

Análisis de Rendimiento de la Transmisión de Flujos de Vídeo en Entornos WLAN

Alejandro Molina Galán¹, M.P. Malumbres, Otoniel López, Miguel Martínez-Rach, Pablo Piñol Peral

Resumen— En este trabajo se lleva a cabo un análisis de rendimiento de una transmisión de vídeo sobre tecnologías de red inalámbricas, definiendo diferentes escenarios y configuraciones para una WLAN IEEE 802.11. Para este propósito, se ha empleado un punto de acceso, además de varios dispositivos inalámbricos compatibles con los estándares 802.11n y 802.11ac. En este trabajo se ha realizado un análisis de rendimiento desde tres puntos de vista diferentes. En primer lugar, se analiza la conectividad del punto de acceso en sus interfaces inalámbricas y Ethernet. Después se realiza una estimación teórica de capacidad en cuanto a número de clientes, verificando la estimación obtenida en escenarios reales. Por último, se estudian diferentes configuraciones de QoS para comprobar su impacto en la recepción de un flujo de vídeo cuando existe otro tráfico compitiendo por los recursos disponibles de la WLAN.

Palabras clave—802.11n, 802.11ac, WLAN, rendimiento, QoS, transmisión de vídeo

I. INTRODUCCIÓN

EN la última década se ha experimentado un crecimiento exponencial en el tráfico de vídeo ofrecido por diferentes proveedores. El tráfico de vídeo, por naturaleza, requiere una elevada capacidad de transporte, lo que, unido a una gran demanda de los usuarios, ha convertido al vídeo en uno de los tráficos más dominantes de Internet. De hecho, según un estudio de Cisco [1], en el año 2020 el 82% del tráfico de Internet será de este tipo. Este mismo estudio afirma que el tráfico correspondiente a dispositivos móviles e inalámbricos representará dos tercios de todo el tráfico IP en ese año. Por tanto, podemos afirmar que un gran porcentaje del tráfico que va a estar presente en las redes en los próximos años, va a corresponderse con paquetes de vídeo y que, además, muchos de los dispositivos van recibir y emitir ese tráfico por interfaces móviles e inalámbricas.

Este trabajo trata de aglutinar en su estudio estos dos aspectos. Para ello se pretende realizar un análisis del rendimiento que presenta una red inalámbrica de área local (WLAN) ante un flujo de bits correspondiente a un flujo de vídeo transmitiéndose a través de ella.

Para el análisis se han recogido resultados y estadísticas de la transmisión de determinados vídeos en diferentes escenarios WLAN. Como elemento principal de la WLAN se ha empleado un punto de acceso (AP) compatible con los estándares 802.11ac [2] y 802.11n [3]. Cabe destacar, que la WLAN objeto de estudio ha estado aislada de Internet, por tanto, el único tráfico presente, ha sido generado por alguno de los dispositivos desplegados en los escenarios. Como servidor de *streaming* de vídeo se ha utilizado uno de los

dispositivos, siendo el resto configurados como clientes o receptores del mismo.

Este análisis se ha realizado desde tres puntos de vista. En primer lugar, se ha comprobado la conectividad en cuanto a interfaces que ofrece este AP mediante la transmisión de un vídeo en diferentes escenarios, empleando a su vez varios protocolos/métodos de transporte. La segunda parte del análisis consiste en la comprobación de la capacidad que ofrece el AP en cuanto a número de clientes servidos, mientras que la última se ha centrado en la calidad de servicio (QoS).

Tras la introducción, este documento consta de los siguientes apartados: en la sección II se explican los principales elementos hardware y software empleados en este estudio. A continuación, en las tres siguientes secciones, se describen tanto los procedimientos empleados, como los resultados obtenidos desde tres puntos de vista de análisis: conectividad, capacidad y QoS. Llegando a la parte final del documento, en la sección VI, se exponen las conclusiones y líneas futuras de trabajo.

II. DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE Y HARDWARE

A. VideoLAN [4]

Es un proyecto de software libre compuesto por dos aplicaciones multi-plataforma: VideoLAN Server (VLS) y VideoLAN Client (VLC). En el caso de VLS, se trata de un servidor de *streaming* multimedia. Por su parte, VLC es un reproductor de medios, que soporta los *códecs* de audio y vídeo más utilizados. Además, VLC también puede ser empleado como servidor para transmitir contenidos multimedia sobre la red. Para este trabajo se ha empleado VLC tanto como cliente como servidor de *streaming* de vídeo. En concreto, se ha utilizado para la transmisión y recepción de paquetes de vídeo en formato MPEG-4. Además, se han aprovechado algunas de sus capacidades para el estudio. Por ejemplo, se han utilizado diferentes protocolos para la transmisión del vídeo como *Real Time Streaming Protocol* (RTSP) [5], *Real-Time Transport Protocol* (RTP) [6] *unicast* y *multicast*, e *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) [7].

B. Wireshark [8]

Es un software libre que hace las funciones de analizador de paquetes. Además, permite recoger estadísticas sobre los paquetes monitorizados. Se ha empleado principalmente para la monitorización de las interfaces de red tanto Ethernet como inalámbricas. Además, ha sido de utilidad para la recogida de estadísticas del flujo de bits transmitido y recibido.

También se ha utilizado para la exportación de los datos recogidos a un formato Excel.

C. *ffmpeg* [9]

Es un software libre que contiene librerías y programas para manejar datos multimedia. Tiene una interfaz de consola. Con este software se han comprimido y descomprimido vídeos en formato MPEG-4 a diferentes calidades, partiendo de fuentes de vídeo original YUV (sin comprimir).

D. *Jperf* [10]

Es una herramienta software con interfaz gráfica, con las mismas funciones que su versión de consola llamada "*Jperf*". Se utiliza para medir el *throughput* entre dos extremos. Uno de los extremos funciona como cliente, enviando tráfico ya sea UDP o TCP. El otro de los extremos realiza las funciones de servidor, recibiendo ese flujo de bits y reportando la tasa de bits recibidos durante un intervalo de tiempo. Se ha utilizado principalmente en el análisis de capacidad. En concreto, se ha empleado para comprobar la tasa máxima real que se puede emplear en cada modo de transmisión.

F. AP Cisco Aironet 2702 [11]

Las características más importantes del modelo de AP utilizado para este estudio son:

- Compatibilidad con los estándares 802.11n y 802.11ac en las bandas de 2,4 GHz y 5GHz respectivamente.
- Dos interfaces Gigabit Ethernet.
- Posible configuración del modo de transmisión o esquema de modulación y codificación (MCS).
- Configuración de QoS en sus interfaces.

G. Dispositivos inalámbricos

Para la transmisión y la recepción de los paquetes de vídeo se han empleado múltiples dispositivos con compatibilidad inalámbrica. En la Tabla I se muestran cada uno de los dispositivos utilizados junto con la compatibilidad en cuanto a estándares de sus interfaces de red.

