

# Análisis de QoS empleando el Planificador de Referencia en HCCA

Camana Mario, Hidalgo Pablo, García Carla  
 Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica  
 Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito, Ecuador

**Resumen** – Se presenta un análisis de calidad de servicio empleando el planificador de referencia del método de acceso HCCA (HCF Controlled Channel Access). El estudio emplea tráfico de voz, video y datos mediante simulación en NS2, para lo cual establece parámetros para cada uno de estos tipos de tráfico y su respectiva especificación de tráfico (TSPEC). Se analizan los resultados comparando el rendimiento entre HCCA y DCF (Distributed Coordination Function) mediante las métricas de velocidad de transmisión, retardo extremo a extremo, porcentaje de pérdidas, porcentaje de colisiones y PSNR (Peak Signal Noise Ratio).

**Índices**–HCCA; Planificador de Referencia; CFP; TXOP limit; SI

## I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el uso de aplicaciones en tiempo real ha obligado a las redes de comunicación a implementar protocolos que permitan asegurar calidad de servicio (QoS) para este tipo de aplicaciones. El presente paper se enfoca en el análisis de QoS para una Wireless Local Area Networks (WLAN) de voz, video y datos basados en el mecanismo Hybrid Coordination Function Controlled Channel Access (HCCA) del estándar IEEE802.11e.

Los estándares IEEE para WLAN han evolucionado desde el IEEE802.11 hasta nuevos estándares IEEE 802.11n/ac/ad, los cuales presentan tecnologías cada vez más robustas y eficientes para satisfacer las necesidades de los usuarios. Sin embargo, para satisfacer una demanda de QoS no es suficiente el incremento de la velocidad de transmisión, sino que es necesario la implementación de mecanismos de acceso al medio que permitan asegurar que parámetros como retrasos de extremo a extremo, porcentaje de pérdida de paquetes, porcentaje de colisiones y otros parámetros no sobrepasen ciertos valores límites para el tráfico de aplicaciones en tiempo real.

El estándar IEEE 802.11 inicialmente define dos métodos de acceso al medio: DCF (Distributed Coordination Function) y PCF (Point Coordination Function). DCF es un método de acceso al canal mediante contención del medio inalámbrico y su funcionamiento se basa en CSMA/CA. Este método de acceso no prevé un nivel de QoS debido a

de prioridad; es decir, un paquete de voz y video será transmitido sin ningún privilegio sobre un paquete de datos, lo cual imposibilita el correcto funcionamiento de una aplicación en

tiempo real. Por otro lado, PCF nace como un mecanismo para aplicaciones en tiempo real y ofrece una transmisión de tramas libres de contención, para ello establece un Periodo Libre de Contención (CFP), e incorpora un nuevo elemento llamado Punto Coordinador (PC), que es el encargado de coordinar el acceso al medio para las estaciones y se encuentra localizado en el Punto de Acceso (AP). Sin embargo, PCF no permite dar prioridad a un tipo de tráfico y no tiene la capacidad de predecir ni controlar el tiempo de transmisión de una estación inalámbrica debido a que no limita la longitud de los paquetes.

Con el objetivo de solventar las limitaciones de QoS presentes en DCF y PCF nace el estándar IEEE802.11e, el cual ofrece niveles de prioridad para los flujos de tráfico. El presente paper se enfoca en el estudio del método de acceso HCCA (Hybrid Coordination Function Controlled Channel Access) definido en el estándar IEEE802.11e, para lo cual se realiza un análisis comparativo de QoS con el método DCF y HCCA, empleando un escenario de simulación con tráficos de voz, video y datos en una WLAN. Las métricas utilizadas para efectuar el presente análisis son la velocidad de transmisión, retardo extremo a extremo, porcentaje de pérdidas, porcentaje de colisiones y PSNR (Peak Signal Noise Ratio), mismas que serán presentadas en gráficos en función del número de flujos de tráfico. Existen estudios anteriores que respaldan los resultados obtenidos como el presentado en [7]; de igual forma los valores de los parámetros establecidos por defecto y las ecuaciones empleadas son definidas en la publicación oficial del estándar IEEE en [2].

## II. HCF CONTROLLED CHANNEL ACCESS

El mecanismo HCCA forma parte del estándar IEEE802.11e y proporciona mecanismos de acceso al medio que permiten diferenciar varios tipos de tráfico, con el objetivo de priorizar el acceso al medio para el tráfico en tiempo real.

HCCA centraliza su funcionamiento en el Coordinador Híbrido (HC) ubicado en el AP y establece un periodo libre de contención y un periodo de contención (CP). Durante el CFP el HC puede utilizar las tramas de beacon para evitar que las estaciones compitan por el medio y de esta manera permitir únicamente transmisiones de aquellas estaciones que recibieron un mensaje de polling. Durante el CP el HC contiente por el medio con un AIFS (Arbitration Interframe

M. Camana, es Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, (e-mail: mario.camana@epn.edu.ec).

P. Hidalgo, es Profesor Principal T/C en la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, (e-mail: pablo.hidalgo@epn.edu.ec).

