

## INFORME UIT-R F.2058

**Técnicas de diseño aplicables a los sistemas de acceso inalámbrico fijo  
en banda ancha que transportan paquetes del protocolo Internet  
o células del modo de transferencia asíncrono**

(2006)

## ÍNDICE

	<i>Página</i>	
1	Introducción.....	2
2	Tipos de sistemas FWA que transportan paquetes IP o células ATM en cuanto a la utilización del canal radioeléctrico .....	2
3	Alcance .....	3
4	Referencias .....	4
5	Siglas y acrónimos.....	6
6	Características técnicas que se describen .....	9
	6.1 Método de modulación y acceso múltiple .....	9
	6.2 CoS y QoS .....	9
	6.3 Características del retardo de transferencia .....	10
	6.4 Características técnicas de VoIP.....	11
	6.5 Utilización eficaz del espectro .....	11
	6.6 Técnicas de corrección de errores en sistemas FWA basados en ATM .....	12
	ANEXO 1 – Mecanismo para garantizar la QoS o la CoS en los sistemas FWA de banda ancha.....	12
	ANEXO 2 – Ejemplos de cálculo de retardo medio del protocolo de acceso y variación del retardo en sistemas FWA basados en CSMA/CA .....	31
	ANEXO 3 – Ejemplos de cálculo del tiempo de espera cuando se transmiten varios flujos VoIP en sistemas FWA basados en TDMA .....	37
	ANEXO 4 – Ejemplo de cálculos del retardo de red para la clase 0 de QoS .....	43
	ANEXO 5 – Características técnicas de los sistemas FWA de banda ancha para VoIP .....	47
	ANEXO 6 – Técnicas para mejorar la eficiencia en la utilización del espectro.....	55
	ANEXO 7 – Técnicas de corrección de errores en sistemas FWA basados en ATM .....	57

## 1 Introducción

En el mercado de las telecomunicaciones se hace sentir la necesidad apremiante de servicios de banda ancha. Los usuarios tienen necesidades distintas en cuanto a la velocidad binaria y la calidad del servicio. El protocolo Internet (IP) y el modo de transferencia asíncrono (ATM) se están convirtiendo en los métodos de transmisión de señales más utilizados en las redes alámbricas modernas para atender la demanda de servicios multimedios. Esta tendencia también puede observarse en los sistemas inalámbricos fijos utilizados en las redes de acceso. En general, lo ideal sería que los sistemas de acceso inalámbrico fijo (FWA) basados en IP y ATM tuvieran una capacidad de control de la calidad de servicio (QoS) o de la clase de servicio (CoS) similar a la de los sistemas alámbricos.

La QoS y la CoS son categorías definidas mediante parámetros de calidad de funcionamiento de la transmisión. La QoS corresponde a categorías de calidad de funcionamiento de la transmisión que satisfacen los requisitos de calidad de los usuarios, mientras que la CoS corresponde a clases de calidad de funcionamiento similar que ofrece el administrador de red a los usuarios a título orientativo.

Por otra parte, los sistemas FWA deben cumplir ciertos objetivos en relación con los parámetros de calidad de funcionamiento IP o ATM para la red alámbrica adoptados en las Recomendaciones UIT-T I.356 y Y.1541. A tal efecto, los parámetros de la capa física (PHY) de los sistemas FWA deben diseñarse para cumplir estos objetivos.

La relación entre los parámetros de la capa física y los parámetros de calidad de funcionamiento de la capa IP, por ejemplo el IPTD, figuran en las Recomendaciones UIT-T Y.1540 y Y.1541. La relación entre los parámetros de la capa física y los parámetros de calidad de funcionamiento de la capa ATM, por ejemplo la tasa de células perdidas (CLR) o la tasa de errores en las células (CER) viene dada en la Recomendación UIT-T I.356. Los sistemas FWA basados en ATM deben cumplir además el objetivo SESR (tasa de segundos con muchos errores) estipulado en la Recomendación UIT-R F.1668 (los requisitos y objetivos de calidad de funcionamiento y disponibilidad para los sistemas FWA conectados a la RTPC se describen en la Recomendación UIT-R F.1400).

Tanto IP como ATM son tecnologías basadas en paquetes o células que funcionan a una frecuencia de reloj elevada, por lo que la transmisión de paquetes IP o células ATM puede repercutir en el diseño del sistema y la eficiencia en cuanto a la utilización del espectro de radiofrecuencias. Como consecuencia de estos requisitos, las consideraciones de diseño son distintas a las de los sistemas FWA existentes para voz. Por otra parte, las tecnologías necesarias para las aplicaciones FWA basadas en paquetes IP y células ATM son, en muchos aspectos, similares a las utilizadas en las redes radioeléctricas de área local (RLAN).

La finalidad del presente Informe es facilitar ejemplos de técnicas y métodos de diseño que abarcan diversos aspectos de sistemas FWA para la transmisión de datos IP o ATM.

## 2 Tipos de sistemas FWA que transportan paquetes IP o células ATM en cuanto a la utilización del canal radioeléctrico

Los tipos de sistemas FWA que transportan paquetes IP o células ATM se pueden clasificar por la utilización del canal radioeléctrico del modo siguiente.

El primer tipo consiste en atribuir un canal radioeléctrico exclusivo a cada abonado de manera permanente o durante una llamada. Este tipo es característico de los sistemas de acceso inalámbrico en banda ancha punto a punto (P-P) o punto a multipunto (P-MP) que funcionan generalmente en bandas de frecuencia por encima de 20 GHz. Se suele utilizar para servicios de acceso de líneas arrendadas.

