

## ANEXO D: QoS A NIVEL DE ENLACE DE DATOS

**2.2.1 IEEE 802.1Q:** Es parte del estándar IEEE 802.1D. Este estándar IEEE 802.1Q define una arquitectura para LANs puenteadas virtuales, y los servicios provistos en las mismas, protocolos y algoritmos envueltos en la provisión de esos servicios.

No hay mecanismos de calidad de servicios definidos en éste estándar, pero hay requerimientos importantes para proveer QoS , como por ejemplo la habilidad para regenerar la prioridad de usuario en las tramas recibidas usando la información de prioridad contenida en la trama y la tabla de regeneración de prioridad de usuario para el puerto de recepción.

**2.2.2 IEEE 802.1D:** El estándar IEEE 802.1D (puentes MAC) cubre todas las partes de expedición de clase de tráfico y el filtrado multicast dinámico descrito en estándar IEEE 802.1p. Más adelante se tratará con respecto al estándar 802.11e.

**2.2.3 IEEE 802.1p:** Es también parte del estándar 802.1D. Este estándar realiza las funciones de expedición de clase de tráfico y filtrado multicast dinámico. Describe importantes métodos para proveer QoS en el nivel MAC.

**Mantenimiento de la calidad del servicio:** *Disponibilidad del servicio:* es medida como la razón entre el momento en que servicio MAC esta disponible y cuando no.

*Pérdida de paquetes:* El servicio MAC no provee una entrega garantizada de unidades de datos de servicio, pero la probabilidad es alta. Las pérdidas de paquetes ocurren debido :

- Degradación de la trama en la capa física
- La trama es descartada por un puente debido a:
  - la trama ha alcanzado el máximo tiempo de vida
  - se acaba la capacidad de buffer interno
  - el tamaño de la trama de unidad de datos de servicio que la trama esta llevando es muy grande para la configuración de la LAN
  - la red de área local puenteada es forzada a descartar tramas para mantener otros aspectos QoS .

#### *Desorden en las tramas*

El servicio MAC no permite reordenar las tramas dentro de la misma prioridad de usuario de una pareja de direcciones fuente-destino.

#### *Duplicación de tramas*

El servicio MAC no permite duplicación de tramas.

#### *Retardo de tránsito*

Es el tiempo que transcurre entre una petición de unidad de datos y la indicación de una transferencia exitosa.

#### *Tiempo de vida de una trama*

Si el máximo retardo de una trama impuesto por todos los puentes en una LAN puenteada exceden los tiempos de vida máximos, la trama debe ser descartada.

#### *Tamaño máximo de la unidad de datos de servicios*

Es dependiente del acceso al medio usado. Un puente entre dos LANs, tiene el máximo tamaño de unidad de datos de servicio más pequeño de las dos.

#### *Prioridad*

El Servicio MAC tiene en cuenta prioridad de usuario como un parámetro QoS .

#### *Rendimiento*

El rendimiento total de una LAN puenteada puede ser más grande que una LAN equivalente.

**Regeneración de la prioridad de usuario:** Basado en la prioridad de información contenida en la trama y la tabla de regeneración de la prioridad de usuario para el Puerto de recepción, la prioridad de usuario será regenerada para cada trama recibida. Cada puerto tiene su propia tabla de regeneración de prioridad de usuario y cada tabla tiene 8 entradas, una para cada valor posible de prioridad de usuario.

**Encolado de tramas:** El proceso de reenvío puede proveer uno o más colas de transmisión para cada puerto del puente. Este provee almacenamiento para tramas encoladas, esperando por una oportunidad de enviar estas transmisiones. Las tramas serán asignadas a cada cola de acuerdo a su prioridad de usuario.

El orden de transmisión para un puerto de un conmutador es:

1. Tramas *unicast* con la prioridad de usuario dada por alguna combinación de dirección fuente-destino.
2. Tramas *multicast* con una prioridad de usuario dada para algunas direcciones de destino.

Las tramas se asignan a sus colas de almacenamiento correspondientes antes que sus prioridades de usuario usando una tabla de clase de tráfico.

El algoritmo por defecto para la selección de trama para transmisión:

1. Para cada puerto, las tramas se seleccionarán de acuerdo a la clase de tráfico soportada por ese puerto. Las tramas se transmitirán solo si las colas de orden más alto están vacías durante el proceso de selección.
2. Para cada cola, el orden en la cual las tramas son transmitidas corresponden al procedimiento descrito anteriormente

Tabla 1. Mapeo de prioridad de usuario a clase de tráfico recomendada.

	Número de clases de tráfico disponibles								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Prioridad de Usuario	0	0	0	0	1	1	1	1	2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	1	1	2	2	3	
4	0	1	1	2	2	3	3	4	
5	0	1	1	2	3	4	4	5	
6	0	1	2	3	4	5	5	6	
7	0	1	2	3	4	5	6	7	

## **Tipos de tráfico**

1. Control de red: Altos Requerimientos para mantener y soportar la infraestructura de red.
2. Voz: menos de 10 milisegundos de retardo
3. Video: menos de 100 milisegundos de retardo
4. Carga controlada, alguna aplicación importante
5. Excelente esfuerzo; mayor esfuerzo para usuarios importantes.
6. Mejor esfuerzo: prioridad ordinaria para LAN.
7. Background: transferencias de archivos, juegos, etc. (ver tabla No. 1)

Este estándar 802.1p tiene un esquema de priorización, el cual es de hecho muy bueno. Los paquetes de menor prioridad no serán enviados a menos que paquetes con un nivel de prioridad mayor no estén en cola de espera.

IEEE 802.1p por si mismo no limita la cantidad de recursos que una aplicación usa. Un mecanismo para negociar un QoS garantizado para cada aplicación de fin a fin deberá mejorar el desempeño, de acuerdo a la política mantenida por el administrador de la red local.

**2.2.4 Borrador IEEE 802.11e (QoS a nivel MAC):** Estudios realizados en escenarios reales como redes caseras y Hot Spots permiten evaluar la efectividad de los mecanismos ofrecidos por 802.11e para el soporte de QoS y manejar las aplicaciones de voz, video y datos. En esta sección se abarcarán las últimas recomendaciones de este borrador, el cual espera ser ratificado a mediados del 2005. Las investigaciones apuntan a mejorar los mecanismos de Contención (Competencia por el medio) y Polling.