C. García, es Ingeniera en Electrónica y Telecomunicaciones de la Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador, (e-mail: carla.garcia@epn.edu.ec).

que todos los flujos de tráfico son transmitidos sin un nivel

Space) igual a PIFS (PCF IFS), lo cual le permite tener prioridad de acceso al medio sobre las demás QSTAs (Estaciones con QoS).

El HC tiene la capacidad de transmitir una o más secuencias de intercambios de tramas consecutivas siempre que no se supere la duración del TXOP (Oportunidad de Transmisión), que es el tiempo que tiene una QSTA para efectuar su transmisión. De igual forma, una QSTA que recibe una polled TXOP está en la capacidad de transmitir una o más tramas siempre que no supere el límite del polled TXOP. El intervalo de tiempo entre tramas consecutivas cuando existen múltiples secuencias de tramas es de un SIFS (Short Inter Frame Space).

La Fig. 1 esquematiza una supertrama IEEE802.11e, conformada por un CFP y un CP. En esta figura un CAP (Fase de Acceso Controlada) es un intervalo de tiempo durante el cual el HC puede enviar tramas o transmitir mensajes de polling a una o más QSTAs y termina cuando el HC no reclama el medio después del final de una TXOP.

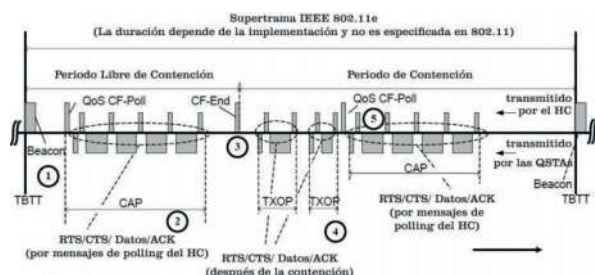


Fig. 1. Ejemplo de una supertrama IEEE 802.11e [1].

El CFP inicia cuando el HC reclama el control del medio con una trama de beacon y durante el cual puede enviar tramas o asignar polled TXOPs a una o más QSTAs y termina cuando el HC no reclama el medio después del final de una TXOP o mediante una trama CF-End. Durante el CP las QSTAs contenden por el acceso al medio para obtener una TXOP, el HC tiene prioridad para el control del medio y puede transmitir MSDUs (MAC Service Data Unit) o asignar polled TXOPs durante este periodo de contención. El HC también puede reclamar una polled TXOP concedida a una QSTA, si esta última no la utiliza o solicitó una finalización temprana de la TXOP.

La duración de la TXOP es determinada por el Planificador de Referencia del HC, la cual no debe superar el valor del TXOP limit. Este planificador de referencia utiliza cada flujo de tráfico admitido los parámetros definidos en el elemento TSPEC (Especificación de Tráfico), que tiene como parámetros principales a Mean Data Rate ( $\rho$ ) [bits/seg], nominal MSDU size ( $L$ ) [octetos] y Maximum Service Interval (MSI) [microsegundos].

En HCCA se define al Periodo de Servicio (SP) como el tiempo durante el cual se garantiza a una QSTA que transmita una o más tramas de y/o uno o más polled TXOPs; entre cada inicio de un SP existe un intervalo de tiempo fijo denominado Intervalo de Servicio (SI).

En lo referente al establecimiento del TXOP, el primer paso que realiza el planificador de referencia es escoger el mínimo de todos los SI máximos entre todos los flujos admitidos, este valor mínimo será  $m$ . Después el planificador elige un número menor que  $m$ , pero que sea el submúltiplo mayor del intervalo de beacon, este valor será el SI planificado para todos las QSTAs con flujos admitidos.

El segundo paso es determinar durante un SI, cuántos MSDUs pueden ser recibidos a una velocidad promedio de datos, esto se lo realiza con la siguiente ecuación [2]:

$$N_i = \left\lfloor \frac{SI \cdot p_i}{L_i} \right\rfloor \quad (1)$$

Donde SI es el intervalo de servicio planificado;  $p_i$  es la velocidad promedio de datos obtenida del campo Mean Data Rate del elemento TSPEC;  $L_i$  es el tamaño nominal del MSDU obtenido del campo Nominal MSDU Size del elemento TSPEC.

