

Configuración óptima de redes WLAN 802.11e EDCA cursando datos y tráfico VoIP

Pablo Serrano, Albert Banchs
Departamento de Ingeniería Telemática
Universidad Carlos III de Madrid. Avda. Universidad, 30.
28911 - Leganés (Madrid)
Teléfono: 91 624 62 36 Fax: 91 624 87 49
E-mail: {pablo,banchs}@it.uc3m.es

Abstract *In this article we conduct an experimental study of the Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) mechanism of IEEE 802.11e standard by means of the OPNET simulation tool. The focus of our study is the proposal of guidelines for the configuration of the open parameters in the EDCA mechanism. Specifically, we aim at supporting two widely deployed applications nowadays: voice and data traffic. From the comparison of our proposed configuration against the one recommended by the standard, we show that our guidelines outperform the standard's by 20 % to 40 %, depending on the number of data stations present in the WLAN.*

1. Introducción

Las redes inalámbricas (WLANs) suponen una tecnología muy común para proporcionar acceso a Internet. El algoritmo para acceder al medio empleado hoy en día es el modo DCF del estándar IEEE 802.11. Un nuevo mecanismo, el modo EDCA, ha sido aprobado recientemente [1]. Dicho estándar extiende el anterior proporcionando funciones para suministrar calidad de servicio (QoS). Este mecanismo se basa en una serie de parámetros cuya configuración óptima sigue siendo objeto de investigación: si bien el estándar suministra unos valores como recomendación para los mismos, dichos valores son fijos por lo que su rendimiento no será óptimo para todas las condiciones de trabajo.

Si bien el estudio del rendimiento de una WLAN en diferentes condiciones de trabajo se ha realizado tanto de forma analítica como a través de simulación [2, 3, 4, 5], en ninguno de estos trabajos se proponen reglas concretas para la configuración de los parámetros de dicho modo. El presente artículo contribuye a paliar esta carencia, proponiendo reglas numéricas para la configuración de la WLAN en un escenario con tráfico de voz y de datos. El objetivo planteado es maximizar el número de conversaciones de voz que pueden ser soportadas, proporcionando a la vez la mayor tasa de transmisión a las estaciones de datos existentes. Si bien las reglas derivadas se aplican a estas dos aplicaciones paradigmáticas, la metodología expuesta puede emplearse en escenarios con otro tipo de tráfico y/o diferente nivel físico (p. ej., 802.11g).

El presente artículo se organiza de la siguiente forma: en la Sección 2 se describe el mecanismo de acceso al medio de EDCA. La Sección 3 plantea el escenario considerado, donde se detalla tanto el comportamiento de las aplicaciones como los objetivos a cumplir. Las Secciones 4 y 5 proponen las reglas de configuración para las estaciones de voz y datos, respectivamente, realizándose una comparación con los valores recomendados en el estándar en la Sección 6. Por último, la Sección 7 presenta las conclusiones que se derivan del trabajo realizado.

2. El modo EDCA de 802.11e

A continuación se explica el funcionamiento del control de acceso al canal del modo EDCA. Dicho modo define una serie de funciones de acceso al canal (CAFs): para enviar las tramas, cada CAF ejecuta un proceso independiente que se regula a través de unos parámetros configurables. De cara a la configuración de dichos parámetros, el estándar agrupa las CAFs en categorías de acceso (ACs), asignando la misma configuración a todas las CAFs de una determinada AC. En este artículo se supondrá que cada estación ejecuta una única CAF y, por lo tanto, se empleará indistintamente los términos CAF y estación. Las dos únicas ACs consideradas se corresponderán con el tráfico de voz y el tráfico de datos.

El comportamiento de una estación EDCA es el siguiente: una estación con una trama para transmitir comprueba el estado del canal. Si éste permanece inactivo

Cuadro 1: Configuración estándar para EDCA con 802.11b

Parámetro	AC[VO]	AC[VI]	AC[DA]	AC[BK]
$AIFS$	2	2	3	7
CW_{min}	8	16	32	32
CW_{max}	16	32	1024	1024
$TXOP$	3 ms	6 ms	3 ms	0

durante un tiempo igual a $AIFS$, la estación transmite; en caso contrario, la estación prosigue su sondeo del canal hasta que éste permanece sin actividad durante dicho tiempo, instante en el que comienza el proceso de *backoff*.

