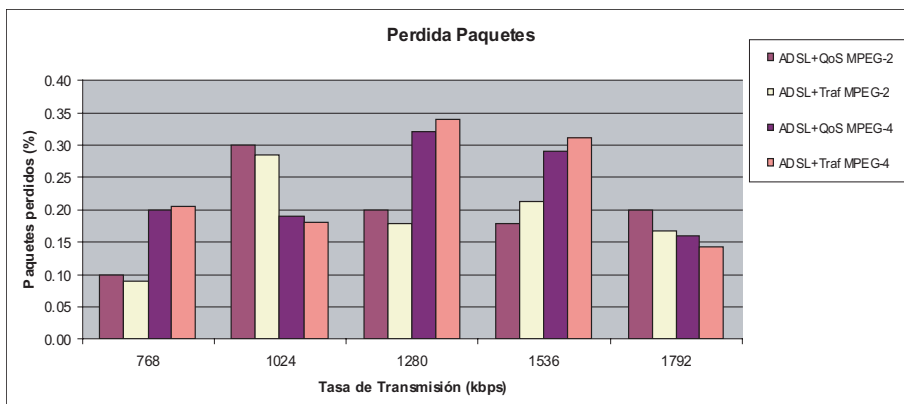


Figura 4. Resultados de pérdidas de paquetes en pruebas de IPTV sobre ADSL

Respecto al retardo máximo, en todas las tasas de transmisión las barras de la Figura 5 presentan un comportamiento similar, lo que muestra que el retardo presentado en IPTV sobre ADSL es indiferente al *codec* de video que se implemente y a la utilización de QoS.

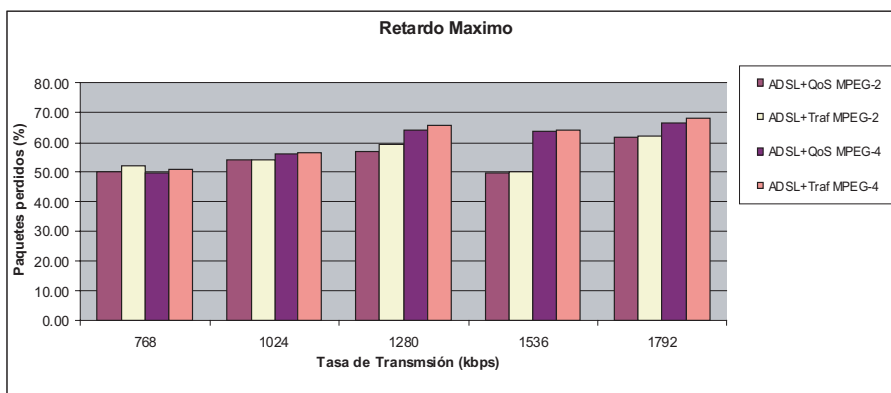


Figura 5. Resultados de retardo en pruebas de IPTV sobre ADSL

En la Figura 6 es bastante notoria la mejora que se refleja en el *jitter* del servicio cuando se implementa la calidad de servicio y al igual que en el caso del retardo, el *jitter* es indiferente al *codec* de video implementado.

En relación a la tasa de transmisión, se observa que con 768kbps y 1024kbps se obtienen los mejores resultados, teniendo en cuenta que con 768kbps es menor la pérdida de paquetes; sin embargo, en la apreciación visual de la imagen es mucho mejor con tasa de transmisión de 1024kbps, por esto es recomendable transmitir a 1024kbps la televisión sobre IP en ADSL.