Como tercer paso se calcula la duración de la TXOP para cada flujo de tráfico admitido, con la siguiente ecuación [2]:

$$TXOP_i = \max \left( \frac{N_i \cdot L_i}{R_i} + O, \frac{M}{R_i} + O \right) \quad (2)$$

Donde  $R_i$  es la velocidad de transmisión física de los datos,  $M$  es el tamaño máximo posible de una MSDU y  $O$  es el overhead en la unidad de tiempo, que incluye IFSs, tramas ACK y tramas CF-Poll.

En la Fig. 2 se ilustra un ejemplo de establecimiento del SI, en la cual el SP se utiliza para otorgar una polled TXOP en el CFP. Cada flujo de tráfico que tenga un TSPEC asociado al mismo, tiene un slot de tiempo fijo (TXOP) durante el CFP y debe esperar un intervalo de tiempo igual a un SI para su siguiente oportunidad de transmitir. Esto permite que se trate por igual a todos los flujos que tengan un TSPEC, porque cada uno de ellos tiene su slot de tiempo para transmitir; sin embargo, como se observa en la Fig. 2, la cantidad de TXOPs que pueden ser asignados se limita al valor del SI y a la duración de los diferentes TXOPs.

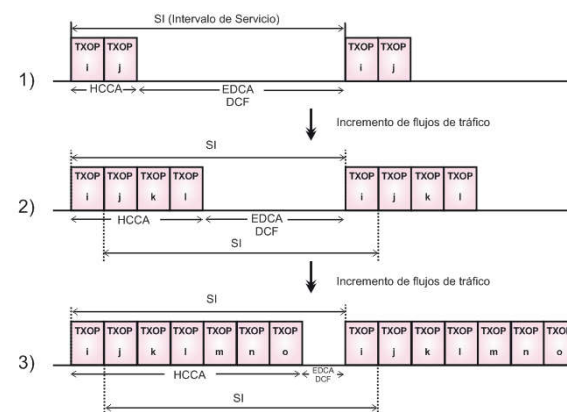


Fig. 2. Ejemplo del funcionamiento del Planificador de Referencia en HCCA [3].

En la Fig. 3 se presenta el comportamiento del retardo promedio de los flujos de voz y video en función del SI, obtenido mediante simulaciones incrementando el valor del SI y calculando el retardo promedio con un número máximo de flujos admitidos. Se concluye que a medida que incrementa el valor del SI aumenta también el retardo para los flujos de voz y video llegando a alcanzar valores inadmisibles para un tráfico con QoS. Los picos de retardo observado a específicos valores de SI se basan en (2) y (1); es decir, el valor de TXOP permanecerá constante en un rango de valores de SI debido a que  $N_i$  es un entero. Esto ocasiona que mientras incrementa el valor de SI, aumenta el tiempo entre cada transmisión de un flujo de tráfico (véase Fig. 2), provocando altos retardos. Al continuar con el incremento del SI, el valor de  $N_i$  alcanza el siguiente valor entero, con lo cual incrementa el valor de TXOP para el flujo de tráfico. Esto último permite transmitir más cantidad de tramas consecutivas durante el TXOP asignado, compensando el retardo ocasionado por el SI.

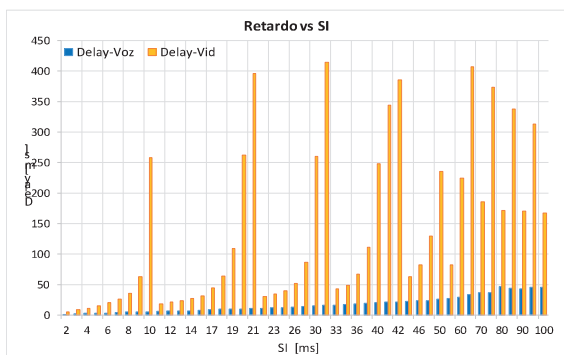


Fig. 3. Retardo de los flujos de voz y video en función del SI.

La Fig. 4 ilustra el número de flujos de voz y video admitidos en función del SI, donde se observa que el HC puede admitir una mayor cantidad de flujos a medida que el SI incrementa; sin embargo, esto provoca incremento en el retardo. Por lo tanto, se debe llegar a un acuerdo entre el número de flujos admitidos y el retardo máximo permitido para cada tipo de tráfico.

Como se mencionó anteriormente el HC puede solamente aceptar un número limitado de flujos de tráfico, lo que obliga al planificador de referencia a implementar un control de admisión para asegurarse que todos los flujos admitidos tengan un adecuado valor de TXOP para su QoS.