Al comenzar dicho proceso, la estación genera un número entero aleatorio, distribuido uniformemente en el rango $(0, CW - 1)$. Dicho número se carga en el contador de backoff, siendo el valor inicial de la variable CW igual al parámetro CW_{min} . Por cada vez que se detecte el canal como disponible durante la duración de una ranura mínima (σ), este número es decrementado. Caso de detectarse actividad en el canal, el decremento se congela y no se reactiva hasta que, de nuevo, ha transcurrido un tiempo $AIFS$ sin actividad.

Una vez que el contador llega a cero, la estación procede a transmitir. Se emplea una trama de asentimiento (Ack) por parte del receptor para indicar el éxito en el envío. Caso de no recibirse el asentimiento, se supone que se ha producido una pérdida y se vuelve a ejecutar el proceso de backoff. Al reentrar en dicho proceso se duplica el valor de CW , hasta llegar a un máximo (CW_{max}). Si se realiza la transmisión con éxito, o se llega al límite de retransmisiones R , CW se fija de nuevo al valor CW_{min} .

Una vez que la estación accede al canal, tiene derecho a ocupar el mismo durante el tiempo fijado por el parámetro $TXOP_{limit}$. Si dicho parámetro se fija a cero, la estación puede ocupar el canal para transmitir un único paquete.

De la anterior descripción del mecanismo de acceso al medio EDCA, se deduce que dicho protocolo depende de una serie de parámetros (CW_{min} , CW_{max} , $AIFS$ y $TXOP_{limit}$). Dichos parámetros se representan cualitativamente en la Figura 1 para dos categorías de acceso; el valor recomendado por el estándar para las cuatro ACs –con 802.11b– se muestra en el Cuadro 1. En este artículo se proponen reglas concretas de configuración para los mismos, con el objeto de proporcionar el mejor servicio a las estaciones de voz y de datos.

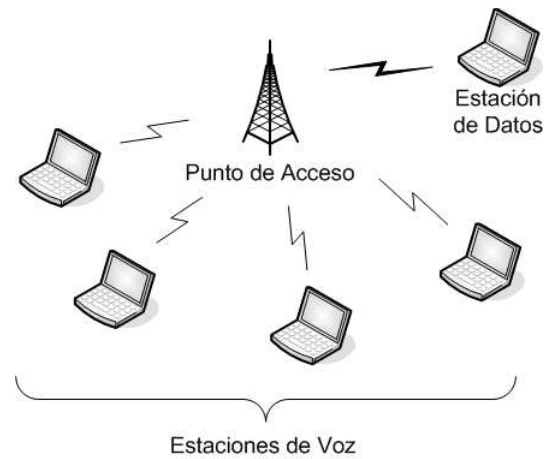


Figura 2: Escenario considerado

3. Escenario

En este artículo se desarrolla una metodología experimental para obtener la configuración óptima de una WLAN operando en modo EDCA. Se considerará un caso con dos tipos de tráfico: tráfico de voz, con requisitos de entrega; y tráfico de datos, que no precisa de provisión de QoS. Se considera que cada estación transmite únicamente un tipo de flujo (ver Figura 2). La prioridad de la red será admitir el mayor número de conversaciones de VoIP, pero proporcionando el mejor servicio posible a los datos. Se considera un nivel físico sin errores y con todas las estaciones operando a 11 Mbps.

Con objeto de que la configuración obtenida pueda ser aplicada a otros escenarios, se establece el siguiente modelo para cada tipo de flujo:

- El tráfico de voz se modelará como un proceso generador de tramas de 80 octetos a intervalos regulares de 10 ms; de esta forma, otras codificaciones más eficientes (mayor tiempo entre llegadas, menor índice de actividad) no obtendrán un servicio peor con la configuración propuesta.
- Los flujos de datos siempre tendrán una trama de 1500 octetos pendiente de ser transmitida; al igual que en el caso de la voz, cualquier aplicación menos agresiva recibirá un servicio no inferior al recibido para el caso de este modelo.