TABLA I
DISPOSITIVOS INALÁMBRICOS EMPLEADOS

Dispositivo	802.11n	802.11ac	Ethernet
Portátil Samsung	Sí	Sí	Sí
Portátil HP	Sí	No	Sí
Portátil Lenovo	Sí	Sí	No
Móvil Samsung	Sí	Sí	No
Receptor Dual USB	Sí	Sí	No

III. ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD

En esta sección, el análisis se va a centrar en la comprobación de la conectividad que ofrece el AP en la WLAN. Para ello se han dispuesto diferentes escenarios y recogido estadísticas de los mismos durante la transmisión de un vídeo. En primer lugar, se explican dos aspectos tenidos en cuenta antes de la disposición de los escenarios: (1) la configuración de un servidor

DHCP en el AP, y (2) las características del vídeo a transmitir. Posteriormente, se describen los diferentes escenarios analizados junto con el objetivo perseguido en los mismos. Por último, se van a exponer los resultados obtenidos, así como un análisis de los mismos.

A. Procedimientos

Configuración del servidor DHCP en el AP

La primera tarea que se llevó a cabo fue la configuración de un servidor DHCP en el AP [12], de forma que se asignen IP's privadas correspondientes a la red 192.168.1.0/24 para los dispositivos que lo soliciten. Se excluye la dirección 192.168.1.1 de la asignación, ya que es la dirección IP reservada para el AP.

Descripción del vídeo a transmitir

El vídeo que va a ser empleado para el *streaming* está relacionado con temáticas de la naturaleza y los animales salvajes. Algunas de las características más importantes obtenidas con el analizador de vídeos "media-info" se enumeran en la Tabla II.

TABLA II
CARACTERÍSTICAS DEL VÍDEO

Formato	MPEG-4 AVC
Tamaño archivo	55 MB
Duración	3min y 12s
Tasa de bits general	2,4 Mbps
Resolución	1920 x 1080
Espacio de color	YUV
Profundidad de bits	8 bits
Submuestreo de crominancia	4:2:0

Escenarios de recepción única: UDP vs TCP.

Para la preparación de los escenarios se ha seguido un procedimiento común para la toma de datos. En primer lugar, se iniciaba la monitorización de las interfaces a emplear mediante *Wireshark*. A continuación, se ejecutaba la aplicación VLC en todos los dispositivos objeto de estudio. En el servidor se configuraba la emisión, seleccionando el archivo a emitir (p.e. *wildlife.mp4*), el protocolo a emplear (p.ej. RTSP), el puerto (p.ej. 11234) y el *path* (p.ej. /stream), con el fin definir completamente el URL de red (p.ej. *rtsp://192.168.1.22:11234/stream/wildlife.mp4*). Una vez iniciada la emisión, en los clientes se configuraba la recepción introduciendo la IP del servidor y el puerto correspondiente. Y al final, pulsando el icono de "play" se empezaba a visualizar el vídeo recibido.

En los dos primeros escenarios se ha realizado una comparación entre los protocolos UDP y TCP empleados para el transporte del vídeo a un único dispositivo receptor. De igual manera, en capas superiores se han empleado los protocolos RTSP y HTTP respectivamente. Cabe destacar que al transmitir vídeo empleando el protocolo RTSP, según la configuración de VLC, realmente para el transporte se está haciendo uso de RTP/UDP *unicast*. El esquema de estos dos primeros escenarios se muestra en la Fig. 1(a).

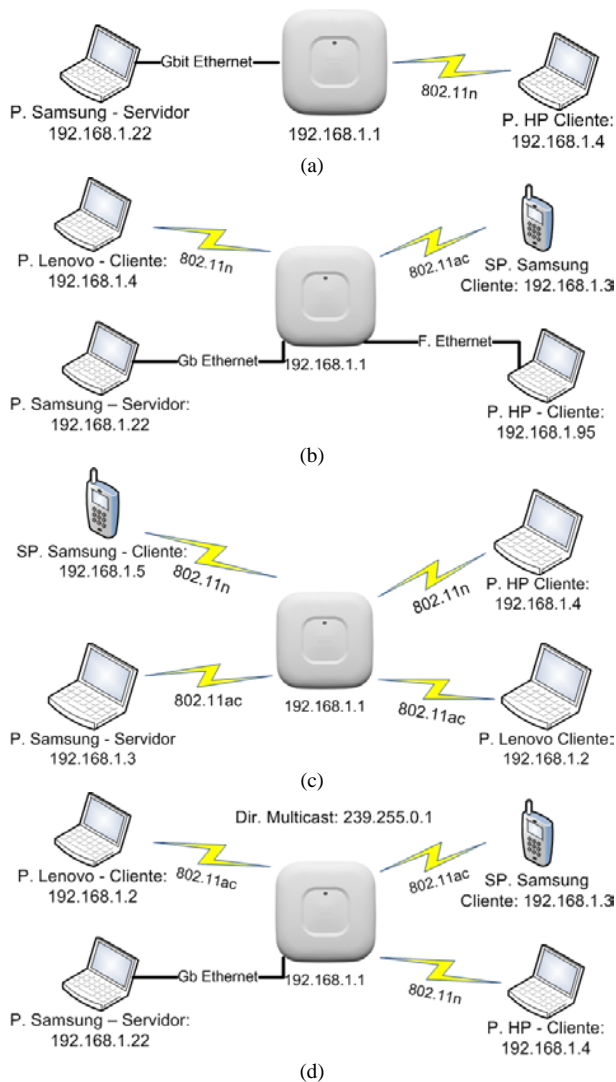


Fig. 1. Escenarios conectividad: (a) TCP vs UDP; (b) Todos los interfaces; (c) Todo inalámbrico; (d) Multicast

Escenario de conectividad total

En este escenario, Fig. 1(b), se pretende comprobar toda la conectividad que ofrece el punto de acceso. Para ello se ha hecho uso de todas las interfaces disponibles del AP. Y el streaming se ha realizado empleando el protocolo RTSP.

Escenario totalmente inalámbrico

En este escenario, Fig. 1(c), se ha comprobado el rendimiento que presenta un streaming de vídeo haciendo uso de interfaces únicamente inalámbricas, tanto para transmitir como para recibir el vídeo, usando el protocolo RTSP. Este es un escenario cada vez más usual en entornos de área local y que en el futuro se incrementará con la implementación de aplicaciones asociadas al término Internet de las Cosas (IoT) [13].

Escenario RTP multicast

En este escenario, Fig. 1(d), se ha realizado un streaming del vídeo dirigido a una dirección de grupo multicast (punto-a-multipunto), en lugar de utilizar unicast (punto-a-punto). El objetivo de este escenario consiste en comparar el rendimiento de las sesiones de streaming en este escenario con el obtenido en los escenarios unicast

B. Resultados

Escenarios de recepción única: UDP vs TCP.

En la Fig. 2, escenario UDP, la curva “rtp/udp Tx Data” se corresponde con el flujo de bits transmitido por el servidor y “rtp/udp Rx Data” se trata del caudal de bits recibido por el cliente. Podemos verificar que el cliente (receptor) no es capaz de recibir el vídeo a la velocidad que le marca el servidor. Esto, es probablemente debido, en parte, al modo de transmisión configurado en el AP. Las pérdidas, por tanto, se estarían produciendo en la cola de salida hacia la interfaz inalámbrica 802.11n por las restricciones de capacidad.