El primer paso que realiza el HC para decidir si acepta un nuevo flujo, es calcular el valor de la variable  $N_i$  y el valor de la duración de la TXOP para el flujo en mención, con el procedimiento indicado en (2). Como segundo paso el HC aplica la siguiente desigualdad y aceptará el nuevo flujo si

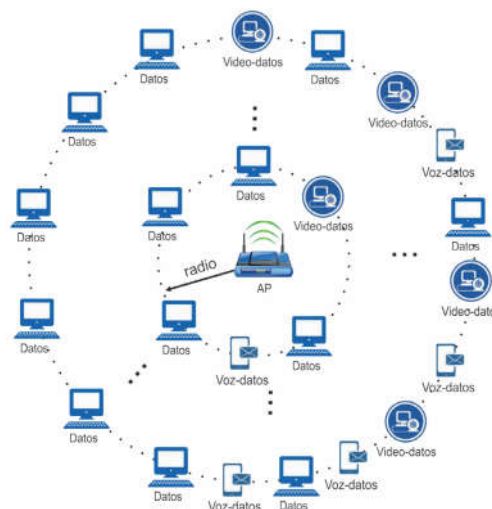
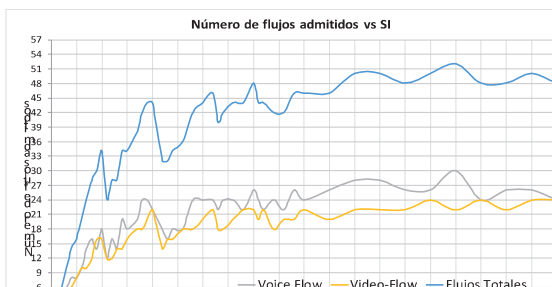


Fig. 5. Representación de la topología física.

cumple la misma.

$$\frac{TXOP_{k+1}}{SI} + \sum_{i=1}^k \frac{TXOP_i}{SI} \leq \frac{T - T_{CP}}{T} \quad (3)$$

Donde  $k$  es el número de flujos admitidos;  $k+1$  es el identificador del nuevo flujo que solicitó un control de admisión;  $T$  es el intervalo de beacon;  $T_{CP}$  es el tiempo utilizado para el acceso mediante el mecanismo EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) o DCF.

### III. MODELO DE SIMULACIÓN

Para el desarrollo de las simulaciones se emplea el simulador de redes NS2. Los tráficos de voz, video y datos serán utilizados para analizar los resultados obtenidos mediante los métodos de acceso HCCA y DCF (sin QoS).

La topología empleada en las simulaciones se presenta en la Fig. 5 y consta de un único AP con estaciones inalámbricas localizadas en forma circular alrededor del AP. A medida que incrementa el número de estaciones, éstas se ubican de forma concéntrica y se alejan más del AP. Las estaciones de video y voz transmiten también tráfico de datos, existiendo dos estaciones de voz-datos en movimiento durante la simulación. Cada tipo de tráfico genera un flujo de uplink y downlink y son establecidos desde las STAs hacia el AP y viceversa.

La distribución del número de estaciones de voz-datos, video-datos y datos se expone en la Tabla 1.

TABLA I.  
DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE ESTACIONES

	QSTAs voz-datos	QSTAs video-datos	STAs datos	Total de STAs	Radio	Total de flujos
1	1	1	3	5	20	14
2	2	1	3	6	20	18
3	2	2	4	8	20	24
4	Mov. 1 3	2	5	10	30	30
5	3	3	6	12	30	36
6	4	3	7	14	30	42
7	4	4	8	16	30	48
8	Mov. 2 5	4	9	18	30	54
9	5	5	10	20	30	60

En esta tabla, el campo “Total de flujos” se basa en la descripción del párrafo anterior; por ejemplo, para la variante 2 se tienen dos estaciones de voz-datos, con lo cual se generan 2 flujos de voz (downlink y uplink) y 2 flujos de datos (downlink y uplink) por cada estación voz-datos; de igual forma se realiza para las estaciones video-datos y de solo datos, para finalmente obtener el total de flujos con la suma de todos estos flujos. El campo radio determina a qué distancia del AP se ubica cada estación.

Para la emulación del método de acceso HCCA se utiliza el parche desarrollado por la Universidad de Pisa [4]. La simulación del tráfico de voz emplea el parche creado por también por la Universidad de Pisa en Italia [5], el mismo que emula conversaciones reales utilizando VoIP (Voz sobre IP).

Para el tráfico de video se hace uso del parche Evalvid [6], mismo que es una herramienta que se utiliza en la evaluación del tráfico de video real en redes de comunicaciones. Por último, para el enrutamiento inalámbrico se utiliza el parche NOAH (No Ad-Hoc Routing Agent), el cual permite comunicaciones directas entre nodos inalámbricos o desde estaciones base a nodos inalámbricos y viceversa.

La subcapa MAC y capa Física que se utiliza es la definida para el estándar IEEE 802.11g con una modulación DSSS-OFDM de preámbulo corto. En la Tabla 2 se resumen los parámetros principales utilizados para la configuración de la capa Física y la subcapa MAC.