Acudiéndose a la recomendación ITU-T G.114 [6], se tiene que si se quiere proporcionar un buen servicio de voz es preciso garantizar un retardo menor de 150 ms por sentido con unas pérdidas no superiores al 5%. Suponiéndose que un tráfico VoIP puede atravesar hasta dos redes WLAN además de una red cableada,

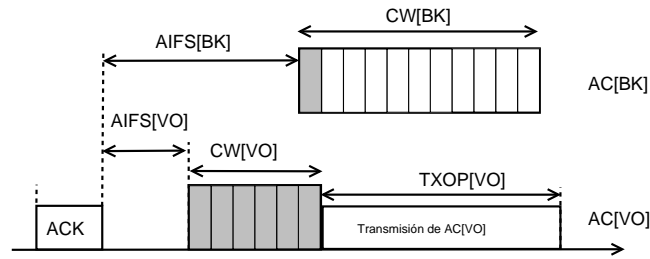


Figura 1: Parámetros del modo EDCA. Típicamente, el valor de los parámetros de la clase de voz (VO) es menor que el del tráfico *background* (BK), lo que resulta en una mayor prioridad de acceso al canal.

se divide como sigue los anteriores requisitos para las tecnologías involucradas: la red cableada debe proporcionar un retardo menor de 50 ms para el 99% de los paquetes, mientras que la tecnología inalámbrica debe garantizar una cota de 50 ms para el 98% de los paquetes que transmite. De esta forma, se tiene que el retardo será de $50 + 50 + 50 = 150 \text{ ms}$ con una probabilidad de $98\% \times 99\% \times 98\% = 95\%$ ¹. Los 50 ms de cota para la tecnología inalámbrica incluyen tanto el tiempo de servicio como el tiempo de espera en cola (retardo total, D_{tot}). Se fija entonces el siguiente criterio a cumplir por el tráfico VoIP:

Criterio VoIP: 98% paquetes con $D_{tot} \leq 50 \text{ ms}$

La mayoría de las figuras obtenidas se obtienen de medir el percentil .95 del retardo total de los paquetes de VoIP. Para obtener los resultados presentados, se muestra la media, el valor mínimo y el máximo de cinco simulaciones, empleando el entorno de simulación OPNET².

4. Configuración del tráfico *real-time*

El parámetro TXOP del modo EDCA permite la transmisión de varias tramas en un mismo acceso al medio; el uso de este mecanismo resulta del todo aconsejable: si tras la transmisión de un paquete queda otro en cola pendiente de ser transmitido, este paquete no tendrá que esperar un nuevo proceso de backoff para ser enviado. En caso contrario, el paquete que aguarda en cola provocará un aumento considerable en el

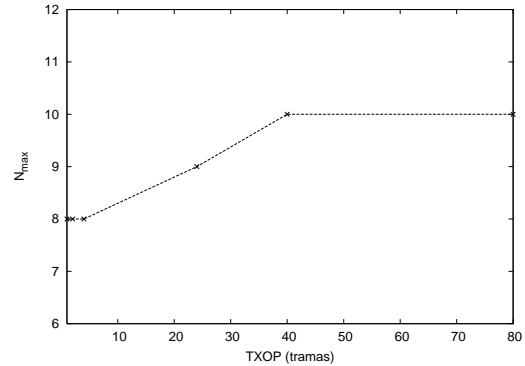


Figura 3: Efecto del parámetro TXOP en el número de conversaciones admisibles

percentil del retardo para este flujo, frente a la alternativa de provocar un ligero aumento³ en el tiempo de transmisión del resto de paquetes de la red.

Si se introducen conversaciones de voz en la WLAN hasta que se deje de cumplir el criterio de calidad, para diferentes valores de $TXOP_{voice}$, se obtiene como resultado la Figura 3: permitir que más de un paquete pueda ser transmitido en el mismo acceso al canal consigue, con el criterio de QoS establecido, que la WLAN pueda dar servicio a 10 conversaciones de VoIP (para una red operando en el modo DCF, dicho número sería 8).

Por lo anterior, se propone la siguiente regla de configuración para la WLAN:

Regla 1: $TXOP_{voice} = TXOP_{max}$

Dado que el parámetro AIFS resulta adecuado para diferenciar entre flujos con requisitos de entrega dispares [7], para el caso del flujo de VoIP debe ser fijado

³De todos los componentes que afectan al retardo en una WLAN, para el caso considerado la transmisión de la trama de datos ocupa centenares de microsegundos.

¹Se supone que las cotas de retardo son independientes entre sí.

²OPNET University Program, <http://www.opnet.com/services/university/>

al menor valor posible, con objeto de minimizar el retardo.