En la Fig. 3 el ítem “tcp TX” se corresponde con la tasa de bits empleada para la transmisión del vídeo, y “tcp Rx” indica la tasa de bits en recepción. Como se puede observar, con TCP la tasa de transmisión es prácticamente la misma que la tasa de recepción en cada instante. Esto es debido a que TCP emplea control de congestión y control de flujo, que unido a las posibles retransmisiones, adecúa el envío del flujo de vídeo a los recursos disponibles en la red. Con UDP no se controla ninguno de estos factores y el vídeo se va enviando al ritmo que marca la aplicación. De hecho, si comparamos las tasas de transmisión de la Fig. 2 con la Fig. 3 vemos como con TCP, en ciertos picos como los marcados en negro en sendas gráficas, se disminuye la tasa de transmisión desde 8,5 Mbps en UDP a 7,5 Mbps en TCP.

Por otro lado, se ha de analizar otro tráfico de menos peso, pero también importante en el funcionamiento de los protocolos HTTP y RTP. Así en la Fig. 2, observamos un tráfico identificado en la leyenda como “rtcp/udp Rx Data (*100)”. Este flujo de bits corresponde al protocolo RTP Control Protocol (RTCP) que permite el intercambio de las estadísticas de transmisión en una sesión RTP. Este tráfico RTCP se ha multiplicado por un factor 100 para que pueda apreciarse su naturaleza periódica.

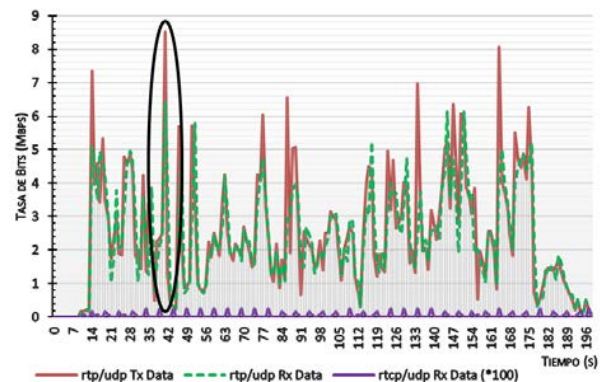


Fig. 2. Gráfica de rendimiento (Mbps) empleando RTSP/RTP/UDP

Si nos centramos ahora en la Fig. 3, observamos otro tráfico minoritario. En este caso, se trata de los acuses de recibo de TCP, que son recibidos por el servidor de streaming. Se corresponde con el indicador “tcp ack rx” de la leyenda. Es un tráfico apenas perceptible, pero su relevancia puede verse aumentada a medida que el número de clientes va incrementándose.

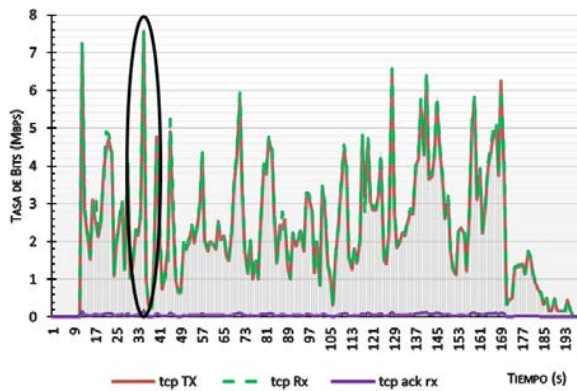


Fig. 3. Gráfica de rendimiento (Mbps) empleando HTTP/TCP

Aplicaciones streaming: UDP vs TCP.

En base al análisis realizado, vamos a determinar qué protocolo de transporte es más adecuado para las dos tipologías más importantes de aplicación de *streaming* de vídeo: video-conferencia (*live streaming*) y vídeo bajo demanda (*video on-demand*).

Normalmente, en las aplicaciones de video-conferencia no es recomendable el uso de TCP. Si se usa TCP, el servidor debería almacenar los segmentos no confirmados de todos los clientes que están visualizando un mismo evento en directo. Por el contrario, los vídeos ya codificados y almacenados en un disco no suelen tener este problema, ya que, al no haber un evento en directo, cada cliente demanda el vídeo cuando a él le interesa. Por tanto, TCP es más apropiado para el servicio de tipo “vídeo bajo demanda”. Y por su parte UDP es más recomendable para las aplicaciones de *streaming* de vídeo en tiempo real.

En el presente trabajo se ha decidido emplear UDP para el resto de escenarios para analizar los efectos de las pérdidas de paquetes en la WLAN ante la variabilidad del ancho de banda disponible, aunque éste sea reducido y las pérdidas elevadas.

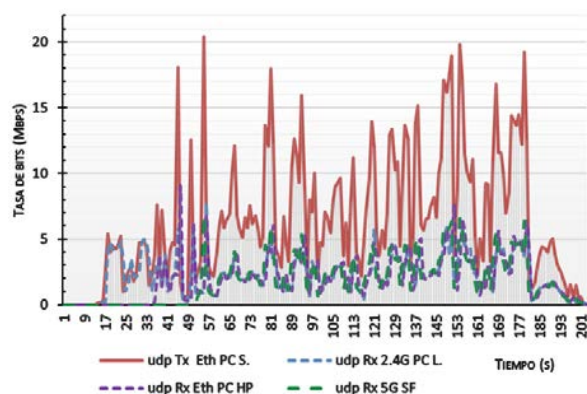


Fig. 4. Gráfica del escenario conectividad total

Escenario de conectividad total

En la Fig. 4 se muestran cuatro curvas de productividad a lo largo del tiempo empleado para el envío de la secuencia de vídeo. La curva “*udp Tx Eth PC S.*” se corresponde con el tráfico UDP inyectado por el dispositivo “Portátil Samsung” a través de la interfaz Ethernet. Por su parte, la curva “*udp Rx 2.4G PC L.*” representa el tráfico recibido en el dispositivo “Portátil Lenovo” a través de la interfaz inalámbrica de 2,4 GHz

(802.11n). “*udp Rx Eth PC HP*” se corresponde con el tráfico recibido en el dispositivo “Portátil HP” a través del interfaz Ethernet. Por último, “*udp Rx 5G SF*” se trata del tráfico recibido en el dispositivo “Móvil Samsung” a través del interfaz de 5 GHz (802.11ac). Al no disponer de ningún analizador de paquetes compatible con el sistema operativo Android, se ha representado el tráfico transmitido hacia este dispositivo en la Fig. 4, comprobando la recepción correcta del vídeo en el *smartphone* mediante su visualización.

Si comparamos la Fig. 4 con la Fig. 2 en cuanto al tráfico transmitido por el servidor, vemos como al ser envíos *unicast* a 3 clientes, los picos de tráfico llegan hasta 20 Mbps (tiempo = 55 s) en este caso. A diferencia de la Fig. 2 en la que se alcanzaba un pico de aproximadamente 8,5 Mbps.

Con este escenario, se ha comprobado la conectividad a través de las interfaces que ofrece el punto de acceso empleado en la WLAN.