Las redes Inalámbricas WLAN son una extensión de la LAN cableada y los servicios del “mejor esfuerzo” desarrollados por ésta deben ser asumidos por WLAN. Por ejemplo, QoS es exigido por diversos servicios de tiempo real en Internet y siendo WLAN el último salto hacia el usuario, no debe frenar este tipo de servicios en tiempo real que están siendo ofrecidos en la red por los proveedores de contenidos y llevados hasta los dominios del usuario a través de redes de datos modificadas y mejoradas para ofrecer un buen rendimiento.

En un primer esfuerzo por acercar a las redes inalámbricas al manejo de aplicaciones en tiempo real fue creada la PCF (Función de Coordinación Puntual) del protocolo 802.11 en la subcapa MAC, sin embargo, no tuvo la suficiente implementación a nivel comercial y en este momento es descartado por los fabricantes.

**Capa MAC de 802.11:** El esquema de acceso es DCF (Función de Coordinación Distribuida) basado en CSMA/CA. En el nivel inferior del subnivel MAC se encuentra la función de coordinación distribuida y su funcionamiento se basa en técnicas de acceso aleatorias de disputa por el medio. El tráfico que se transmite bajo esta funcionalidad es de carácter asíncrono ya que estas técnicas de contención introducen retardos aleatorios y no predecibles no tolerados por los servicios síncronos. Las características de DFC se pueden resumir en estos puntos:

- Utiliza MACA<sup>1</sup> (CSMA/CA con RTS/CTS) como protocolo de acceso al medio
- Necesario reconocimientos ACKs, provocando retransmisiones si no se recibe
- Usa campo Duración/ID que contiene el tiempo de reserva para transmisión y ACK. Esto quiere decir que todos los nodos conocerán al escuchar cuando el canal volverá a quedar libre
- Implementa fragmentación de datos
- Concede prioridad a tramas mediante el espaciado entre tramas (IFS)
- Soporta Broadcast y Multicast sin ACKs
- La gran mayoría de los aparatos que operan hoy en día en el 802.11 usan únicamente el modo DCF
- El 802.11 MAC trabaja con una sola cola de transmisión de tipo FIFO (primero en entrar, primero en salir)

**Protocolo de Acceso al medio CSMA/CA y MACA:** El algoritmo básico de acceso a este nivel es muy similar al implementado en el estándar IEEE 802.3 y es el llamado CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance). Este algoritmo funciona como se describe a continuación:

---

<sup>1</sup> MACA: Multiple Access with Collision Avoidance, acceso múltiple con evasión de colisiones

Cuando una trama llega a la cabecera de cola de transmisión, entonces:

1. Antes de transmitir información una estación debe escuchar el medio, o canal inalámbrico, para determinar su estado (libre / ocupado).
2. Si el medio o canal está ocupado, entonces, la MAC espera hasta que esté libre, por lo tanto se pospone por un intervalo de tiempo extra llamado espacio intertrama de la DCF (DIFS, DCF Interframe Space)
3. Si el canal está desocupado, estación ejecuta una espera adicional durante un DIFS.
4. Si durante este intervalo temporal, o bien ya desde el principio, el medio se determina ocupado, entonces la estación debe esperar hasta el final de la transacción actual antes de realizar cualquier acción.
5. Una vez finaliza esta espera durante la cual el canal está desocupado, la estación ejecuta el proceso de Backoff, mediante la selección de un contador de "backoff" o BC según el cual se determina una espera adicional seleccionada aleatoriamente de un intervalo llamado ventana de contención  $[0, CW]$ . El algoritmo de Backoff entrega un número aleatorio y entero de ranuras temporales (slot time) y su función es la de reducir la probabilidad de colisión que es máxima cuando varias estaciones están esperando a que el medio quede libre para transmitir.
6. cada intervalo "slot time", durante el cual el medio está desocupado, el BC es decrementado y cuando alcanza el valor de cero, la trama es transmitida
7. Mientras se ejecuta la espera marcada por el algoritmo de Backoff se continúa escuchando el medio de tal manera que si el medio se determina libre durante un tiempo de al menos DIFS esta espera va avanzando temporalmente hasta que la estación consume todas las ranuras temporales asignadas, es decir el BC se decrementa hasta que alcanza el valor de cero y la trama es transmitida.
8. En cambio, si el medio no permanece libre durante un tiempo igual o superior a un DIFS el algoritmo de Backoff queda suspendido hasta que se cumpla esta condición.
9. De otra forma, si la MAC está en cualquiera de los dos procesos DIFS o el conteo regresivo cuando una trama llega a la cabeza de la cola, el proceso anteriormente descrito es aplicado de nuevo. Por lo tanto, la trama se transmite únicamente cuando el proceso ha finalizado satisfactoriamente.

10. cuando una trama llega a una cola vacía sin proceso de backoff en marcha y si el medio ha estado desocupado por un intervalo de tiempo mayor a un DIFS, la trama es transmitida inmediatamente.
11. Si el canal se encuentra ocupado durante el proceso de backoff, éste se suspenderá. Cuando el canal esté disponible de nuevo, y se mantenga libre por más de un intervalo de tiempo DIFS, el proceso de backoff se reanuda con el valor del BC suspendido.
12. Por cada recepción exitosa de una trama, la estación receptora inmediatamente hace el reconocimiento por medio de una trama ACK (Acknowledgement). La trama ACK es transmitida después de un intervalo IFS corto (SIFS), el cual es más corto que un DIFS.
13. Las otras estaciones reanudan el proceso de de backoff después de un tiempo DIFS cuando el medio está desocupado.
14. Gracias al intervalo SIFS entre los datos y las tramas ACK, la transmisión de la trama ACK está protegida de la contención de otras estaciones. Si una trama ACK no es recibida después de la transmisión de un dato, la trama se transmite desde otro conteo regresivo BC.
15. La medida de la ventana de contención CW es inicialmente asignada como CWmin, e incrementada cuando una transmisión falla, como por ejemplo, cuando una trama no ha sido reconocida con un ACK. Después de varios intentos de transmisión insatisfactorios, otro backoff se realiza usando un nuevo valor de la CW actualizado por:  $2 \times (CW + 1) - 1$  con un límite superior de CWmax. Esto reduce la probabilidad de colisiones en caso de haber múltiples estaciones intentando acceder al canal.
16. Después de cada transmisión exitosa, el valor de CW es restablecido a CWmin, y la estación que completa la transmisión, realiza otro DIFS y un backoff aleatorio uniforme si no hay otra trama pendiente en la cola. Esto es a menudo se referencia como un "post backoff", además que éste finaliza después y no antes de una transmisión. Este post backoff asegura que al menos hay un intervalo de backoff entre dos MSDU transmitidas consecutivamente.