Para la simulación del modelo de tráfico de datos se utiliza el agente de capa transporte TCP Newreno con una aplicación FTP. El tamaño de paquete se fija en 1512 bytes, la velocidad de transmisión downlink en 825.33 kbps y la velocidad de transmisión uplink en 412.67 kbps.

Los parámetros principales utilizados para el elemento TSPEC en el tráfico de voz y video se exponen en la Tabla 3. El códec utilizado para el tráfico de voz es el G.711 con una longitud total del Payload de VoIP de 160 bytes debido a una agregación de dos tramas VoIP.

TABLA II.  
CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA FÍSICA Y SUBCAPA MAC

Capa Física		Subcapa MAC	
Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Frecuencia	2.412 GHz	SlotTime	9 us
Pot. de Tx	100 mW	DIFS	28 us
CSThresh	1.2589e-11	SIFS	10 us
RXThresh	2.0437e-10	PreambleLength	72 bits
CPThresh	1000000	PLCPHeaderLength	48 bits
Bandwidth	54 Mbps	PLCPDataRate	2 Mbps
		basicRate	24 Mbps
		dataRate	54 Mbps
		RTSThreshold	4096 bytes

TABLA III.  
CARACTERÍSTICAS DE LA CAPA FÍSICA Y SUBCAPA MAC

Parámetros del TSPEC	Voz	Video
Tamaño nominal del MSDU [byte]	203	1055
Tamaño máximo del MSDU [byte]	203	1055
Intervalo de servicio máximo [seg]	0.03	0.015
Velocidad promedio de datos [bps]	81200	768000
Retardo límite [seg]	0.150	0.100

La fuente del video seleccionado es el archivo “akiyo\_cif.yuv” de resolución 352x288 (CIF - Common Intermediate Format), el cual fue comprimido con el método MPEG4 y adaptado para ser utilizado por NS2.

#### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la presente sección se analizan los resultados obtenidos en las simulaciones, para lo cual se utiliza como métricas de medición el retardo promedio, la velocidad de transmisión efectiva, el porcentaje de pérdida de paquetes, el porcentaje de colisiones y el PSNR (Peak Signal Noise Ratio) para los tráficos de voz, video y datos. Se analizan únicamente los flujos en dirección downlink, debido a que la cola de los paquetes en el AP facilita el análisis del rendimiento entre HCCA y DCF.

##### A. Velocidad de Transmisión Efectiva

La velocidad de transmisión efectiva se analiza mediante los agentes UDP y TCP a nivel de capa Transporte y se ilustra en la Fig. 6. En la mencionada figura se observa que HCCA ofrece velocidades de transmisión superiores a DCF para el tráfico de voz y video; esto debido a que DCF no dispone de un mecanismo de distinción del tipo de tráfico y ofrece el mismo tratamiento a todos los tipos de tráfico, lo que provoca que, incrementen las colisiones y el número de paquetes perdidos al incrementar el número de estaciones que contienen por el medio inalámbrico, disminuyendo la velocidad de transmisión efectiva.

Además, en DCF el AP para dirección downlink transmite en igualdad de condiciones a todos los paquetes presentes en el buffer y al incrementar el número de estaciones se produce un descarte de paquetes de voz y video porque se satura el buffer o debido a que se supera el tiempo máximo permitido para realizar la transmisión de la MSDU. HCCA por su parte proporciona un nivel de prioridad a los flujos de voz y video sobre el resto de flujos en el BSS. El planificador de referencia de HCCA establecido en el HC realiza asignaciones de slots de tiempo a cada flujo de voz y video en base a los TSPECs de cada flujo de tráfico, con lo cual cada flujo tiene su tiempo para transmitir durante el CFP (véase Fig. 2).

La velocidad de transmisión en HCCA y DCF para el flujo de datos disminuye a medida que incremente el

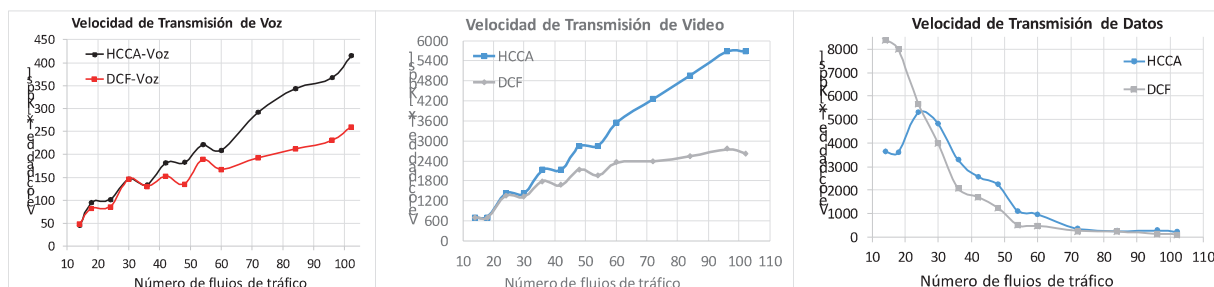


Fig. 6. Velocidad de transmisión para los tráficos de voz, video y datos utilizando los métodos de acceso HCCA y DCF