Regla 2: $AIFS_{voice} = AIFS_{min} = 2$

Quedan dos parámetros por configurar, CW_{min} y CW_{max} . A tal efecto, se argumenta en primer lugar que ambos deben ser fijados al mismo valor, evitando que se duplique la CW tras una pérdida. Dicho mecanismo de incremento, caso de estar activo, provocaría que un paquete que ha sufrido al menos una colisión tuviese que esperar aún más para un nuevo intento de transmisión, lo que ocasionaría retardos excesivamente elevados.

Regla 3: $CW_{min}^{voice} = CW_{max}^{voice}$

Por último se realiza el siguiente barrido en el espacio de configuraciones posibles de la ventana de contienda. Dado un valor n del número de flujos de voz, se prueba todo el espacio de posibles valores de la CW_{min} para las estaciones y el punto de acceso (CW_{MN}, CW_{AP}). Si alguno de dichos puntos cumple el criterio de retardo, se repite el experimento para $n + 1$ flujos de voz, hasta que ninguna configuración proporcione la QoS requerida. De esta forma, se tiene que el máximo número de conversaciones VoIP que se pueden soportar es de 11.

Regla 4: No aceptar más de 11 conversaciones

En la Tabla 2 se muestran los resultados del barrido realizado para $n = 11$ flujos de voz. Se aprecia que, para la situación considera, el valor de CW_{min} que minimiza el retardo es el mismo tanto para las estaciones como para el punto de acceso: 64. A pesar de que el AP debe transmitir n flujos de VoIP, con la misma configuración que las estaciones (cada una responsable de un único flujo) es capaz de suministrar el mínimo retardo; ello se debe al parámetro $TXOP$, que permite transmitir varias tramas para un mismo acceso al canal.

Regla 5: Para voz, $CW_{MN} = 64$ y $CW_{AP} = 64$

5. Configuración del tráfico no *real-time*

A continuación se aborda la obtención de la configuración de las estaciones de datos que proporcionan un mejor rendimiento de la WLAN.

En primer lugar, por la naturaleza del parámetro $TXOP$, resulta claro que un uso de dicho parámetro por parte de las transmisiones de datos provocaría mayores

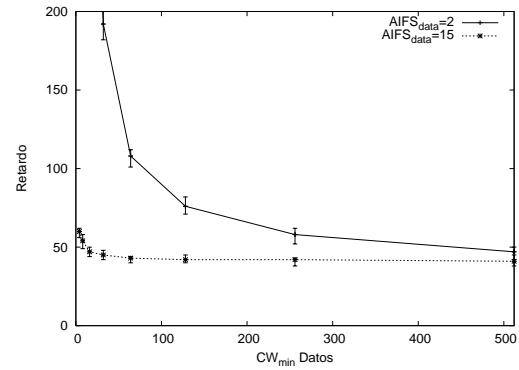


Figura 4: Retardo de la voz para diferentes configuraciones de los datos

retardos en el tráfico de voz, dado que las estaciones de datos podrían causar esperas aún mayores e impredecibles en la entrega de tramas de VoIP. Es por ello que sólo se permite a las estaciones de datos transmitir una única trama por cada acceso al medio:

Regla 6: $TXOP_{data} = 0$

El envío de las tramas de datos no tiene requisitos temporales de entrega, por lo que en este caso duplicar CW tras una colisión no resulta tan dramático. De hecho, este mecanismo permite mejorar el rendimiento de la red, al adaptar el comportamiento a las condiciones de carga. Es por ello que se propone emplear el mismo esquema del estándar DCF, donde se permite que CW se duplique hasta cinco veces antes de llegar al máximo.

Regla 7: $CW_{max}^{data} = 2^5 CW_{min}^{data}$

Queda por especificar la configuración de los parámetros $AIFS$ y CW_{min} para los flujos de datos. A tal efecto, se realiza el siguiente experimento: sea la WLAN operando con el máximo número de flujos de VoIP que puede soportar; para el valor de $AIFS_{data}$ mínimo, se realiza un barrido en la CW_{min} de los datos (incrementando su valor) midiéndose el máximo de la cota al 98% para el retardo de VoIP en cada sentido. Se repite el mismo experimento, pero con el valor de $AIFS_{data}$ máximo. El resultado de dicho experimento se muestra en la Figura 4.

Los valores de CW_{min} que cumplen con el criterio de retardo (esto es, encontrarse por debajo de 50 ms), para el $AIFS$ mínimo y máximo, son 512 y 16 respectivamente. De esta forma, hay dos casos extremos de configuración $\{CW_{min}, AIFS\}$ para los datos que garantizan el rendimiento de la voz, a saber: $\{512, 2\}$ y $\{16, 15\}$. Para elegir uno de ellos, se realiza el siguiente experimento: para cada configuración, se mide el ancho

Cuadro 2: Retardo para diferentes configuraciones de CW.