Todos los parámetros de la MAC incluidos el SIFS, DIFS, Slot Time, CWmin, CWmax dependen de la capa Física, donde:

$DIFS = SIFS + 2 \times \text{SlotTime}$

$PIFS = SIFS + \text{SlotTime}$

[CW<sub>min</sub>, CW<sub>max</sub>] para 802.11a [34 useg, 1023useg],

Para 802.11b [31useg, 1023useg],

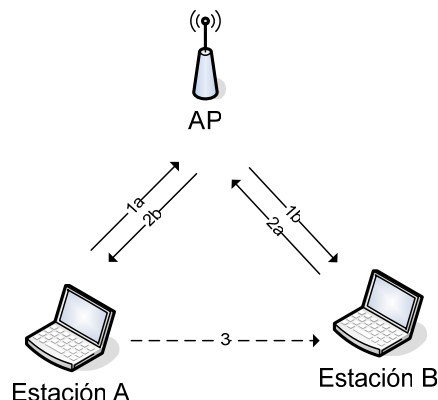
**Capa MAC de IEEE 802.11e:** El "Task Group" de 802.11e ha definido algunos mecanismos para introducir potencialidades de QoS en la red inalámbrica. La reducción de tiempos de acceso, la comunicación directa entre estaciones, la omisión de tramas innecesarias, entre otras son las mejoras que se pretenden para ajustar la variedad de tráfico que soporta una red actual y optimizar más los recursos que se disponen.

**DLP (Direct Link Protocol):** La primera mejora general, es una opción que permite a la estación hablar directamente con otra estación desviando el AP, aun cuando hay un AP. El estándar original 802.11 permite la transmisión desde una estación a otra únicamente en modo Ad-Hoc. De acuerdo al IEEE 802.11 original, en un BSS, cuando hay un AP, dos estaciones no pueden intercambiar información directamente. Si una estación A quiere hablar a una estación B, la estación A primero debe enviar los datos al AP, y luego el AP debe enviarlos a la estación B. Esto no es solamente ineficiente en términos de uso del canal, sino que dobla la latencia. Las recientes mejoras incluyen la habilidad para que la transmisión de estación a estación se haga evitando el AP e intercambiando directamente entre las estaciones pertinentes dentro del mismo BSS. Esta transferencia de datos es puesta en marcha usando DLP (Direct Link Protocol). Este protocolo es necesario por diferentes razones:

1. El protocolo se usa para intercambiar información acerca de las velocidades de datos y de seguridad.
2. DLP también es necesario cuando el receptor requerido pueda estar en modo de "*power save (ahorro de energía)*", en tal caso, puede ser despertado únicamente por el AP. Este protocolo prohíbe a las estaciones ir a modo "power save" por la duración activa del Direct Stream (flujo directo).

DLP no aplica para IBSS, donde las tramas son siempre enviadas directamente desde una estación a otra.





**Figura 1. Pasos para el establecimiento del Enlace Directo**

Primero, la estación A que tiene datos para enviar usará el DLP y enviara la trama de petición DLP al AP (flecha 1a en la figura 1). Esta petición contiene el conjunto de velocidades, las capacidades de la estación A y las direcciones MAC de las estaciones A y B. Si la estación B está asociada en el BSS, el AP reenviará la petición DLP al receptor, (1b). Si la estación B acepta la petición, enviará una respuesta DLP al AP (2a), la cual contiene información acerca de sus capacidades. El AP reenviará la respuesta DLP a la primera estación (2b), después el enlace directo se vuelve activo y las tramas pueden enviarse entre las dos estaciones directamente. Los mecanismos de protección RTS/CTS de intercambio son recomendados durante el establecimiento del Enlace Directo (Direct Link).

**Reconocimiento (ACK) negociable:** La segunda mejora general es la introducción de un reconocimiento negociable. El estándar IEEE 802.11 confía en un mecanismo positivo de reconocimiento para todos los intercambios de tramas, por medio del cual el receptor envía un ACK al emisor para informar que la trama llegó y que lo hizo en buenas condiciones. IEEE 802.11e introduce la noción de “reconocimiento negociable” por el cual un paquete en un flujo no necesita ser reconocido, o que los reconocimientos no necesitan ser agregados, dependiendo de la parametrización del flujo. Tales reconocimientos negociables llevan a una utilización más eficiente del canal disponible y permite aplicaciones como multicast.

De acuerdo a 802.11e, hay 4 tipos de reconocimiento:

- Normal, como el del heredado 802.11.
- No reconocimiento, usado en cualquier momento que no se requiera un ACK, puede ser apropiado para tráfico que es sensible a retardos. A causa de que “no reconocimiento” es asociado con baja confiabilidad de la transferencia de los datos, se recomienda utilizar RTS/CTS para aumentar la probabilidad de transferencias de datos exitosas.
- Reconocimiento bloqueado, es el mecanismo que permite un bloqueo de tramas de QoS a ser transmitidas, cada una separada por un periodo SIFS. Esto mejora la latencia y el jitter. Hay dos tipos de bloqueo de reconocimiento, inmediato y retardado. El bloqueo inmediato es adecuado para ancho de banda alto, tráfico de baja latencia; mientras el bloqueo retardado es adecuado para aplicaciones que toleren una latencia moderada.
- Reconocimiento no explícito.