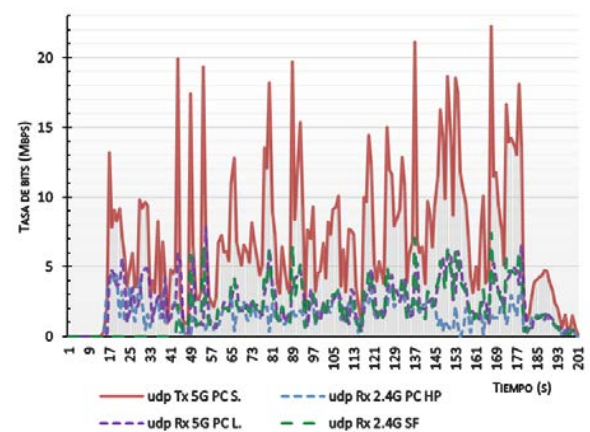


Fig. 5. Gráfica del escenario totalmente inalámbrico

Escenario totalmente inalámbrico

En la Fig. 5, obtenemos resultados muy similares a los resultados de la Fig. 4, donde la emisión se realiza a través del interfaz Ethernet. Se comprueba de esta manera, la conectividad y el rendimiento que ofrece el AP al configurar una WLAN en la que todos sus dispositivos emiten y/o reciben de forma inalámbrica.

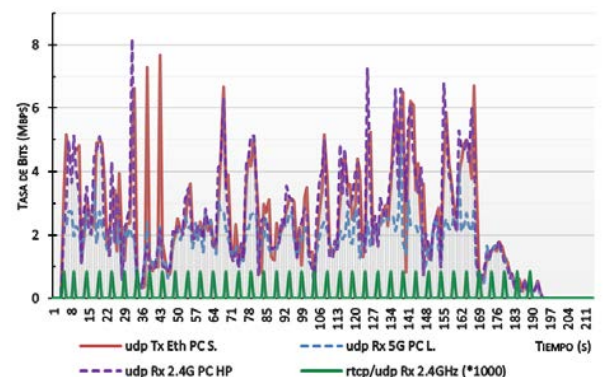


Fig. 6. Gráfica del escenario multicast

Escenario multicast: RTP unicast vs RTP multicast.

Los resultados obtenidos en este escenario se pueden observar en la Fig. 6. En primer lugar, vamos a analizar el *stream* de vídeo transmitido por el servidor, es decir el ítem “*udp Tx Eth PC S.*”. Lo que más llama la atención,

es que estamos transmitiendo a una tasa de bits prácticamente similar a la que se ha obtenido en el escenario de un único receptor *unicast* (Fig. 2). Sin embargo, en este caso, el vídeo está siendo recibido por tres clientes. Queda de manifiesto, una de las características más ventajosas de *multicast* es el ahorro de ancho de banda. El servidor envía un único flujo del vídeo, y es el AP el que se encarga de replicarlo para enviarlo a los dispositivos que pertenecen al grupo *multicast* de la WLAN. Al comparar este resultado con el que se ha obtenido en la Fig. 4 y Fig. 5 queda bastante claro el ahorro en flujo de bits que se consigue al emplear un escenario *multicast*. Mientras que en los escenarios con varios clientes *unicast* se obtenían unos picos de tráfico transmitido de hasta 20-22 Mbps, en este caso el pico de tráfico máximo es de algo más de 8 Mbps en el instante $t = 43$ s aproximadamente.

IV. ANÁLISIS DE CAPACIDAD

En esta sección se va a realizar un análisis de la capacidad que ofrece el AP con algunos de los modos de transmisión implementados. Para este estudio, se ha empleado un vídeo capturado a través de una cámara de vídeo “Full HD” sobre un *agapornis* doméstico en su jaula. Tomando como base este vídeo, y realizando el procesamiento necesario, se han obtenido otras versiones del mismo con formatos y tasas de bit diferentes, pudiendo evaluar la calidad del vídeo recibido a través de la métrica de calidad objetiva PSNR de cada uno de los *frames* de una secuencia. Por último, con todos los datos disponibles, se realizará un estudio del número de usuarios que podrían recibir cada uno de los vídeos analizados en función del modo de transmisión configurado en el AP.

A. Procedimientos y resultados parciales

Obtención y procesamiento de los vídeos

En la tabla III se representan las características del vídeo capturado, coincidiendo tanto en resolución, espacio de color y profundidad de bits como en el submuestreo de la crominancia con las del vídeo de la Tabla II. El formato MTS es una extensión que identifica a un contenedor de vídeo AVCHD (*Advanced Video Coding High Definition*) [14], un formato basado en el códec MPEG-4 AVC. Como se observa en las características del vídeo original, es necesaria una gran tasa de bits (22,4 Mbps) para poder transmitir el vídeo. Como no siempre se dispone de esa capacidad para transmitir el vídeo, es necesario recodificarlo a otras tasas de bits más apropiadas para su transmisión. Para realizar la transcodificación de este vídeo se ha empleado el software “*ffmpeg*”. Para ello, como la cámara aplica compresión, en primer lugar, se ha descomprimido el vídeo, almacenándolo en formato YUV. A partir del vídeo descomprimido, se han realizado distintas compresiones del mismo a un formato también MPEG-4 AVC [15], pero de menor calidad.

El comando empleado para la descompresión del vídeo ha sido el siguiente:

```
ffmpeg -i timmylmin.MTS -c:v rawvideo -pix_fmt yuv420p timmylmin.yuv
```

Básicamente lo que se realiza es la descompresión del vídeo original “*timmylmin.MTS*” a un archivo “*timmylmin.yuv*” [16]. Para volver a comprimir el vídeo se ha empleado el siguiente comando:

```
ffmpeg -f rawvideo -s:v 1920x1080 -r 25 -i timmylmin.yuv -c:v libx264 -crf30 timmylmin.mp4
```

El método *crf* (*Constant Rate Factor*) permite al codificador definir el nivel de cuantificación, *Q*, que se va a aplicar durante el proceso de compresión. El rango de valores que puede tomar *Q* está entre 0 y 51, donde 0 es una configuración sin pérdidas, 23 es la opción por defecto y 51 define la máxima compresión posible [9]. El vídeo original se ha comprimido con 4 valores de *Q* diferentes (23, 30, 37 y 51), generando cuatro vídeos comprimidos cuyas características se muestran en la Tabla IV.

TABLA III
INFORMACIÓN DEL VÍDEO ORIGINAL DE LA SECCIÓN III

Formato	MTS (AVCHD)
Tamaño archivo	171 MB
Duración	1 min y 3s
Tasa de bits general	22,4 Mbps

TABLA IV
INFORMACIÓN DE LOS VÍDEOS COMPRIMIDOS

Q	Formato	Tamaño	Tasa de bits
23	MPEG-4 AVC	60 MB	7,86 Mbps
30	MPEG-4 AVC	19,2 MB	2,52 Mbps
37	MPEG-4 AVC	7,16 MB	0,939 Mbps
51	MPEG-4 AVC	1,59 MB	0,209 Mbps

TABLA V
TASA MEDIA, TASA MÁXIMA Y PSNR DE LOS VÍDEOS COMPRIMIDOS

Q	Tasa Media	Tasa Máx.	PSNR (dB)
23	7,6 Mbps	12,5 Mbps	41,7
30	2,5 Mbps	4,9 Mbps	38,5
37	0,92 Mbps	1,7 Mbps	35,2
51	0,21 Mbps	0,34 Mbps	29,4

Como se puede observar, a medida que se aumenta la cuantización (*Q*), el *bitrate* resultante va disminuyendo. Para medir las pérdidas introducidas en el proceso de compresión, se ha empleado una función de MATLAB [17] que calcula el valor de la métrica de calidad Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) de un vídeo con respecto a otro, realizando el cálculo *frame a frame* [18]. Esta función sólo permite realizar el cálculo de este parámetro con dos vídeos en formato YUV. Por lo que, antes de nada, se ha tenido que emplear nuevamente el software “*ffmpeg*” para la descompresión del vídeo comprimido.