número de estaciones. En HCCA los flujos de datos no disponen de un TSPEC, por lo cual los paquetes de datos son transmitidos durante el periodo de contención y este periodo se ve reducido a medida que incrementan el número de flujos de voz y video. En DCF se debería observar un mismo comportamiento entre los flujos de datos, voz y video porque no se realiza una distinción del tipo de tráfico; sin embargo, esto no ocurre debido al control de congestión de TCP, el mismo que reduce el número de segmentos que el transmisor puede enviar (sin la recepción de un acuse de recibo) a medida que se incrementa el número de colisiones y paquetes perdidos.

### B. Retardo Extremo a Extremo

El retardo extremo a extremo corresponde a la diferencia entre el tiempo de recepción en la capa Transporte de la estación destino y el tiempo de transmisión en la capa Transporte de la estación origen. La Fig. 7 presenta el retardo extremo a extremo para los tres tipos de tráfico estudiados, donde el retardo de voz para el método de acceso HCCA no supera los 8 ms y el retardo para video está alrededor de los 30 ms, valores que están por debajo de los límites de retardo establecidos en la Tabla 3. Sin embargo, en DCF el retardo alcanza valores muy superiores a los límites antes mencionados y presenta un incremento de forma exponencial para el tráfico de voz y video a medida que aumentan el número de estaciones.

En DCF el AP tiene que enviar varios paquetes de voz y video a diferentes estaciones y al no poseer niveles de prioridad, cada paquete de voz y video tendrá que esperar su turno entre un conjunto de paquetes de voz, video y datos. En HCCA el planificador de referencia asegura un slot de tiempo para cada flujo de voz y video; sin embargo, tiene que esperar un intervalo de tiempo igual a un SI para su siguiente oportunidad de transmisión. El valor del SI es fijo y se ilustra en la Fig. 2 y es el responsable de que el valor de retardo experimentado por los flujos de voz y video sea un valor constante, debido a que un flujo con un TSPEC debe

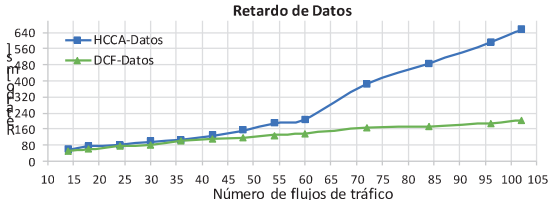
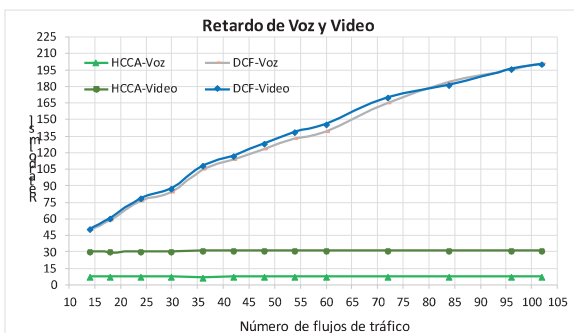


Fig. 7. Retardo para los tráficos de voz, video y datos utilizando los métodos de acceso HCCA y DCF

esperar un SI para su siguiente transmisión sin importar el

número de estaciones asociadas al HC.

Para el tráfico de datos se observa que el método de acceso HCCA presenta un retardo de alrededor 3 veces superior al observado en DCF desde los 60 flujos. En HCCA como se mencionó en el ítem anterior los datos, sin un TSPEC asociado, se transmiten en el periodo de contención, cuya duración se reduce a medida que incrementan los flujos de voz y video.

### C. Porcentaje de Pérdida de Paquetes

El porcentaje de pérdida de paquetes se calcula mediante la relación entre los bytes perdidos sobre los bytes transmitidos, y analizado a nivel de la capa Transporte.

En aplicaciones VoIP se admite como límite tolerable hasta un 3% en el porcentaje de pérdida, mientras que para una videoconferencia de alta calidad este porcentaje no debe superar el 2%. En la Fig. 8 se ilustra el porcentaje de pérdida de paquetes para los tres tráficos estudiados, donde se puede observar que el porcentaje de pérdida de los flujos de voz y video está alrededor del 0% para el método HCCA, mientras que empleando DCF, esta métrica puede incluso alcanzar hasta un 28%. Esto se debe al mecanismo de calidad de servicio provisto tanto en HCCA que fue explicado en los dos ítems anteriores.