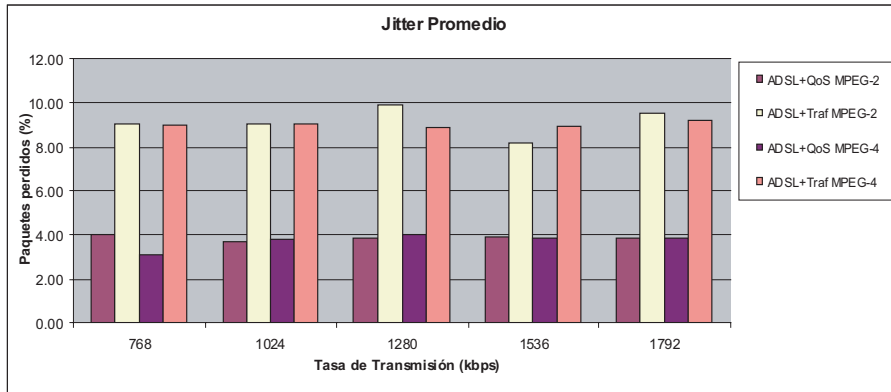


Figura 6. Resultados de *jitter* en pruebas de IPTV sobre ADSL

4.2. WiFi

En la Figura 7 se observa que es notoria la mejora en la pérdida de paquetes cuando se implementa la calidad de servicio en IPTV sobre WiFi, puesto que en las pruebas con tráfico sin QoS se encuentran valores hasta de 0.35% que son bastante altos con respecto a los casos sin tráfico o con QoS que no llegan al 0.03%. Se identifica también un mejor comportamiento del servicio cuando se utiliza el *codec* MPEG2, lo cual es notorio en las pruebas sin QoS. Sin embargo, en la implementación con QoS no se muestra superioridad de ninguno de los dos *codec* con respecto al otro.

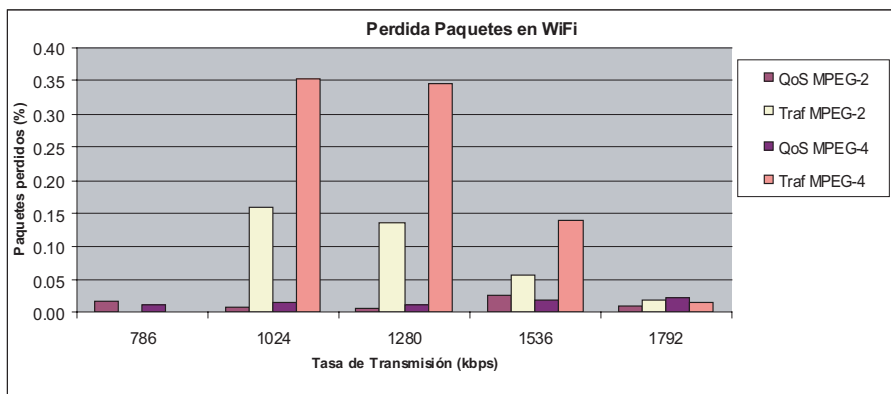


Figura 7. Resultados de pérdidas de paquetes en pruebas de IPTV sobre WiFi

La Figura 8 muestra que en IPTV sobre WiFi, el retardo también se ve bastante afectado por el tráfico y tiene una gran mejora en la aplicación de la calidad de servicio. En este caso, contrario a lo presentado en la pérdida

de paquetes, el *codec* que mejor se comporta es el MPEG4. Sin embargo, al igual que el caso anterior, cuando se aplica la calidad de servicio el *codec* es indiferente en el rendimiento del servicio.

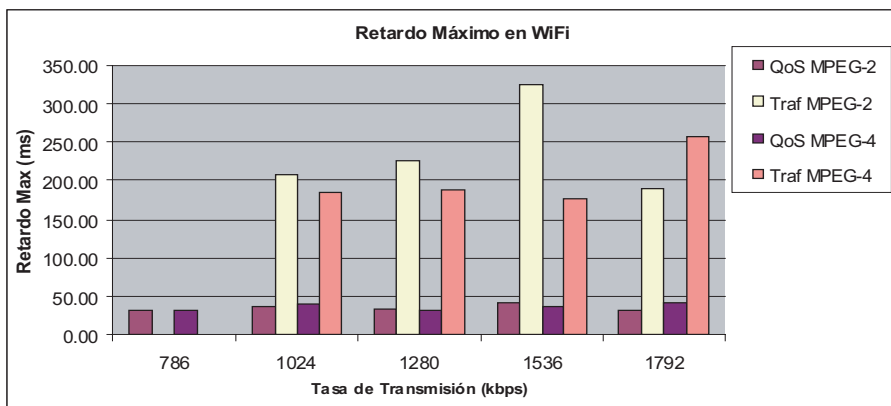


Figura 8. Resultados de retardo en pruebas de IPTV sobre WiFi

En el caso del *jitter* promedio que se muestra en la Figura 9 se observa que cuando no se aplica QoS el rendimiento presenta un comportamiento creciente a medida que se incrementa la tasa de transmisión, y en algunos casos está incluso mejor que cuando se implementa QoS. En este parámetro se observa una leve superioridad del *codec* MPEG4 sobre el MPEG2. Sin embargo, cuando se aplica QoS no predomina ninguno de los dos *codec*.