CW_{MN} / CW_{AP}	4	8	16	32	64	128	256
4	264	280	324	357	362	363	359
8	255	203	218	241	253	290	266
16	243	148	114	97	92	98	165
32	164	102	70	54	46	43	98
64	108	80	57	44	37	40	43
128	83	75	60	48	41	39	41
256	87	85	79	65	57	54	55

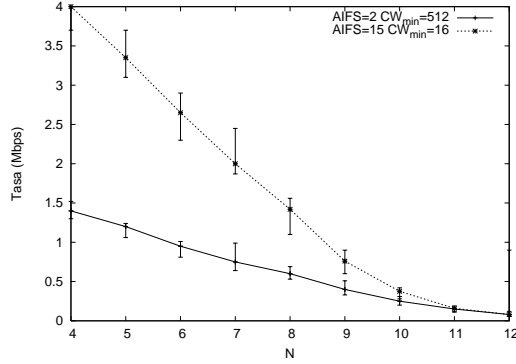


Figura 5: Ancho de banda de los datos para diferente número de conversaciones VoIP

de banda obtenido por una estación de datos para un número creciente n de conversaciones de VoIP. El resultado, en la Fig. 5, muestra que la configuración que proporciona la mayor tasa a la estación es aquella con valor máximo de $AIFS$.

Este comportamiento tiene la siguiente explicación: para $n = 11$, el sistema se encuentra al límite de su capacidad por lo que el mismo ancho de banda se obtiene con ambas configuraciones. Con la configuración de $AIFS$ máximo, dicha carga se traduce en transmisiones frecuentes en el canal, lo que bloquea el decremento del contador de backoff de las estaciones de datos y protege las estaciones de voz. Conforme n decrece, hay menos transmisiones en el canal por lo que el decremento es más frecuente, lo que lleva a un comportamiento más agresivo de las estaciones de datos. Por contra, para la configuración con $AIFS$ mínimo, la protección viene dada por el parámetro CW_{min} cuyo comportamiento no varía en función de la carga, resultando en un rendimiento menor.

De lo anterior se deduce que la configuración con $AIFS$ máximo resulta más adecuada, dado que adapta el comportamiento de las estaciones de datos a la cantidad de tráfico de voz siendo cursada. Esto lleva a la siguiente regla para una estación de datos.

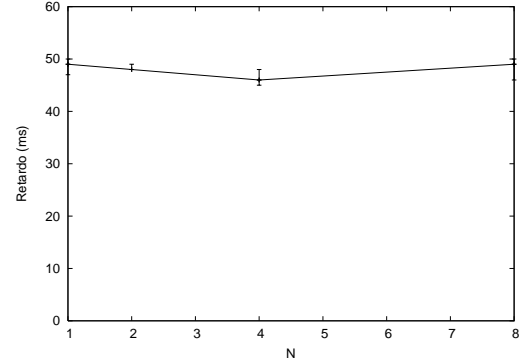


Figura 6: Retardo de la voz para diferente número de estaciones de datos

Regla 8: Para datos, $AIFS = 15$ y $CW^{min} = 16$

De lo anterior se tiene la regla para la configuración de una estación de datos. Para obtener la configuración en presencia de varias estaciones de datos, se razona de la siguiente forma: el comportamiento de una estación en saturación es similar al de N estaciones en saturación, cada una con un valor de CW_{min} N veces mayor. Ello se debe a que si bien hay N estaciones en vez de una, cada estación accede al canal con una frecuencia N veces inferior. Con objeto de validar esto, se realiza un experimento en el que, para el máximo número de conversaciones VoIP admisibles y un número N creciente de estaciones de datos, se configura cada una de ellas con una CW_{min} N veces mayor que la de la regla anterior. El retardo obtenido para la voz se muestra en la Fig. 6. Dado que se sigue proporcionando la QoS al flujo de VoIP, se valida la regla deducida.