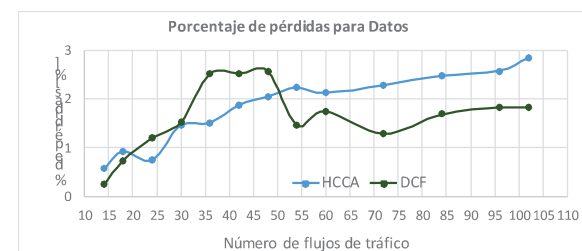
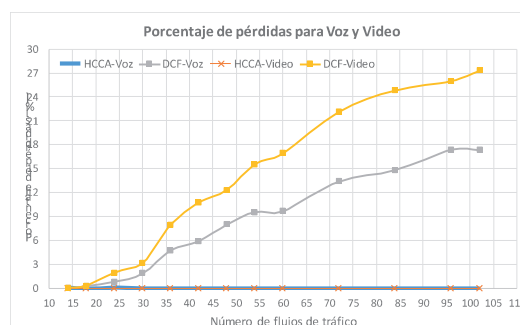


Fig. 8. Porcentaje de pérdidas para los tráficos de voz, video y datos utilizando los métodos de acceso HCCA y DCF.

El tráfico de datos tiene un comportamiento similar para los tres tipos de métodos de acceso, y el mismo no supera el 3%. Esto ocurre gracias al control de congestión de TCP, que disminuye la cantidad de segmentos TCP enviados cuando la red empieza a saturarse, evitando que existan altos porcentajes de pérdidas.

### D. Porcentaje de Colisiones

El porcentaje de colisiones es medido a nivel de la subcapa MAC y se presenta en la Fig. 9. Para el método de acceso HCCA se tiene un porcentaje de colisiones igual a 0% en el tráfico de voz y video, mientras que, para DCF este porcentaje supera los 15% en los dos tipos de tráfico.

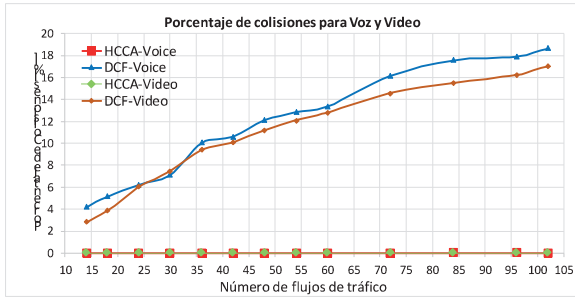


Fig. 9. Porcentaje de colisiones para los tráficos de voz y video utilizando los métodos de acceso HCCA y DCF

HCCA no presenta colisiones debido a que el planificador de referencia asegura la transmisión de los flujos de voz y video en sus respectivos TXOPs durante el CFP, con lo cual ninguna otra estación tiene el permiso de contender por el medio durante estos slots de tiempo.

E. PSNR

Peak Signal Noise Ratio es una métrica medible mediante las herramientas provistas en el parche de video; en la Tabla 4 se expone la equivalencia de valores PSNR a MOS (Opinión Promedia de Puntuación); el MOS mide en una escala de 1 (peor) a 5 (mejor) la impresión de la calidad que tiene un video.

Para el cálculo del valor de PSNR en el tráfico de video presentado en la Fig. 10, se utilizó únicamente el 20% de los archivos traza totales correspondientes a los flujos con menor valor de PSNR. En la mencionada figura se observa que HCCA asegura un PSNR con valor ideal de 47 dB; por lo tanto, aseguran un valor de MOS excelente. Mientras que en DCF el valor de MOS excelente se presenta únicamente hasta los 30 flujos, después de lo cual comienza a decaer hasta llegar a un valor de 15 dB.

El valor de PSNR para HCCA es un valor constante e igual a 45.45 dB (mayor nivel de PSNR posible); esto se debe a que utiliza un planificador que asigna slots de tiempo fijos para cada flujo de video, lo cual asegura la transmisión de flujos de tráfico con un TSPEC asociado.

TABLA IV. CONVERSIÓN DE PSNR A MOS [6]

PSNR [dB]	MOS
>37	5 (Excelente)
31-37	4 (Bueno)
25-31	3 (Razonable)
20-25	2 (Pobre – No satisfactorio)
<20	1 (Malo)

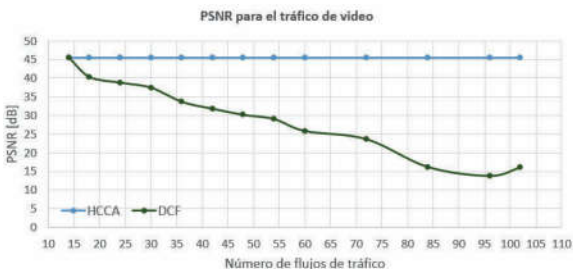


Fig. 10. PSNR para el tráfico de video

V. CONCLUSIONES

El presente estudio expone las características del planificador de referencia en HCCA, el cual demuestra resultados marcadamente superiores sobre DCF para los tráficos de voz y video en las métricas estudiadas.