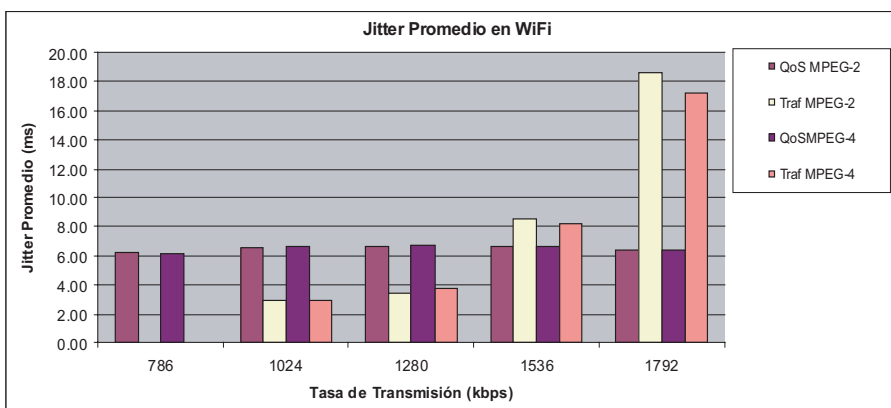


Figura 9. Resultados de *jitter* en pruebas de IPTV sobre WiFi

En relación con la tasa de transmisión, se observa que con todas las tasas de transmisión se obtiene un rendimiento relativamente similar, por tanto,

se recomienda implementar el servicio con una tasa de 1024kbps puesto que es un punto en el que la imagen se ve bastante bien por apreciación visual y además no consume un ancho de banda bastante alto como sí lo haría una tasa de transmisión mas alta. En este caso, el *jitter* presenta un mejor comportamiento sin QoS que con QoS; sin embargo, la proporción de mejoría de los otros dos parámetros es mucho mayor y compensa el rendimiento.

4.3. LAN Extended

En la Figura 10 se puede observar que cuando se aplica QoS en LAN Extended la pérdida de paquetes tiene un mejor comportamiento. Además, el rendimiento del servicio respecto a este parámetro es mayor en el *codec* MPEG2 sobre el MPEG4.

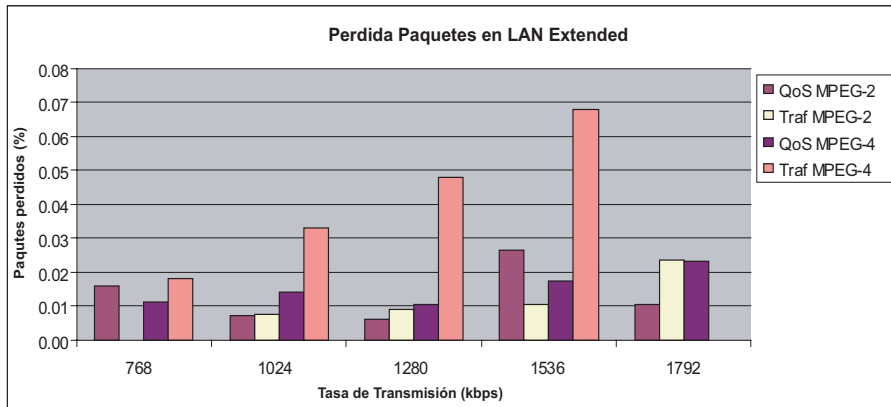


Figura 10. Resultados de pérdida de paquetes en pruebas de IPTV sobre LAN Extended

Por su parte, la Figura 11 muestra que el retardo de los paquetes no presenta gran mejoría con la aplicación de calidad de servicio, incluso, en algunos casos, como en 1536kbps y 1792kbps el rendimiento es mayor cuando no se aplica QoS. Sin embargo, la diferencia entre un caso y otro no es muy grande como para preferir una condición u otra. Con respecto a los *codecs*, en algunos casos se observa una leve mejoría con MPEG2 y en otros con MPEG4, pero ninguna alcanza una gran superioridad. Por tales razones, se concluye que la aplicación de QoS y el *codec* de video son independientes para el retardo de paquetes en LAN Extended.