**Priorización y Parametrización del Tráfico:** La tercera mejora general es la introducción de un mecanismo de priorización de tráfico y su respectiva parametrización. Este es el principal mecanismo de QoS introducido por IEEE 802.11e.

IEEE 802.11 puede ser considerado una versión inalámbrica de Ethernet por la virtud de soportar un servicio de “mejor esfuerzo” (No garantiza ningún nivel de servicio de usuarios/aplicaciones). El borrador IEEE 802.11e precisamente busca ampliar número de aplicaciones soportadas por 802.11 habilitando servicios de voz y video.

Para soportar QoS , IEEE 802.11e *Taks Group* (Grupo de tareas) introduce el concepto de HCF (Función de Coordinación Híbrida) que contiene dos esquemas: EDCF (Función de Coordinación Distribuida Mejorada) siendo una extensión de la DCF y el HC (Coordinación Híbrida) como una modificación del PCF (Función de Coordinación Puntual) mas eficiente para esquemas de polling. La capa MAC 802.11e está basada en el control centralizado y acceso al canal por contención.

La función de coordinación híbrida tiene un mecanismo de acceso basado en libre contención. Es muy importante reasaltar que estas no son dos funciones de coordinación

separadas, ellas son parte de la función de coordinación híbrida. El coordinador híbrido desempeña una gestión del ancho de banda incluyendo la asignación de oportunidades de transmisión para las estaciones y la iniciación de los intervalos de contención controlada. El HCF es llamado "Híbrido" ya que es usado durante ambos periodos, de contención y libre contención.

### **EDCA (Acceso al Canal Distribuido por EDCF)**

- La MAC heredada del protocolo 802.11 no soporta el concepto de diferenciación de tramas con diferentes prioridades. Básicamente, el DCF es soportado para proveer un acceso al canal con igual probabilidad para todas las estaciones en contención, y así, pueden acceder al canal en forma distribuida. Sin embargo, iguales probabilidades de acceso no son deseables entre estaciones que tienen tramas con diferente prioridad.
- El naciente EDCF está diseñado para proveer diferenciación y acceso distribuido al canal para tramas con 8 tipos de prioridad diferente (0 a 7) ya que el IEEE 802.11e usa el estándar 802.1d de 1998, por medio del cual se adicionan 3 bits al encabezado del paquete y suministra a la LAN la capacidad para reconocer los 8 niveles de prioridad para el mejoramiento del DCF. Por lo tanto EDCF no es una función de coordinación separada, por el contrario, es una parte de una única función de coordinación llamada la Función de Coordinación Híbrida HCF (Hybrid Coordination Function), perteneciente a la MAC de 802.11e. El HDF combina los aspectos de ambos, DCF y PCF.
- Por defecto, la prioridad 7 es la de más alto nivel de prioridad, y la número 1 es la de más baja prioridad junto con la prioridad 0 que se usa para el tráfico de "mejor esfuerzo" que se organiza entre la prioridad 2 y 3 (tabla No. 2). Cada nivel de prioridad puede tener diferentes especificaciones de tráfico.
- Con el EDCF una sola MAC (en una máquina) puede implementar menos de ocho colas físicas trabajando independientemente, en paralelo, para cada una de las diferentes prioridades. En este caso, se debe proveer un mapeo de las categorías de tráfico y entregar prioridades a le colas disponibles.

- Los valores de prioridad pueden especificarse directamente de acuerdo al ejemplo de la tabla o indirectamente de acuerdo a la especificación de tráfico TSPEC.

Nota: TSPEC, la especificación del tráfico, describe las características del tráfico y los requerimientos de QoS para un flujo de tráfico. El principal propósito del TSPEC es reservar recursos dentro del HC y modificar el comportamiento programado del HC. También permite que otros parámetros asociados con el tráfico sean especificados, como lo es la política de reconocimiento.

- El EDCF provee de acceso al canal diferenciado para las tramas a partir de las diferentes prioridades que son asignada o etiquetada desde un nivel más alto, es así como cada trama proveniente de una capa o nivel más alto, llega al frente de la capa MAC con un valor de prioridad específico, este valor se lleva por cada trama de datos con QoS en el encabezado de la trama MAC.
- Para darle prioridad a determinado tráfico, se usa la asignación de AC (categorías de acceso) que hace referencia a la prioridad de determinado tráfico para acceder al medio de una manera más eficiente. Entre más alta sea la prioridad, más alta será la AC
- Una estación 802.11e deberá implementar al menos cuatro categorías de acceso (ACs), donde una AC es una variante mejorada del DCF 0. Cada trama llegando a la MAC con alguna prioridad, y es mapeada en una categoría de acceso (AC). En la tabla 2 se toma un ejemplo de una posible distribución de las ACs.

*Tabla 2. Categorías de acceso*

Nivel de Prioridad	Categoría de Acceso	Designación de Tráfico
1(más baja)	0	Background – datos no periódicos
2	0	---
0	0	mejor esfuerzo – datos periódicos
3	1	Excelente esfuerzo datos sincrónicos
4	2	Carga Controlada
5	2	Video – periódico
6	3	Voz – periódico
7(más alta)	3	Control de red

Básicamente una AC usa AIFS(AC), CWmin(AC) y CWmax en lugar de DIFS, CWmin y CWmax provenientes de DCF, para el proceso de contención transmitir una trama perteneciente a la categoría de acceso AC.

AIFS(AC) es determinado por:

$$\text{AIFS(AC)} = \text{SIFS} + \text{AIFS(AC)} \times \text{Time Slot},$$

Donde AIF(AC) es entero mayor que 0, El contador regresivo CB (Backoff counter) se selecciona de  $[1, 1 + \text{CW(AC)}]$ , en lugar de  $[0, \text{CW}]$  como en el DCF. La figura 2 muestra el diagrama de tiempo del acceso al canal en EDCF.