HCCA permite una reserva del medio inalámbrico para los flujos de tráfico asociados a un TSPEC, lo que permite reducir considerablemente el número de paquetes perdidos y el retardo extremo a extremo. Sin embargo, HCCA limita el número de flujos de tráfico que puedan ser aceptados en el HC, que se debe al SI utilizado y a la duración de las TXOPs, por lo que este tipo de método es adecuado para un entorno de red con un número fijo y limitado de estaciones.

Debido a la reserva del medio inalámbrico realizada por el HC no se observan colisiones de los paquetes de voz y video, debido a que cada flujo de voz y video tiene asignado un TXOP específico para efectuar su transmisión y durante el cual no se permite que otra estación contienda por el medio.

Una adecuada elección de los parámetros del TSPEC es crucial para un eficiente funcionamiento del planificador de referencia. De esta forma, uno de los principales parámetros a ser establecidos es el SI, mismo que debe ser seleccionado para alcanzar un acuerdo entre el retardo y el número máximo de flujos admitidos. Pudiendo utilizar esta métrica de acuerdo a las necesidades que presente la red, es decir, empleado un SI de menor valor para alcanzar un retardo mínimo y un SI de mayor valor para permitir una mayor cantidad de flujos admitidos.

VI. REFERENCIAS

- [1] Mangold, S., "Analysis of IEEE 802.11e and Application of Game Models for Support of Quality-of-Service in Coexisting Wireless Networks" Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería Eléctrica e Informática, Universidad RWTHAachen. Alemania, Junio, 2003.
- [2] IEEE Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Standard, New York, USA, Marzo, 2012.
- [3] Camana, M. "Estudio comparativo de Calidad de Servicio utilizando simulación en una WLAN con el estándar IEEE 802.11e para tráfico de voz, video y datos" Proyecto de titulación. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. Feb. 2016
- [4] Cicconetti, C.; Lenzi, L.; Mingozzi, E.; y Stea, G., "A Software Architecture for Simulating IEEE 802.11e HCCA", Marzo, 2005. [Online]. Disponible: <http://cng1.iet.unipi.it/wiki/index.php/Ns2hcca>
- [5] Bacioccola, A.; Cicconetti, C.; Stea, G., "User-level Performance Evaluation of VoIP Using ns-2", Departamento de la Ingeniería de la Información, Unviersidad de Pisa, Italia, Oct, 2007.
- [6] Ke, C.; Shieh, C.; Hwang, W.; y Ziviani, A., "An Evaluation Framework for More Realistic Simulations of MPEG Video Transmission", Journal of Information Science and Engineering, 24(2), 425-440, 2008.
- [7] Zul Azri Bin Muhamad, N.; Takahiro, S.; Shuji, T., "Packet Scheduling Scheme for Audio-Video Transmission with IEEE 802.11e HCCA and its Application-Level QoS Assessment.", 2006 Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), Sep, 2006.

## VII. BIOGRAFÍAS



**Mario Camana**, nació en Archidona-Ecuador en 1991. Efectuó sus estudios universitarios en la Escuela Politécnica Nacional obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Obtuvo una beca de la Universidad de Ulsan en Corea del Sur y se encuentra cursando su maestría en el laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Multimedia. Es miembro del Institute of Electrical and Electronics

Engineers (IEEE).



**Pablo Hidalgo Lascano**. Nació en Ambato en 1959. Obtuvo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica Nacional (1985) siendo declarado el mejor graduado de su promoción. Becado por el Gobierno Alemán y auspiciado por la E.P.N. realizó estudio de postgrado en Telecomunicaciones en el Deutsche Bundespost (1988 - 1990). Obtuvo

el título de Magister en Conectividad y Redes de Telecomunicaciones en la E.P.N. (Noviembre 2014). Actualmente se desempeña como profesor principal del Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la E.P.N. Fue promotor y Coordinador de la Carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Información de la E.P.N. (2000 – 2007) (2013 – 2014). Ha dirigido más de 100 tesis y proyectos de titulación. Sus áreas de interés actuales son: Redes de Información, Comunicaciones Inalámbricas y Transmisión de Datos. Es miembro de la *Association for Computing Machinery* (ACM) y del *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE).



**Carla García**, nació en Quito-Ecuador en 1991. Efectuó sus estudios universitarios en la Escuela Politécnica Nacional obteniendo el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Obtuvo una beca de la Universidad de Ulsan en Corea del Sur y se encuentra cursando su maestría en el laboratorio de Codificación y Teoría de la Información.