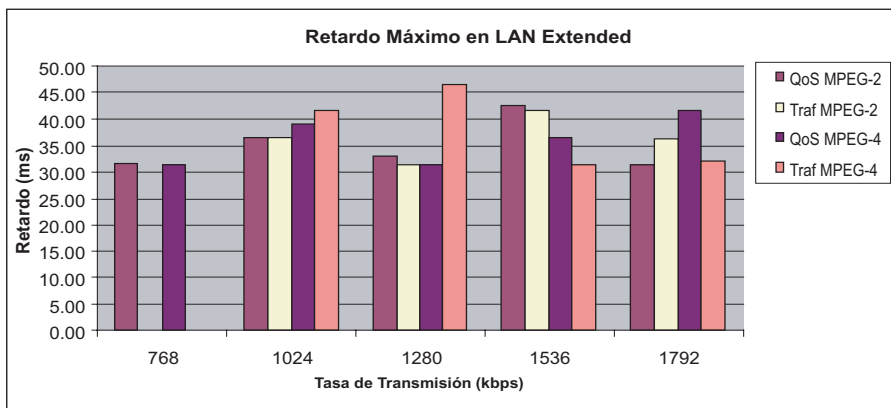


Figura 11. Resultados de retardo en pruebas de IPTV sobre LAN Extended

El gráfico de *jitter* promedio que se muestra en la Figura 12 señala un comportamiento aproximadamente constante en todas las condiciones, por lo que se entiende que dicho parámetro tampoco depende de la aplicación de QoS o el *codec* de video.

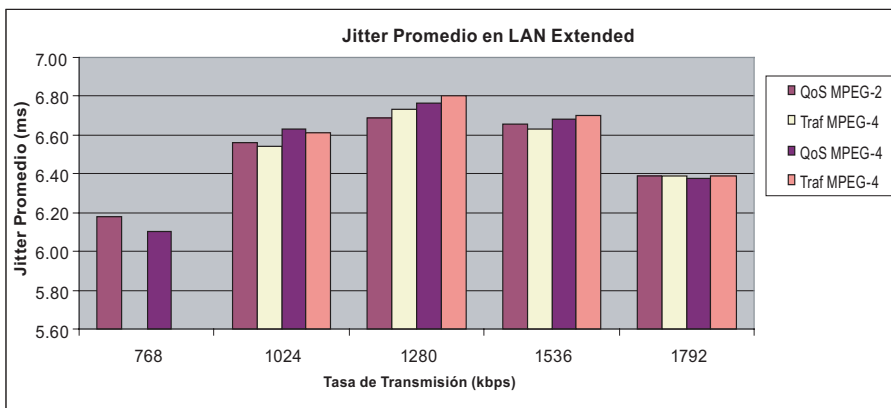


Figura 12. Resultados de *jitter* en pruebas de IPTV sobre LAN Extended

Respecto a la tasa de transmisión, la pérdida de paquetes muestra un mejor comportamiento a tasas bajas, por lo que se recomienda trabajar a 1024kbps.

5. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE PLATAFORMAS

5.1. Análisis del *Jitter*

La Tabla 1 muestra el análisis de varianza (ANOVA), donde el valor P da el nivel de significancia de cada valor; se observa que sólo la Plataforma y la Tasa de Transmisión, y la interacción entre estas dos tienen un valor P menor a 0.05, lo cual indica que estos parámetros son los significantes en el rendimiento del *jitter* en pruebas sin QoS.

La Figura 13a muestra la interacción del valor predicho contra los residuos. Se observa que los valores no siguen un patrón y no se puede crear ninguna regresión con los residuales, lo cual quiere decir que presenta una varianza constante y el modelo es correcto.

La figura 13b muestra la distribución de los residuales. Se puede observar que los residuales siguen la línea de una Distribución Normal, aunque tiene ciertas diferencias en los valores altos y bajos, esto puede ser porque en el análisis se evaluaron diferentes variables, ya que no existe posibilidad de aislar una variable de la otra [4].

Tabla 1. Análisis de Varianza para el *Jitter* en pruebas de IPTV sin QoS

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Plataforma	127.271	2	63.6353	119.33	0
B:Tasa de Tx	244.853	3	81.6176	153.05	0
C:Codificación	0.133472	1	0.133472	0.25	0.6189
INTERACTIONS					
AB	620.983	6	103.497	194.08	0
AC	0.541269	2	0.270635	0.51	0.6048
BC	1.14597	3	0.381991	0.72	0.5465
RESIDUAL	28.7965	54	0.533269		
TOTAL (CORRECTED)	1023.72	71			