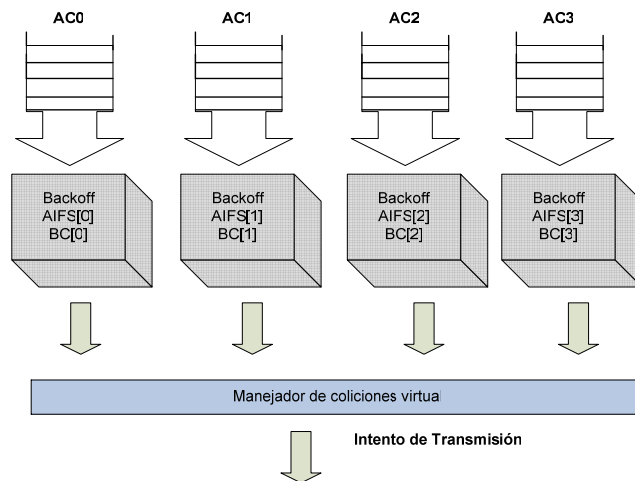


Figura 2. Acceso al Canal de EDCF en 802.11e.

Los valores de AIFS(AC), CWmin(AC) y CWmax, los cuales están referidos como parámetros de de EDCF, son anunciados por el AP por medio de la trama "beacon" (baliza). El AP puede adaptar estos parámetros dinámicamente dependiendo de las condiciones de la red. Básicamente esto corresponde a valores de AIFS(AC) y CWmin(AC) más pequeños para disminuir el retardo por el acceso al canal para la correspondiente prioridad, y por lo tanto mayor capacidad del medio compartido para unas condiciones de tráfico dado. Sin embargo, la probabilidad de colisiones aumenta cuando se trabaja con una CWmin más pequeña. Estos parámetros pueden usarse de acuerdo para diferenciar el acceso al canal entre tráfico de prioridad diferente.

La figura 3 muestra el 802.11eMAC con cuatro colas para transmisión, donde cada una se comporta como una única entidad de contención DCF mejorada. Cada cola tiene su

propio AIFS y su propio BC (Backoff Counter). Cuando hay más de un AC finalizando el backoff al mismo tiempo, la colisión es manejada de una forma virtual, es decir, la trama de más alta prioridad entre las tramas que están efectuando la colisión, es escogida y transmitida, mientras que las otras realizan de nuevo el backoff con un valor de CW incrementado.



**Figura 3. Cuatro Categorías de Acceso para EDCF**

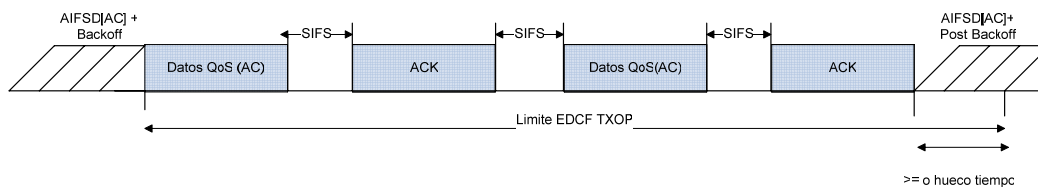
El IEEE 802.11e define una oportunidad de transmisión TXOP como el intervalo de tiempo cuando una estación en particular tiene el derecho a iniciar la transmisión. Adelante con los parámetros EDCF de  $AIFS(AC)^2$ ,  $CWmin(AC)^3$  y  $CWmax(AC)^4$ , el AP también determina y anuncia el límite de un intervalo TXOP de EDCF para cada AC, en una trama "beacon" anuncia el  $TXOPLimit(AC)$ . Durante un EDCF TXOP, una estación se le permite transmitir múltiples MPDUs desde el mismo AC con un espacio de tiempo SIFS, entre un ACK y en la siguiente transmisión del trama. Estas múltiples transmisiones de MPDU se refieren al Tope de Libre Contención CFB. La figura 4 muestra la transmisión de de 2 tramas de datos con QoS durante un EDCF TXOP, donde el tiempo completo de transmisión ocurre en el TXOP límite. El rendimiento con retardo en el peor de los casos no es afectado por la aceptación de CFB. Por el contrario, el CBF incrementa el rendimiento del sistema sin degradamiento del funcionamiento del sistema mientras el

<sup>2</sup>  $AIFS(AC)$ : Arbitration Interframe Space

<sup>3</sup>  $CWmin(AC)$ : Ventana de contención mínima en función de la categoría de acceso (AC).

<sup>4</sup>  $CWmax(AC)$ : Ventana de contención máxima en función de la categoría de acceso (AC).

valor límite de EDCF TXOP es determinado apropiadamente.



**Figura 4. Estructura de Tiempo de CFB.**

- Las tramas con diferentes prioridades se transmiten usando diferentes parámetros de contención CSMA/CA. Con el EDCF, una estación no puede transmitir una trama que se extienda y pase un intervalo de tiempo límite llamado Oportunidad de Transmisión de EDCF TXOP (EDCF Transmisión Opportunity). Si una trama es lo suficientemente grande para ser transmitida en un único TXOP, esta deberá fragmentarse en múltiples tramas.
- Otro Mecanismo llamado el Tope de Libre Contención CFB (Contention Free Burst) que permite a una estación transmitir múltiples tramas MAC consecutivamente mientras el tiempo de transmisión no excede el EDCF TXOP límite, el cual es determinado y anunciado por el AP.

**HCCA (Acceso al Canal Controlado HCF):** Es el segundo mecanismo para acceder al medio inalámbrico. HCCA hace parte del HCF. Este esquema de "Polling" es controlado por un HC centralizado alojado en un AP. El HC esta habilitado para empezar un Periodo de Acceso Controlado (CAP) cuando es requerido (presencia de tráfico poll desde una WSTA (Estación de Trabajo).

Proporciona la capacidad para reservar el TXOPs con el HC. Una estación puede hacer peticiones con el HC para TXOPs para las transmisiones propias, así como transmisiones del HC al mismo. La WSTA informa al HC acerca de los requerimientos específicos de QoS para enviar una especificación detallada del tráfico (TSPEC) al HC. El HC acepta las peticiones basado en las políticas de control para admisiones que dependen de factores como las implementaciones de los vendedores o del programador, capacidad del canal disponible, etc.