Los resultados obtenidos en cuanto a PSNR (dB) se pueden consultar en la Tabla V, observándose cómo disminuye la calidad del vídeo reconstruido al aumentar la tasa de compresión.

Necesidades de *bitrate* más precisas de los vídeos

Hasta ahora hemos obtenido una estimación, mediante el software “*media-info*”, de las necesidades de ancho de banda de los vídeos tras realizar la compresión oportuna.

Para comprobar esto de una forma más precisa, es conveniente realizar una monitorización de la transmisión de los vídeos. Para ello, se ha dispuesto un escenario similar al de la Fig. 1(a), en donde se disponía de un único receptor y se empleaba la pila de protocolos RTSP/RTP/UDP *unicast*. El tráfico que se ha monitorizado es el flujo de bits transmitido por el servidor utilizando versiones del vídeo original comprimidas con los valores de Q propuestos anteriormente.

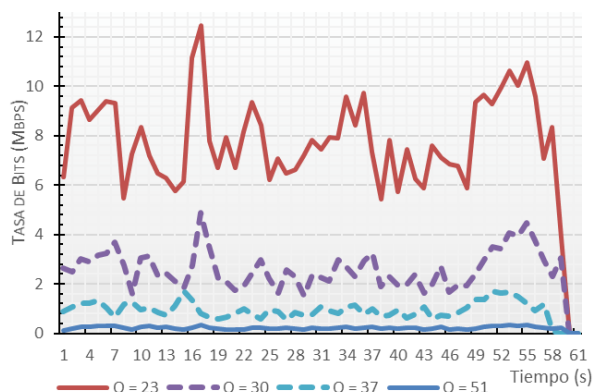


Fig. 7. Vídeos MPEG-4 AVC con diferentes calidades (Q)

En la Fig. 7 se muestra gráficamente la evolución de la tasa de bits transmitida por el servidor para cada una de las versiones comprimidas. De aquí se obtienen las tasas de bit media y máxima de cada vídeo comprimido (véase la Tabla V), siendo esta información relevante para el diseño de capacidad de una red o servicio en cuanto a número máximo de clientes.

TABLA VI
THROUGHPUT DE MCS'S COMPATIBLES CON 802.11N Y 802.11AC

Estándar	MCS	Spatial Streams	Mbps Datasheet	Mbps jperf
802.11n	0	1	6,5	5
802.11n	2	1	13	10,3
802.11n	4	1	39	20
802.11n	6	1	58,5	38,5
802.11ac	0	1	29,3	28,5
802.11ac	2	1	87,8	73,6
802.11ac	4	1	175,5	76,1
802.11ac	7	1	292,5	77
802.11ac	1	3	175,5	132,1

Capacidad de los modos de transmisión (MCS) del AP

En este apartado, vamos a comprobar la tasa máxima de bits permitida por cada uno de los modos de transmisión del AP. Los modos de transmisión del AP, también llamados “*Modulation and Coding Schemes* (MCS’s)”, definen la tasa máxima de transmisión y la robustez ante errores en la comunicación. Cuanta más tasa de bits, menos protección ante errores, y viceversa.

Los fabricantes de AP’s suelen aportar una tabla con la información de las tasas que soportan cada uno de los MCS’s compatibles con sus dispositivos. Sin embargo, normalmente no suelen adaptarse a todos los casos y factores influyentes [19]. Para comprobar esta tasa máxima real, se ha empleado el software “*jperf*”. Como en este trabajo se ha analizado el rendimiento de los estándares 802.11n y 802.11ac, se ha realizado una

comprobación de la capacidad de algunos modos de transmisión del AP compatibles con dichas normas. En la Tabla VI se pueden consultar los resultados obtenidos.

B. Resultados finales y análisis de los mismos

Estimación del número máximo de clientes

Una vez obtenida la información asociada a los vídeos comprimidos sobre su tasa máxima y media, y recogidos los datos correspondientes a las tasas permitidas por cada uno de los MCS del AP, estamos en disposición de realizar una estimación de capacidad en cuanto a número de clientes. Para el estimador vamos a emplear la expresión (1), que se propone en [20].

$$N^{\circ} \text{ Clientes} = \frac{\text{Throughput}_{AP} * N^{\circ} APs}{\text{Video}_{\text{Bitrate}}} \quad (1)$$

Donde “*N° APs*”, en este caso, es igual a 1. La variable “*Throughput_{AP}*” se sustituye por el valor real de *throughput* obtenido en el apartado anterior. El valor de “*Video_{Bitrate}*” ha de sustituirse por el valor de la tasa máxima o media de los vídeos. Los resultados obtenidos, haciendo uso de la ecuación (1), son los siguientes:

TABLA VII
N° MÁXIMO DE CLIENTES ESTIMADOS PARA 2,4 GHZ Y 5 GHZ (80 MHZ Y 1SS) SEGÚN MCS, Q Y TASA MÁX.Y/O MEDIA DE VÍDEO

IEEE	MCS	Tasa	Q=23	Q=30	Q=37	Q=51
802.11n	0	Máx.	0	1	3	15
802.11n	2	Máx.	1	2	6	30
802.11n	4	Máx.	2	4	12	59
802.11n	7	Máx.	3	8	23	113
802.11n	0	Med.	1	2	5	24
802.11n	2	Med.	1,3	4	11	49
802.11n	4	Med.	2	8	22	95
802.11n	7	Med.	5	15	42	183
802.11ac	0	Máx.	2,2	6	17	84
802.11ac	2	Máx.	6	15	43	216
802.11ac	4	Máx.	6	16	45	224
802.11ac	7	Máx.	6	16	45	226

En ambos estándares, a medida que aumenta el índice del MCS, aumenta la tasa máxima de transmisión y, por tanto, el número máximo de clientes que pueden ser atendidos. Adicionalmente, a medida que se disminuye la calidad del vídeo comprimido, el número de usuarios, que podrían visualizarlo simultáneamente en la WLAN, aumenta.

Comprobación práctica de la estimación de capacidad

En este apartado se va a comprobar de una forma práctica, los resultados en cuanto a número de clientes máximos que se han obtenido en el apartado anterior. Para ello, se van a definir dos escenarios:

- Escenario 1: 802.11n, MCS0, Q=30, 2 clientes.
- Escenario 2: 802.11n, MCS2, Q=23, 2 clientes.

Los resultados obtenidos en ambos escenarios se muestran en la Fig. 8 y la Fig. 9.