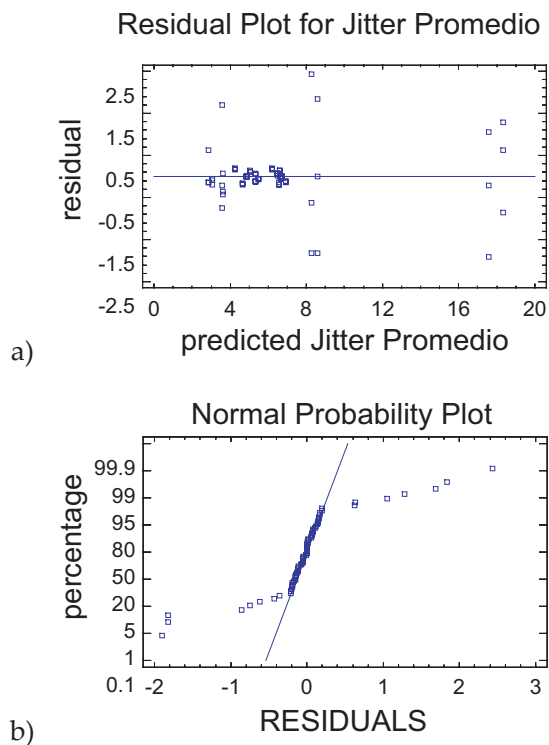


Figura 13. Residuales para el *jitter* en pruebas sin QoS. a) Gráfica residuales vs valor predicho. b) Gráfica de Probabilidad Normal para residuales.

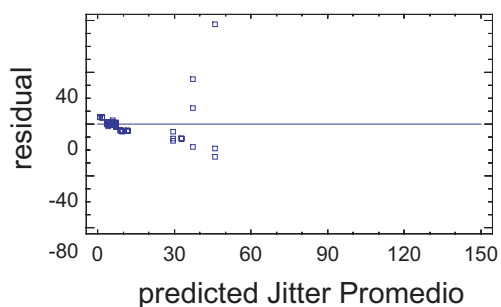
La Tabla 2 muestra el ANOVA para el *jitter* en pruebas con Calidad de Servicio. Según el valor P , se observa que los factores significantes son la Plataforma y la Tasa de Transmisión y la interacción entre ellas [4], [5]. En la Figura 14a se muestran los residuales contra el valor predicho del *jitter*, los residuales no presentan ningún patrón específico en esta gráfica.

En la Figura 14b se muestra la distribución de los residuales en la gráfica de probabilidad Normal, se observan que siguen la línea de la Distribución Normal y muestran que los datos tienen una distribución normal [5].

Tabla 2. Análisis de Varianza para el *jitter* en pruebas de IPTV con QoS

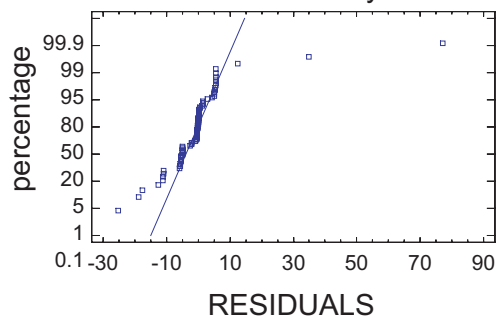
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Plataforma Tecno	4258.61	2	2129.31	11.48	0.0001
B:Tasa Tx	1818.42	3	606.14	3.27	0.0281
C:Codificación	8.55601	1	8.55601	0.05	0.8307
INTERACTIONS					
AB	3686.38	6	614.397	3.31	0.0075
AC	14.8359	2	7.41793	0.04	0.9608
BC	997.184	3	332.395	1.79	0.1596
Residual	10013.8	54	185.441		
TOTAL (CORRECTED)	20797.8	71			

Residual Plot for Jitter Promedio



a)

Normal Probability Plot



b)

Figura 14. Residuales para el *jitter* en pruebas con QoS. a) Gráfica residuales vs valor predicho. b) Gráfica de Probabilidad Normal para residuales.

5.2. Análisis de las pérdidas de paquetes

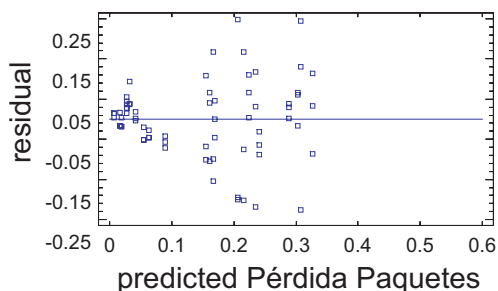
La Tabla 3 muestra que para la pérdida de paquetes en pruebas sin QoS los tres factores son relevantes, teniendo en cuenta que el *codec* es el menos relevante [4], [5]. En la figura 15a se muestra los residuales contra los valores predichos de pérdida de paquetes; se nota que los residuales no tienen ningún patrón específico.

En la figura 15b se grafica la probabilidad normal para los residuales, los cuales siguen la línea de distribución normal, aunque se observa ciertos puntos muy distantes en los valores bajos, esto es debido a explicaciones dadas con anterioridad para la Figura 13b [5].