Regla 9: Con n flujos de datos, $CW^{min} = n \times 16$

6. Comparación con la configuración estándar

La configuración propuesta se compara, en un último experimento, con los valores de configuración prop-

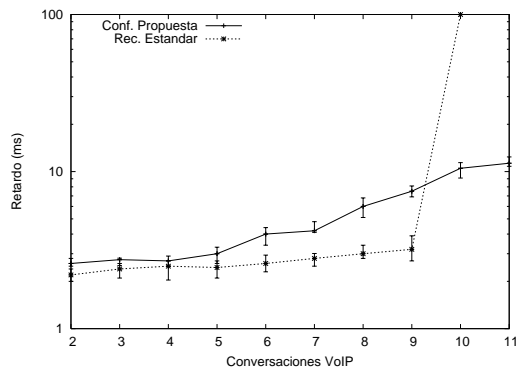


Figura 7: Comparación con el estándar

uestos por el estándar. Para las estaciones y el punto de acceso se escoge los valores de las reglas anteriores en la configuración propuesta y se mide el máximo del retardo frente al número de estaciones en la WLAN (sólo tráfico VoIP). Posteriormente se repite el experimento, pero con el valor de los parámetros propuesto por el estándar para la AC[VO]. Los resultados son los mostrados en la Figura 7.

La configuración propuesta en el estándar, para un número de conversaciones menor de 9, es la que proporciona mejores prestaciones. Sin embargo, con 10 conversaciones de voz no se cumplen los requisitos de entrega fijados, y con 11 conversaciones el retardo se dispara. La configuración por la que se aboga en este artículo, en cambio, si bien presenta unos valores de cota de retardo algo superiores, sí que permite dar servicio a un mayor número de conversaciones en la WLAN (concretamente, un 20 % más).

Si se repite el experimento con la presencia de 4 estaciones de datos, el número de conversaciones admisible por la configuración del estándar es 7, mientras que la configuración propuesta mantiene la cota de retardo para 11 conversaciones VoIP. El incremento en la capacidad de cursar tráfico de voz, en este caso, es del 40 %.

7. Conclusiones

Este artículo propone un número de reglas de configuración para el estándar 802.11e EDCA con objeto de dar servicio a dos paradigmas de aplicación: tráfico de voz y tráfico de datos. Los autores no conocen trabajo previo de naturaleza similar, aparte de la recomendación dada por el estándar. Los experimentos realizados muestran una mejora del rendimiento del 20 % al 40 % sobre éste, en función del número de estaciones de datos presentes.

Los criterios propuestos se derivan de una combi-

nación de deducciones racionales y experimentación a través de simulación, dado que un barrido exhaustivo en todo el espacio de posibles configuraciones resulta inabordable. Como trabajo futuro, se empleará una plataforma similar a la presentada en [7] sobre la que proceder de forma similar a la presentada, con objeto de tener en cuenta aquellos parámetros que escapan al modelo de simulación (desvanecimientos, ruido, presencia de otras WLANs, etc.) y que pueden reducir las prestaciones obtenidas. Al igual que sucedió en dicho caso, es de esperar que las prestaciones obtenidas en un entorno real sigan el comportamiento predicho por los resultados de simulación.

Referencias

- [1] IEEE 802.11e, *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS)*. Supplement to IEEE 802.11 Standard, 2005.
- [2] D. P. Hole, F. A. Tobagi, "Capacity of an IEEE 802.11b WLAN Supporting VoIP", in Proc. of the IEEE International Conference on Communications - ICC, Junio 2004.
- [3] A. Banchs, L. Vollero, "Throughput Analysis and Optimal Configuration of 802.11e EDCA", *Computer Networks*, vol. 50, no. 11, pp. 1749–1768, Agosto 2006.
- [4] J. W. Robinson, T. S. Randhawa, "Saturation Throughput Analysis of IEEE 802.11e EDCA", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 22, no. 5, pp. 917–928, Junio 2004.
- [5] P. E. Engelstad, O. N. Osterbo, "Non-saturation and saturation analysis of IEEE 802.11e EDCA with starvation prediction", in Proceedings of the 8th ACM international symposium on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems (MSWIM'05), Octubre 2005.
- [6] I. T. U., *Transmission systems and media, general recommendation of the transmission quality for an entire international telephone connection; one-way transmission time. Recommendation G.114*. Telecommunication Standardization Sector of ITU, Ginebra, Suiza, Marzo 1993.
- [7] A. Banchs, A. Azcorra, C. García, R. Cuevas, "Applications and Challenges of the 802.11e EDCA Mechanism", *IEEE Network*, vol. 19, no. 4, pp. 52–58, Julio 2005.