Se espera que este mecanismo sea usado para la transferencia de tráfico periódico como lo es voz y video. Si el tráfico es admitido, entonces el programador servirá a la estación durante un periodo de servicio (SP), durante el cual una o más tramas "downlink" son transmitidas a uno o más TXOPs "Polled" que son admitidos en la estación.

El programador es responsable de determinar la velocidad media de datos, el tamaño del paquete y el intervalo de servicio máximo o retardo limite. El programa para un flujo o "polling" admitido es calculado en dos pasos, es primero es calcular el periodo de servicio programado y el segundo es calcular la duración del TXOP para el periodo de servicio.

Es claro que hay dos caminos para que una estación pueda obtener una oportunidad de transmisión, si una estación recibe una trama de CF-Poll + QoS durante el periodo de libre contención, o si la estación gana un instante de contención de EDCF (el cual ocurrirá únicamente durante el periodo de contención). En caso de una oportunidad de transmisión "polled", toda la oportunidad de transmisión es protegida por el conjunto de NAV (Network Allocation Vector) durante la duración de la trama que contiene la función CF-Poll + QoS .

#### **2.2.5 Wi-Fi Multimedia WMM:** Estándar multimedia de la Wi-Fi Alliance

- Las aplicaciones multimedia y los servicios en tiempo real como voz y video, en las redes inalámbricas, requieren funcionalidades de Calidad del Servicio QoS que permitan a los AP priorizar el tráfico y optimizar los recursos de red compartidos que están asignados entre diferentes aplicaciones. Sin QoS , todas las aplicaciones que corren en diferentes máquinas, tienen igual oportunidad para transmitir tramas de datos. Esto está bien para tráfico descendiente de aplicaciones como buscadores Web, transferencia de archivos, correo electrónico entre otros, pero muy inadecuado para aplicaciones multimedia como voz sobre el protocolo de Internet (VoIP), video streaming, juegos interactivos, etc. Que son altamente sensibles a incremento de latencias y reducciones de rendimiento que requieren QoS .
- Encontradas estas necesidades, la Alianza Wi-Fi, empezó la certificación para WMM (WiFi Multimedia) como un adelanto de la extensión de QoS del próximo IEEE



802.11e para redes 802.11. WMM define cuatro categorías de acceso AC (voz, video, mejor esfuerzo y background) que se usan para priorizar el tráfico para que de esta forma estas aplicaciones tengan acceso a los recursos de la red necesarios.

- WMM permite que las que las redes Wi-Fi concurrentes, soporten los dispositivos que carecen de la funcionalidad WMM, tomándolos con la misma categoría de acceso correspondiente al “mejor esfuerzo”.
- WMM fue desarrollado con un fuerte compromiso de interoperabilidad, ya que puede trabajar a través de diferentes tipos de aparatos y de fabricantes, también puede ser implementado por cualquier aplicación que use Wi-Fi.
- Los miembros de la alianza Wi-Fi han trabajado muy de cerca con el TG de 802.11e para el desarrollo de QoS para redes Wi-Fi. El WMM es una instancia del próximo IEEE 802.11e que es la extensión de QoS para 802.11.
- La mayoría de los aparatos desarrollados o en el mercado que no soportan QoS, no tienen porque cambiarse, considerando que muchas de las aplicaciones no lo requieren. Por lo tanto WMM permite a los clientes Wi-Fi con o sin capacidades de WMM, coexistir en la misma red. Sin embargo en los APs, es requisito tener funcionalidades de WMM para soportar clientes habilitados con WMM. El propietario de la red puede comprar cualquiera de los dos, uno con CERTIFICADO Wi-Fi para AP con WMM o aplicar para uno con CERTIFICADO Wi-Fi para un software WMM y mejorar los APs ya desarrollados.
- Buena adaptación a las velocidades de datos dinámicas, esta es un requerimiento clave para una tecnología como Wi-Fi que opera en el espectro libre de licencia y por lo siguiente no puede garantizar un rendimiento constante.
- WMM esta basado en la arquitectura DiffServ de IETF (Internet Engineering Task Force), la cual está bien adecuada para proveer QoS en tecnologías de medio compartido como Wi-Fi, así permite la efectiva priorización de tráfico sin imposición de un gran encabezado. Los paquetes individuales de datos se etiquetan con cualquiera de las dos etiquetas, DSCP (Differentiated Services Code Points) IETF o IEEE 802.1d

**Categorías de Acceso (AC):** WMM define cuatro categorías de acceso derivadas de 802.1d, las cuales corresponden a los niveles de prioridad (Tabla 3). Mientras las cuatro ACs fueron designadas con un tipo específico de tráfico (voz, video, mejor esfuerzo, datos

de baja prioridad) y asociados a las prioridades pensadas, WMM deja al propietario de la red la libre determinación de escoger la política más apropiada para esta y decidir cual categoría de acceso tiene prioridad. Algunos propietarios de redes pueden preferir dar prioridad a la voz sobre los datos, o al video sobre la voz. Una política personalizada para los ACs puede establecerse a través de una interfaz en la cual los niveles de prioridad para las ACs que vienen por defecto pueden modificarse. WMM especifica un protocolo usado por el AP para comunicar la política a los clientes habilitados con QoS y por medio de los clientes enviar peticiones para transmitir.

Tabla 3. Categorías de acceso con WMM

Categorías de Acceso (AC)	Descripción	802.1d Tags
Prioridad de la Voz WMM	Mas alta prioridad Permite múltiples llamadas de VoIP concurrentes, con baja latencia y bajo sacrificio de la calida de voz.	7-6
Prioridad de Video WMM	El tráfico de video es priorizado por encima de otro tráfico de datos. Un canal de 802.11g o 802.11a pueden soportar flujo 3-4 SDTV o 1HDTV	5-4
Prioridad de "Best Effort" WMM	Tráfico proveniente de máquinas heredadas, o tráfico de aplicaciones o aparatos que carecen de capacidades de QoS . Tráfico menos sensible a latencias, pero afectado por largos retardos, como las oleadas de Internet.	0-3
Prioridad de Background WMM	Baja prioridad de tráfico (descarga de archivos, impresión de trabajo) que no tiene requerimientos estrictos de latencia y rendimiento.	2-1

**Operación de WMM:** WMM es un mejoramiento a la subcapa MAC para adicionarle funcionalidades de QoS para las redes Wi-Fi. WMM es una extensión del heredado mecanismo DCF basado en CSMA/CD que le otorga a todas las máquinas la misma prioridad y está basado en un "mejor esfuerzo", con el algoritmo de "escuche antes de hablar". Cada cliente espera por un tiempo aleatorio "backoff", y después transmiten únicamente si otras maquinas no están transmitiendo al tiempo. Esta método para evitar colisiones da a todas los aparatos la oportunidad de transmitir, pero, bajo condiciones de alta demanda de tráfico, las redes se sobrecargan (congestionan) y el funcionamiento de

todas las maquinas es igualmente afectado.