Tabla 3. Análisis de Varianza para la Pérdida de Paquetes en pruebas de IPTV sin QoS

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Plataforma	0.58763	2	0.293815	27.01	0
B:Tasa de Tx	0.136159	3	0.0453863	4.17	0.0099
C:Codificación	0.0528125	1	0.0528125	4.85	0.0319
INTERACTIONS					
AB	0.142379	6	0.0237299	2.18	0.0589
AC	0.0459403	2	0.0229702	2.11	0.1309
BC	0.0498658	3	0.0166219	1.53	0.2177
RESIDUAL	0.587429	54	0.0108783		
TOTAL (CORRECTED)	1.60222	71			

Residual Plot for Pérdida Paquetes



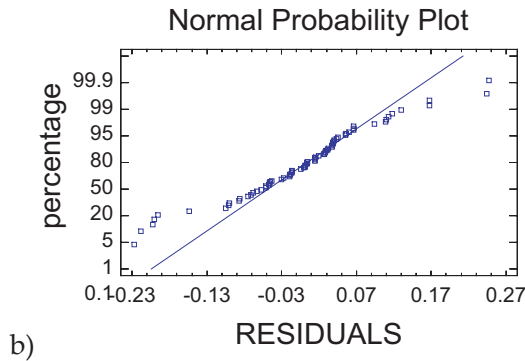


Figura 15. Residuales para la Pérdida de Paquetes en pruebas de IPTV sin QoS.

- a) Gráfica residuales vs valor predicho.
- b) Gráfica de Probabilidad Normal para residuales.

La Tabla 4 muestra que el factor más relevante para las pérdidas de paquetes en las pruebas con QoS es la plataforma tecnológica; la tasa de transmisión no es muy significativa, pero puede tener algo de influencia [4], [5]. La figura 16a muestra los residuales contra el valor predicho, donde se ve que no siguen un patrón definido. En la Figura 16.b de Probabilidad Normal se comprueba que los datos tienen una distribución Normal, ya que los residuales siguen la línea que representa la distribución normal [5].

Tabla 4. Análisis de Varianza para la Pérdida de Paquetes en pruebas de IPTV con QoS

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Plataforma Tecno	0.601475	2	0.300737	52.26	0
B:Tasa Tx	0.044324	3	0.0147747	2.57	0.0639
C:Codificación	0.00301606	1	0.00301606	0.52	0.4722
INTERACTIONS					
AB	0.0542359	6	0.00903932	1.57	0.1735
AC	0.000833361	2	0.000416681	0.07	0.9302
BC	0.0199144	3	0.00663813	1.15	0.336
RESIDUAL	0.310742	54	0.00575447		
TOTAL (CORRECTED)	1.03454	71			

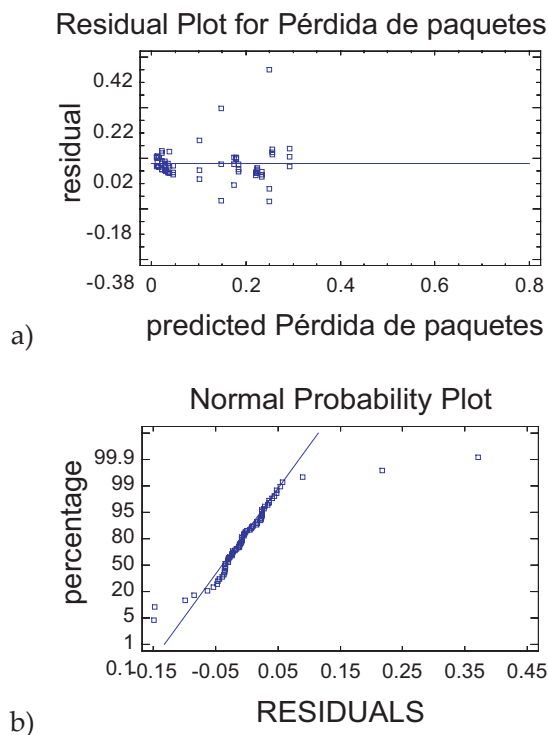


Figura 16. Residuales para la Pérdida de Paquetes en pruebas con QoS.

a) Gráfica residuales vs valor predicho.

b) Gráfica de Probabilidad Normal para residuales.

5.3. Análisis del retardo

Para el retardo máximo en pruebas sin QoS el único factor relevante es la Plataforma Tecnológica, según el valor P de la Tabla 5 [4], [5]. En la figura 17a se observan los residuales contra los valores predichos, a pesar que los residuales se concentran en un lugar específico, no siguen ningún patrón. En la figura 17b se observa la distribución de probabilidad de los residuales, se demuestra que los datos tienen una distribución normal, ya que los residuales siguen la línea recta de la gráfica casi en su totalidad [5].