En la Fig. 8 podemos observar tres curvas. Dos de ellas se corresponden con el tráfico recibido por los dos clientes: “*crf 30 Rx 2.4G PC L.*” (Portátil Lenovo) y

“crf 30 Rx 2.4G PC HP” (Portátil HP). Y la otra se corresponde con el tráfico inyectado por el servidor: “crf 30 Tx” (Portátil Samsung).

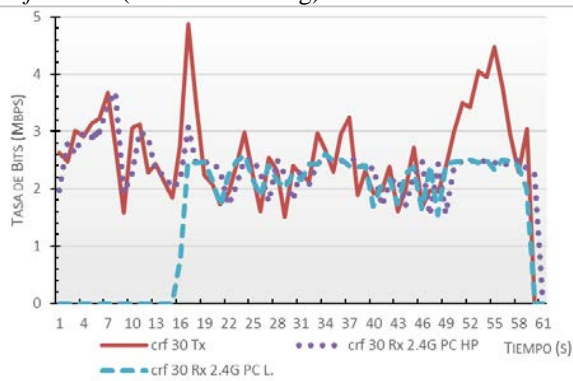


Fig. 8: Gráfica escenario 1

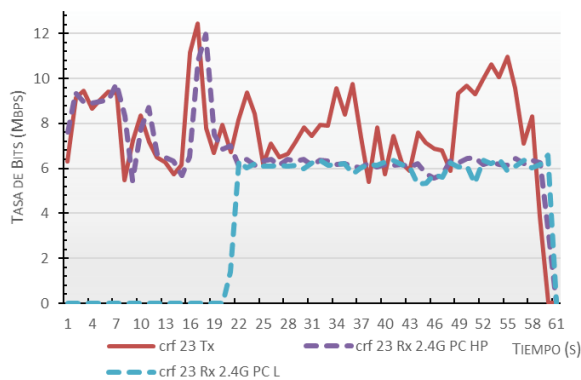


Fig. 9: Gráfica escenario 2

Como se puede ver en la Fig. 8, al principio sólo está activo el portátil HP y vemos cómo es capaz de ir recibiendo el tráfico correctamente desde el comienzo hasta el instante $t = 17$ s. Según la estimación realizada, en este escenario, un único cliente es capaz de recibir este vídeo con esta calidad, tanto con su tasa media como con su tasa máxima.

A partir del instante $t = 17$ s., el segundo cliente entra en funcionamiento, recibiendo también el vídeo. Desde ese instante hasta el final, ambos usuarios reciben el vídeo correctamente, cuando el servidor envía tráfico a una tasa cercana a la media (2,5 Mbps). Sin embargo, en los picos más pronunciados de tráfico, los receptores no son capaces de recibirlo a esa tasa. Según la estimación realizada, el resultado obtenido en la práctica es coherente. Dos usuarios pueden recibir el vídeo en su tasa media, pero sólo uno es capaz de recibir el vídeo correctamente en su tasa máxima.

En la Fig. 9 también observamos los mismos ítems en la leyenda, correspondientes a los mismos elementos que en la Fig. 8. Sin embargo, en este caso se ha empleado el vídeo comprimido con $Q=23$. Al principio, el único dispositivo que está recibiendo el vídeo es el portátil HP. Desde el comienzo hasta el instante $t = 22$ s, este cliente es capaz de recibir el vídeo correctamente. Situación coherente, según la tabla VII. A partir del $t = 22$ s, el segundo cliente se activa en la recepción del vídeo, y vemos cómo el tráfico recibido se satura a 6 Mbps para ambos clientes activos. Según la información de la tabla VII, en el escenario 2, menos de dos clientes (1,3) son capaces de recibir el vídeo, según la tasa media del vídeo (7,6 Mbps). Esta situación, también se ve

reflejada en la práctica, por lo que, en estos dos escenarios, se ha validado la estimación de capacidad realizada en el apartado anterior.

V. ANÁLISIS DE QoS

En esta sección se van a presentar las pruebas realizadas y analizar los resultados obtenidos con respecto a la calidad de servicio (QoS) configurada en el AP de la WLAN. La QoS es un aspecto muy importante para el correcto funcionamiento de una transmisión de tráfico de vídeo. Este tipo de tráfico requiere unas tasas de transmisión medias y máximas disponibles en su transporte desde el origen hasta el destino. La correcta configuración de la QoS puede aportar al *stream* de vídeo el ancho de banda que precisa en un escenario de red congestionada. El AP empleado en este trabajo, permite aplicar ciertos mecanismos de QoS a cierto tipo de tráfico, que se van a analizar en esta sección.

A. Procedimientos

Escenario de QoS con doble banda de frecuencia

En este escenario se ha explotado la posibilidad que ofrece el AP de transmitir y recibir en dos bandas de frecuencia diferentes: 2,4 y 5 GHz. Se van a disponer de dos versiones de este escenario. En la versión 1, se transmiten dos flujos de tráfico diferentes empleando la misma banda de frecuencia (2,4 GHz) con un MCS=0. Un flujo de tráfico se corresponde con un servicio FTP, y el otro flujo corresponde con el *streaming* de uno de los vídeos obtenidos en la sección anterior ($Q=30$). En la versión 2, se transmiten los mismos flujos que en la versión 1, pero en este caso cada uno de ellos por una banda de frecuencias diferente. El *stream* de vídeo se va a transmitir por la banda de 2,4 GHz y el flujo FTP a través de la banda de 5 GHz.

Escenario de aplicación de QoS a un cliente

En este caso, tanto en el servidor como en el propio AP, se aplica una configuración de prioridad para los paquetes de un determinado flujo. Para ello, se utilizará el campo DSCP (*Differentiated Services Code Point*) [21] definido en la cabecera de los paquetes IP del flujo de paquetes al que se le quiere asignar una prioridad.

La modificación del valor de DSCP se ha realizado mediante una directiva configurable en Windows. Con ella se ha podido configurar un valor de DSCP a los paquetes que cumplían determinados requisitos. En este caso, únicamente se ha utilizado como condición de modificación, una dirección IP de destino concreta (192.168.1.4/32). Esta dirección se corresponde con la asociada a la interfaz 802.11n del “Portátil HP”. El valor seleccionado para el campo DSCP ha sido “8”.

A continuación, ha sido necesaria la configuración de la prioridad en el AP [9]. Se ha definido un perfil de prioridad, y posteriormente se ha asignado a alguna de las interfaces del AP, tanto al tráfico entrante como al saliente. Este AP tiene definidos hasta 8 niveles de prioridad. Desde el 0 hasta el 7. Cuanto mayor es el nivel, mayor es la prioridad que asigna. La definición de un perfil de prioridad consiste en relacionar un valor de DSCP concreto de los paquetes que fluyen por el AP, a un nivel de prioridad. En este caso se ha realizado la

siguiente definición del perfil: paquetes con DSCP = 8, tienen un nivel de prioridad de 6. Y paquetes con DSCP = 0, tienen un nivel de prioridad de 1.

En este escenario, como servidor se ha empleado el “Portátil Samsung” conectado a través de Ethernet al AP. Se han incluido dos clientes activos a través de la interfaz 802.11n, con un MCS0 configurado. Y el *stream* de vídeo se ha comprimido con $Q=30$.