WMM introduce capacidades de priorización de tráfico basados en cuatro ACs mencionadas en la tabla 3 (la más alta AC tiene la más alta probabilidad para transmitir) que dirige la Función de Coordinación Distribuida (DCF) insuficiente para soportar aplicaciones multimedia. Las ACs fueron diseñadas para corresponder a las prioridades de 802.1d para facilitar la interoperabilidad con los mecanismos de gestión de y Políticas de QOS , así como "Plug and Play" (conecta y funciona). Los APs de WMM coexisten con máquinas heredadas (o aparatos que no soportan WMM), por lo tanto los paquetes que no tienen asignada una AC especifica, son categorizados por defecto como si tuvieran una prioridad correspondiente al "mejor esfuerzo".

El trabajo de priorización realizado por WMM se puede observar en las figuras 5 y 6. Las aplicaciones asignan cada paquete de datos a una AC dada. Los paquetes son entonces adicionados a una de las cuatros colas de transmisión independientes (una por AC) en el cliente. El cliente tiene un mecanismo para la resolución de colisiones internas que le permite dirigir las colisiones entre las diferentes colas, las cuales seleccionan las tramas con la más alta prioridad para transmitir. El mismo mecanismo trata con colisiones externas, para determinar cual cliente debería serle concedida la Oportunidad para Transmitir (TXOP).

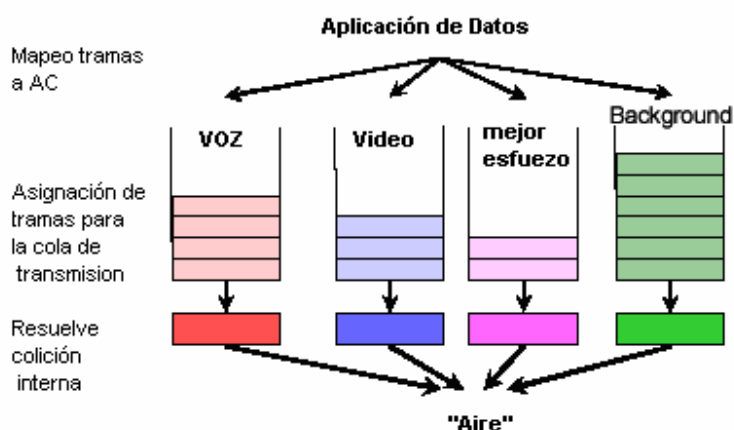


Figura 5. Colas de Transmisión dentro de un cliente WMM

El algoritmo para resolución de colisiones que es responsable de la priorización de tráfico es probabilístico y depende de dos parámetros de tiempo que varían para cada AC (figura 6)

- El espacio mínimo de íter trama, o Número de Espacio Íter trama Arbitrario (AIFSN)
- La Ventana de Contención (CW), algunas veces se refiere a al Tiempo de Espera Backoff Aleatorio.

Estos dos valores son más pequeños para tráfico de alta prioridad. Por cada AC, un valor de backoff se calcula como la suma del AIFSN y un valor aleatorio desde cero a la CW. El valor de la CW varia a través del tiempo, inicialmente la CW empieza en un valor que depende de la AC.

Después de cada colisión, la CW se dobla hasta que se alcanza un valor máximo (también depende de AC). Después de transmisiones exitosas, la CW se reinicia al valor inicial, valor dependiente de AC. La AC con el valor de backoff mas bajo obtiene el TXOP. Como las tramas como la AC más alta tienden a tener el valor de backoff mas bajo, es probable que estas obtengan un TXOP.

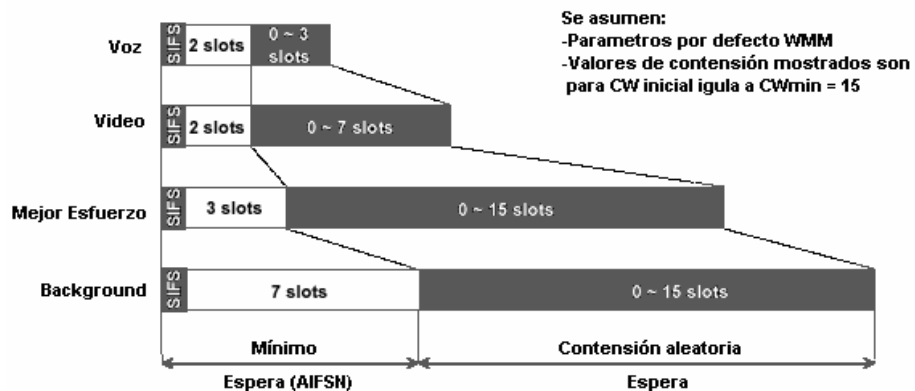


Figura 6. Tiempos de la CA de WMM

Una vez un cliente gana un TXOP, le es permitido transmitir por un tiempo dado que depende de una AC y la velocidad del nivel físico. Por ejemplo, el rango límite de TXOP según el medio físico.

- De 0.2 ms (prioridad de background) a 3 ms (prioridad de video) en una red 802.11a/g
- De 1.2 ms a 6 ms en una red 802.11b

Esto rebosa la capacidad enormemente y aumenta la eficiencia para tráfico de altas velocidades de datos. Además, las máquinas que están operando en velocidades físicas más altas, no son afectadas cuando aparatos que soportan únicamente bajas velocidades a nivel físico (por ejemplo, a causa de la distancia) compiten por el acceso al medio.