Tabla 5. Análisis de Varianza para el Retardo en pruebas sin QoS.

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Plataforma	473583	2	236792	164.86	0
B:Tasa de Tx	3015.25	3	1005.08	0.7	0.5563
C:Codificación	1485.58	1	1485.58	1.03	0.3137
INTERACTIONS					
AB	7337.7	6	1222.95	0.85	0.5363
AC	6420.37	2	3210.19	2.23	0.1168
BC	11069.5	3	3689.82	2.57	0.0638
RESIDUAL	77563.2	54	1436.36		
TOTAL (CORRECTED)	580475	71			

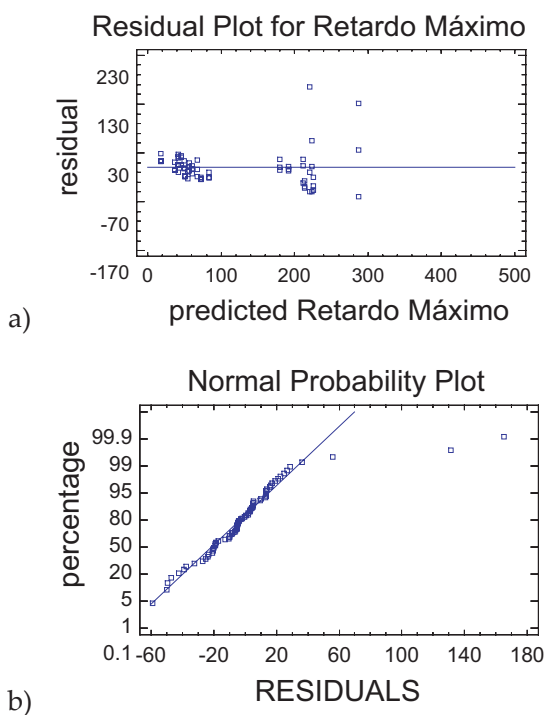


Figura 17. Residuales para el Retardo en pruebas con tráfico.

- a) Gráfica residuales vs valor predicho.
- b) Gráfica de Probabilidad Normal para residuales.

En la Tabla 6 de ANOVA para el Retardo Máximo en pruebas con QoS se muestra que los tres factores son significantes en este experimento, aunque la codificación es el menos significantes de los tres [4], [5].

En la figura 18a se muestran los residuales contra los valores predichos; se observa acumulación de residuales al comienzo de la gráfica; sin embargo, no siguen ningún patrón específico. En la figura 18b se observa la distribución normal de los residuales; éstos siguen la línea recta, pero presentan gran dispersión, esto se debe a factores explicados con anterioridad, como realizar las pruebas con varias variables al tiempo [4].

Tabla 6. Análisis de Varianza para el Retardo Máximo en pruebas de IPTV con QoS

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:Plataforma Tecno	2.83E+06	2	1.41E+06	436.42	0
B:Tasa Tx	78352.1	3	26117.4	8.06	0.0002
C:Codificación	20853.2	1	20853.2	6.44	0.0141
INTERACTIONS					
AB	165515	6	27585.8	8.52	0
AC	52581	2	26290.5	8.12	0.0008
BC	32469.8	3	10823.3	3.34	0.0258
RESIDUAL	174910	54	3239.08		
TOTAL (CORRECTED)	3.35E+06	71			

CONCLUSIONES

Luego de realizar los montajes de las distintas plataformas tecnológicas para prestar el servicio de IPTV y realizar el análisis respectivo que se mostró en las secciones 4 y 5, se pueden obtener las siguientes conclusiones:

Las pérdidas de paquetes en ADSL son menores con la implementación de MPEG2 que con MPEG4. Además, no es necesario aplicar QoS para reducir las pérdidas. En el caso del retardo, el *codec* y la aplicación de QoS no son relevantes para el rendimiento. Sin embargo, la QoS si es muy importante en ADSL para el rendimiento del *jitter*, el cual presentó un mayor rendimiento con la aplicación de QoS que sin ella.

IPTV sobre WiFi presenta un mejor rendimiento en cuanto a las pérdidas de paquetes cuando se aplica QoS a la red y cuando se utiliza el *codec* MPEG2, excepto cuando se aplica QoS, caso en el que no hay predominio de ninguno de los dos *codec*. Es muy importante la aplicación de QoS en WiFi también para el caso del retardo en el que hay un mayor rendimiento comparando con el caso en que no se aplica QoS. El *jitter* en IPTV sobre WiFi es indiferente a la aplicación de QoS. Por tales motivos, IPTV sobre WiFi se recomienda trabajarlo con el *codec* MPEG2 y aplicando QoS.