Escenario de aplicación de QoS a un servicio

En este escenario, se ha realizado una configuración de QoS similar al caso anterior. La única diferencia es que la condición para modificar el campo DSCP a 8, no es una IP destino, si no la selección de una determinada aplicación (vlc.exe). La prioridad ha sido configurada de la misma manera en el AP.

Para este escenario, se ha precisado de un tráfico adicional que actúe como tráfico de fondo, para verificar el efecto de aplicar la prioridad sobre un *stream* de vídeo cuando hay otro tráfico presente en la WLAN. Se ha utilizado una aplicación FTP (*Filezilla*) para generar un tráfico de fondo. El escenario objeto de análisis, ha tenido como servidor de *streaming* de vídeo y de FTP al “portátil Samsung”. El cliente de ambos servicios es el “portátil HP”. El MCS0 es el modo de transmisión configurado. El objetivo es monitorizar en primer lugar el tráfico FTP únicamente, y después iniciar la transmisión de un *stream* de vídeo con prioridad para comprobar cómo conviven ambos tráficos.

B. Resultados y análisis de los mismos

Escenario de QoS con doble banda de frecuencia

En la Fig. 10 observamos 3 ítems en la leyenda. El primero de ellos es “FTP Rx 2.4 GHz”, y se corresponde con el tráfico FTP recibido a través del interfaz de 2,4 GHz de un cliente. El segundo ítem, “Video Rx 2.4 GHz”, corresponde con el tráfico del *stream* de vídeo que se ha recibido en la interfaz de 2,4 GHz de otro cliente. Por último, el ítem “crf 30” se corresponde con el tráfico del vídeo con $Q=30$ que aparece en la Fig. 7.

Al principio de la monitorización, observamos únicamente tráfico FTP, recibido por uno de los clientes. Alrededor del instante $t = 73$ s, comienza la transmisión del vídeo hacia otro cliente. Observamos cómo en los primeros instantes, el tráfico FTP hace uso de toda la capacidad del enlace (4 Mbps), hasta que comienza a transmitirse por el medio inalámbrico el *stream* de vídeo. En ese momento, se realiza un reparto entre ambos tráficos del ancho de banda disponible, prácticamente al 50% (2 Mbps). Como se puede observar, la tasa de recepción de bits experimentada por el *stream* de vídeo, no es capaz de seguir las tasas máximas necesarias para una correcta recepción y reproducción del vídeo en destino.

En el caso de la Fig. 11, el tráfico que aparece en la leyenda como “FTP Rx 5GHz” es el flujo de bits FTP recibido mediante el canal inalámbrico de 5 GHz. En concreto, está siendo recibido por el dispositivo USB Dual-Band con el cual se pueden obtener tasas de transmisión muy elevadas. Por su parte, los otros dos ítems, tienen un factor de multiplicación de 10 para que se puedan apreciar en la gráfica. Como se puede apreciar, el tráfico FTP obtiene una elevada tasa de bits

(entre 20 y 130 Mbps) sobre la banda de 5 GHz. Y, por otro lado, el flujo de vídeo que se está transmitiendo a través del canal 802.11n, “Video Rx 2.4 G (x10)”, obtiene una tasa de bits equivalente a la que exige el vídeo “crf 30 (x 10)” para su correcta visualización.

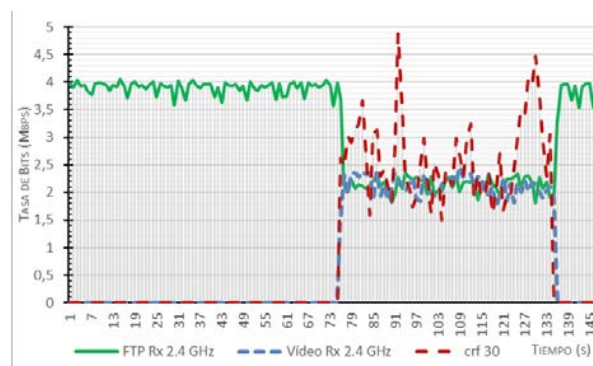


Fig. 10. Gráfica de tráfico recibido en banda única (2,4 GHz)

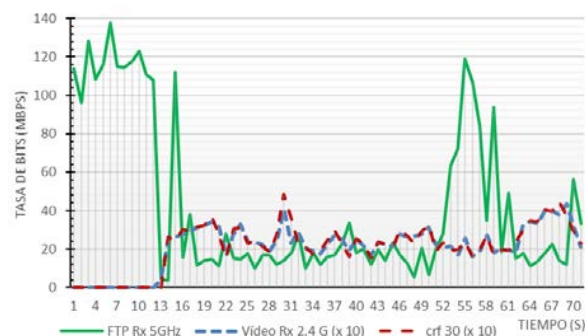


Fig. 11. Gráfica de tráfico recibido en doble banda

De esta forma se observa la posibilidad de aprovechamiento de los recursos de capacidad que ofrecen los AP compatibles con dos bandas de frecuencia. Por una banda, se pueden estar transmitiendo unos determinados servicios, y por la otra banda otro tipo de aplicaciones, en función de las necesidades.

Escenario de aplicación de QoS a un cliente

En la Fig. 12 se muestran 3 curvas. La curva “crf 30” muestra, como referencia, las necesidades del tráfico del vídeo. La curva “DSCP 0 Rx” se corresponde con el vídeo recibido por el cliente sin prioridad. Y la curva “DSCP CSI Rx” muestra el tráfico del vídeo recibido por el cliente con QoS configurada.

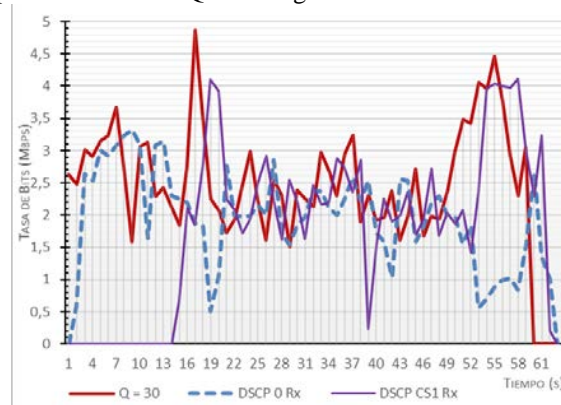


Fig. 12. Resultados escenario QoS a cliente

Al principio de la monitorización, únicamente está recibiendo el vídeo el usuario sin prioridad. Vemos cómo, hasta el instante $t = 13$ s, es capaz de seguir los picos de tráfico correctamente con un poco de retardo por la transmisión. Sin embargo, cuando el cliente con prioridad, comienza a recibir el flujo de vídeo, ya no sucede lo mismo. En las zonas marcadas, se puede verificar cómo el usuario con prioridad es capaz de obtener la tasa de bits necesaria en detrimento del cliente con menos prioridad. Con esto, se verifica que funciona correctamente la configuración de QoS en las interfaces del AP, en este caso aplicando prioridad a un determinado cliente. Lo cual, es interesante en un determinado escenario de WLAN donde se aplique QoS a determinados clientes que han pagado por un servicio diferenciado (Premium).