WMM ha sido redactado en coordinación con el 802.11e TG, siendo un subconjunto de las capacidades de QoS incluida en el Borrador 802.11e. WMM esta basado en la función del Acceso al Canal Distribuido Mejorado (EDCA) como los define el TG de 802.11e, este Borrador incluye características adicionales que pueden ser incluidos a WMM como un módulo opcional, el cual incluye Acceso Programado, Montaje de Acceso Directo DLS (Direct Link Setup), Bloqueo de reconocimiento, y Ahorro de Potencia. Mientras no se haya establecido una programación aun, La Alianza Wi-Fi espera que el Acceso Programado sea la primera capacidad opcional que WMM haga disponible.

**Acceso Programado:** El Acceso Programado permite a las aplicaciones reservar recursos de red basados en las características del tráfico a través de peticiones enviadas por el cliente al AP. Soporta parametrización, acceso planeado y corresponde al Acceso al Canal Controlado de HCF (HCCA HCF Controls Channel Access) en 802.11e ya que es mas bajo el impacto de los retardos por el Backoff, el acceso programado puede reducir en promedio la latencia de la red por el uso de un mecanismo de centralizado.

El *Polling* Programado para el acceso debe encontrar los requerimientos de las aplicaciones para rendimiento y latencia. El cliente envía una petición de reservación al AP, el cual le asigna el turno de TXOP al flujo de tráfico apropiado. La asignación del AP depende de diferentes parámetros de Especificaciones de Transmisión (TSPEC) como lo

son: velocidad de Datos, velocidad a nivel Físico, Tamaño de los paquetes, intervalo de servicio, y tamaño tope.

Diferente a la línea de fondo de WMM, el acceso programado requiere que el cliente conozca por anticipado que recursos se necesitan y el AP hace suposiciones (por ejemplo: tamaño del paquete mínimo vs. máximo, velocidad a nivel físico mínima vs. máxima, tiempo de establecimiento del servicio, ancho de banda excedente reservado para reintentos) para programar efectivamente el tráfico concurrente.

**2.2.6 Solución de SpectraLink:** SpectraLink Corporation, un fabricante de sistemas de teléfonos inalámbricos para entornos de trabajo, ha diseñado un mecanismo para dar prioridad a la voz para redes WLANs.

Prioridad de la Voz en SpectraLink SVP (SpectraLink Vioce Priority) es una estrategia de QoS abierta y sencilla que ha sido adoptada por los más importantes vendedores de APs para WLAN (entre ellas Cisco y Meru Networks) . SVP favorece a los paquetes de voz sincrónicos sobre paquetes de datos asincrónicos cuando están compitiendo por el medio inalámbrico y cuando se están transmitiendo paquetes en sobre la red cableada.

La base del Método SVP es que tiene en cuenta que los intervalos del backoff aleatorio y la no optimizada cola al AP, pueden causar significativos retardos al tráfico de voz. Modificando el comportamiento del AP, para que reconozca o priorice los paquetes de voz, se incrementa la probabilidad de un mejor funcionamiento mientras continua manejando los paquetes de datos asíncronos normalmente.

SVP es completamente compatible con los estándares 802.11 y 802.11b; SVP no pretende reemplazar mecanismos de QoS futuros que pueden ser ratificados por el comité IEEE. Sin embargo, como hasta el momento no ha sido aceptado un estándar para la priorización de tráfico sincrónico, este método ha sido validado y aceptado por el mercado. En la ausencia de un acuerdo o estándar probado, SpectraLink ha desarrollado SVP para proveer hoy a los consumidores de una solución de telefonía. SpectraLink es un Comité que trabaja con el IEEE y otros desarrolladores de 802.11 para entregar calidad superior de voz sobre WLANs.

**Implementación de SVP sobre Puntos de Acceso de 802.11:** En las redes 802.11, los retardos de los paquetes de longitudes variables ocurrirán debido a los periodos de Backoff aleatorios requeridos por el estándar. Como parte de la implementación de capa MAC CSMA/CA, el Backoff aleatorio requerido después de cada toda transmisión de paquetes, siendo la intención proveer igual acceso al medio.

Con los aparatos de voz, resultan retardos variables, muy indeseables para este tipo de servicio. El Método de SVP especifica un valor para el Backoff de cero para el AP cada vez que el próximo paquete a ser transmitido sea un paquete de voz. Esta implementación es compatible con el estándar 802.11, así como cero es un número de Backoff válido.

La segunda modificación requerida para asegurar la entrega oportuna de los paquetes de voz es evitar dejarlos posados en las colas, donde ellos pueden esperar por una transmisión hasta después que su tiempo de vida útil haya expirado. La metodología de SVP es simplemente priorizar los paquetes de voz a la cabeza de la cola de transmisión. Esto puede ser hecho cualquiera de los dos, implementado dos colas separadas o por medio del envío de paquetes priorizados a la cabeza de una única cola, el resultado funcional es equivalente. El método para la transmisión por colas no está especificado en el estándar 802.11, así como los paquetes entregados a un único punto final no está puesta de nuevo en orden, por lo tanto, el método SVP es completamente compatible con el estándar.

Las dos operaciones que comprende el SVP, minimizan el Backoff aleatorio y la formación de la cola de prioridad, requieren un mecanismo para filtrar los paquetes del AP. El filtrado de paquetes requiere reconocimiento del identificador para protocolo de los paquetes IP. En encabezado de IPv4 el campo es llamado "protocolo" y en el encabezado de IPv6 es el campo "*next header*" (próximo encabezado). El filtrado del paquete básico esta ya implantado en la mayoría de los APs y puede ser fácilmente extendido a fin de identificar los paquetes de voz.

El inherente resultado de la priorización de los paquetes de voz son los posibles retardos en el rendimiento de los paquetes de datos. Para mitigar este impacto en el rendimiento de datos, el número de llamadas de voz simultáneas por AP puede ser limitado así que algo del ancho de banda esta siempre disponible para paquetes de datos.