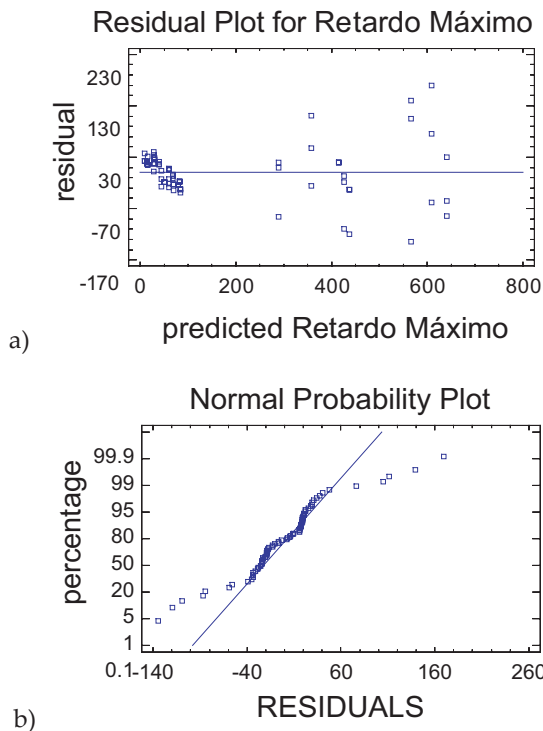


Figura 18. Residuales para el Retardo Máximo en pruebas con QoS.

- a) Gráfica residuales vs valor predicho.
- b) Gráfica de Probabilidad Normal para residuales.

LAN Extended es otra tecnología en la que la aplicación de QoS presenta un mejor comportamiento respecto a las pérdidas de paquetes. También se muestra una superioridad del *codec* MPEG2 sobre el MPEG4 para dicho parámetro, lo cual también se presenta en el retardo. Sin embargo, en este último parámetro la QoS no es muy indispensable para el servicio de IPTV sobre LAN Extended. El *jitter* no es muy dependiente del *codec* ni de la aplicación de QoS.

En cuanto a pruebas sin QoS, se observa en cambio que la codificación no es significativa para el *jitter*, pero la plataforma y la tasa de transmisión si lo son. En las pruebas con calidad de servicio se observa que la codificación tampoco es significativa, a diferencia de la plataforma y la tasa de transmisión, siendo la plataforma lo más relevante

En las pruebas de pérdidas de paquetes sin QoS la plataforma y la tasa de transmisión son los factores más significantes. En la aplicación de calidad de servicio, según los valores arrojados por el análisis de varianza, la plataforma y la tasa de transmisión son relevantes, pero la tasa de transmisión en menor grado.

El retardo, en pruebas sin QoS, sólo presenta significancia en la plataforma y por último en las pruebas con calidad de servicio, según la tabla de ANOVA, los tres factores resultan significantes, aunque de nuevo, la codificación es el menos significativo.

En todas las pruebas realizadas se mostró que la plataforma es el factor más relevante para los resultados de las diferentes variables y el *codec* es quizás el menos relevante, pero siempre se observó que para la pérdida de paquetes las pruebas con MPEG-2 dieron un mejor desempeño que con MPEG-4.

REFERENCIAS

- [1] J. CORREA. "80 hogares de Río Negro reciben 14 canales de televisión digital a través de una línea telefónica fija". *El Tiempo*, Bogotá, 23, noviembre, 2006.
- [2] J. CORREA. UNE-EPM, "con TV por Internet desde marzo". *Portafolio. El Tiempo*. Bogotá, 21, febrero, 2007.
- [3] K. HASTINGS y N. NECHITA. "Challenges and opportunities of delivering IP-based residential televisión services". *IEEE Communications Magazine*. Vol. 38, N°11. nov 2000, p.86-92
- [4] D. MONTGOMERY. *Design and analysis of experiments*. 5ª ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2005.
- [5] N. POTTER, K. LABEAU, G. LOVELAND y T. LAI. *Optimization Phase Project*. Statistics 314: Statistical Quality Methods, Mar. 2004.
- [6] J. SALVATIERRA. *Televisión digital*. Ospitel: Sexto boletín tecnológico, dic, 2006.
- [7] J. WALKO. "I love my IPTV". *IEEE Communications Engineer*. Vol.3, N° 6. dic. 2005; p.16-19.
- [8] R. WARD. *Internet Protocol Televisión*. New Tech Briefs, dic. 2004.