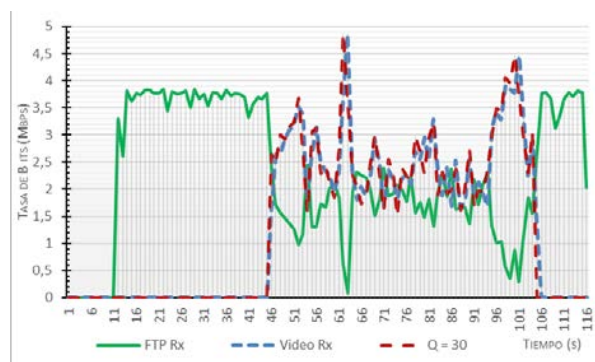


Fig. 13. Gráfica del escenario QoS a un servicio

Escenario de aplicación de QoS a un servicio

En la Fig. 13 se distinguen dos situaciones. La primera refleja un intervalo de tiempo, en el cual, el cliente sólo recibe tráfico FTP, mientras que en la segunda situación se muestra la convivencia del flujo de vídeo y del tráfico de fondo FTP. En esta última, se puede verificar que la QoS está aplicándose correctamente. Cuando ha existido en ese intervalo un pico de tráfico de vídeo, se observa cómo el flujo de bits FTP ha disminuido considerablemente su tasa. Con lo cual, podemos decir que el tráfico de fondo de FTP es transparente para el flujo de vídeo, gracias a la QoS definida en el AP.

Este escenario puede ser implementado en alguna WLAN donde se quiera aplicar prioridad a un determinado servicio sobre otro. En este caso, se ha aplicado prioridad al *streaming* de vídeo sobre el tráfico FTP.

VI. CONCLUSIONES

En este documento se ha realizado un análisis del rendimiento de una WLAN ante la transmisión de diferentes flujos de vídeo en distintos escenarios. El *streaming* de vídeo se ha realizado mediante el software *VideoLAN Client* (VLC). Para el análisis de rendimiento, se ha dispuesto de un AP Cisco *Aironet 2702* y de diferentes dispositivos inalámbricos compatibles con los estándares 802.11n y algunos de ellos con 802.11ac.

En la sección III, se ha comprobado la conectividad que ofrece el AP a través de las diferentes interfaces que posee: Ethernet, 802.11n y 802.11ac. Asimismo, también se han empleado distintos protocolos para transportar el vídeo y así poder comprobar el rendimiento

experimentado con cada uno de ellos: RTP *unicast* (UDP), RTP *multicast* (UDP) y HTTP (TCP). En esta parte, se ha concluido que es conveniente emplear UDP para aplicaciones de *streaming* en tiempo real. Además, se han comprobado las ventajas que ofrece RTP *multicast* sobre RTP *unicast* en el ahorro del ancho de banda al ser suficiente la transmisión de un único *stream* de vídeo para todos los clientes.

En la sección IV, se ha realizado un análisis de capacidad. Para ello, se han obtenido diferentes versiones comprimidas (con diferentes calidades) de un vídeo grabado con una cámara Full HD. A continuación, se han comprobado las necesidades en cuanto a tasa de transmisión de esos vídeos comprimidos. Después, se han recogido datos sobre el *throughput* real de diferentes modos de transmisión del AP. Con esos datos, y empleando una estimación de capacidad, se ha obtenido el número de clientes teóricos para cada uno de los vídeos y los MCS's del AP. Al final, se han demostrado dos de los casos de estimación de capacidad de forma práctica.

En tercer lugar, en la sección V, se ha realizado un análisis desde el punto de vista de la QoS. En esta parte, se ha corroborado la ventaja que ofrece este AP de transmisión combinada a través de las bandas de 2,4 GHz y 5 GHz simultáneamente. De esta manera, aunque una banda esté saturada, si la otra tiene capacidad disponible, se puede balancear la carga de forma eficiente. Asimismo, se han analizado dos escenarios en los cuales se han realizado diversas configuraciones de QoS. Para ello, se ha modificado el campo DSCP de los paquetes IP con prioridad, de tal manera que el AP pudiera aplicar la QoS necesaria al tráfico de vídeo en las distintas interfaces. Se ha probado de esta manera, las posibilidades de aplicación de QoS, en escenarios donde se requiera aplicar prioridad a determinados clientes Premium, o simplemente a un servicio de *streaming* de vídeo, sobre otras aplicaciones presentes en la WLAN.

Como trabajo futuro, se propone definir un sistema de monitorización y toma de datos automatizado que permita realizar medidas en diferentes dispositivos de la WLAN con una sola base de tiempos. También está previsto la definición de escenarios más complejos en donde se pueda analizar con mayor detalle el uso de los diferentes mecanismos recogidos en este trabajo y otros por incluir (i.e. sistemas de recuperación y ocultación de errores).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente mediante el proyecto TIN2015-66972-C5-4-R y cofinanciado por fondos FEDER (MINECO/FEDER/UE).

REFERENCIAS

- [1] [1] "The Zettabyte Era — Trends and Analysis — Cisco". Disponible en la web: <http://www.cisco.com>
- [2] IEEE Std 802.11ac™-2013 IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications

- [3] Perahia, E., and R. Stacey. Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac. 2nd Edition. United Kingdom: Cambridge University Press, 2013.
- [4] VideoLan non-profit organization, "Video LAN – VLC Media Player". Disponible en <http://www.videolan.org/vlc/>
- [5] IETF RFC 2326, "Real Time Streaming Protocol – RTSP". Disponible en <http://www.ietf.org/rfc/rfc2326.txt>
- [6] IETF RFC 3550, "RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications". Disponible en <https://tools.ietf.org/html/rfc3550>
- [7] IETF RFC 2616, "HTTP: Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1", Disponible en <http://www.ietf.org/rfc/rfc2616.txt>
- [8] Wireshark: A network protocol Analyzer. Disponible en <https://www.wireshark.org/>
- [9] FFmpeg: A Multimedia coding and streaming framework. Disponible en <http://ffmpeg.org/>
- [10] Jperf: a simple performance and scalability testing framework for Java. Disponible en <https://sourceforge.net/projects/jperf/>
- [11] AP Cisco Aironet 2702 Datasheet: Disponible en <http://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-2700-series-access-point/datasheet-c78-730593.pdf>
- [12] "DHCP server configuration on the Cisco Aironet 1100 and 1200 series AP". Disponible en: <https://supportforums.cisco.com>
- [13] ZK Research. "The IoT Playbook for Wireless LAN". Noviembre 2015.
- [14] Sony and Panasonic Corporations, "AVCHD: Advanced Video Coding High Definition". 2006
- [15] ISO/IEC 14496-10 – Codificación de objetos audiovisuales- Parte 10 Codificación de video avanzada (AVC). 2009.
- [16] "timmy1min.yuv", Video HD capturado para este trabajo en formato YUV.
- [17] MATLAB –Entorno de programación, prototipado y desarrollo. Disponible en <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>
- [18] Pröfrock, Dima. "Function to compute the PSNR between two YUV video". 8 de diciembre de 2008. Disponible en: <https://es.mathworks.com>
- [19] Lewis, Paul. "19 Factors Affecting Wireless LAN Performance". 22 de abril de 2008. Disponible en: <http://www.itproportal.com>