El segundo tipo consiste en atribuir un recurso radioeléctrico en el momento de efectuar la llamada. Este tipo es característico de los sistemas FWA que dan servicios RTPC a una masa de usuarios. Algunos de estos sistemas recurren a las tecnologías de los sistemas de acceso inalámbrico móvil para reducir el coste de los equipos.

En el tercer tipo, el canal radioeléctrico se atribuye sólo cuando hay tráfico de paquetes IP o células ATM. Este tipo es más eficiente en cuanto a la utilización de frecuencias que los dos anteriores, especialmente en el caso de la topología punto a multipunto, siempre que los bits de tara no sean demasiado numerosos. Este tipo de FWA también resulta adecuado para la topología multipunto a multipunto.

Son igualmente típicos del segundo tipo los sistemas basados en RLAN. Además, los sistemas FWA basados en tecnologías RLAN pueden tener la ventaja de que el coste de los equipos sea menor. Una característica del tercer tipo puede explicarse del modo siguiente en el caso de la transmisión de células ATM. Hay dos clases de sistemas FWA que transmiten células ATM:

- a) El sistema FWA transmite células ATM de manera transparente sin identificar la información que contiene la célula.
- b) El sistema FWA identifica la información que figura en el encabezamiento de la célula ATM y gestiona en consecuencia el tratamiento de cada célula dentro de la sección radioeléctrica.

En el caso a), el método de diseño del sistema FWA debe ser básicamente similar a los sistemas destinados a la transmisión de señales SDH. Corresponde al primer tipo de sistemas FWA descrito anteriormente.

En cambio, en el caso b) puede emplearse un mecanismo diferente para transmitir células ATM por la sección radioeléctrica a fin de utilizar con eficacia el espectro de radiofrecuencias.

Algunas de las RLAN que se utilizan principalmente para el acceso inalámbrico nómada (NWA) u otros tipos de sistemas de acceso inalámbrico basados en la transmisión radioeléctrica de paquetes IP o células ATM ya se comercializan como productos o han sido examinados en organismos de normalización de ciertos foros. Las normas relativas a los sistemas de acceso inalámbrico fijo y nómada se indican en las Recomendaciones UIT-R F.757 y UIT-R M.1450.

### **3 Alcance**

En el presente Informe se describen diversas técnicas de diseño aplicables a sistemas FWA basados en tecnologías RLAN o NWA, que transmiten paquetes IP o células ATM a una velocidad superior a varios Mbit/s establecida para la penetración ubicua.

Las soluciones de diseño que figuran en los Anexos al presente Informe se proponen como una de las posibles formas de satisfacer las normas de la capa MAC particular especificadas en las Recomendaciones UIT-T relativas a la transmisión IP y ATM. Cabe señalar que la información contenida en el Anexo 6 no es aplicable al tráfico IP, dado que el concepto de célula vacía es específico del ATM.

El análisis del FWA que se figura en el presente Informe se concentra principalmente en las aplicaciones punto a multipunto, en las que varias estaciones terminales comparten la capacidad de una portadora radioeléctrica facilitada por una estación de base. No obstante, algunas de las técnicas descritas en los Anexos al presente Informe son igualmente aplicables a las transmisiones punto a punto y multipunto a multipunto.

#### 4 Referencias

##### Recomendaciones del UIT-R

Recomendación UIT-R F.757	Requisitos básicos y objetivos de calidad de funcionamiento para sistemas de acceso inalámbrico fijo que utilizan tecnologías derivadas de las tecnologías móviles que ofrecen servicios de telefonía y de comunicaciones de datos.
Recomendación UIT-R M.1450	Características de las redes radioeléctricas de área local de banda ancha.
Recomendación UIT-R F.1668	Objetivos de característica de error para los enlaces inalámbricos fijos digitales utilizados en las conexiones ficticias de referencia y trayectos ficticios de referencia de 27 500 km.
Recomendación UIT-R F.1704	Características de los sistemas inalámbricos fijos multipunto a multipunto con topología de red en malla que funcionan en bandas de frecuencias superiores a unos 17 GHz.
Recomendación UIT-R F.1763	Normas de interfaz radioeléctrica para sistemas de acceso inalámbrico de banda ancha que funcionan en el servicio fijo por debajo de 66 GHz.

##### Recomendaciones del UIT-T

Recomendación UIT-T Y.1540	Servicio de comunicación de datos con protocolo Internet - Parámetros de calidad de funcionamiento relativos a la disponibilidad y la transferencia de paquetes de protocolo Internet.
Recomendación UIT-T Y.1541	Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet.
Recomendación UIT-T P.800	Métodos de determinación subjetiva de la calidad de transmisión.
Recomendación UIT-T P.862	Evaluación de la calidad vocal por percepción: Un método objetivo para la evaluación de la calidad vocal de extremo a extremo de redes telefónicas de banda estrecha y códecs vocales.
Recomendación UIT-T I.356	Calidad de funcionamiento en la transferencia de células en la capa de modo de transferencia asíncrono de la red digital de servicios integrados de banda ancha.
Recomendación UIT-T G.107	El modelo E, un modelo informático para utilización en planificación de la transmisión.
Recomendación UIT-T G.113	Degradaciones de la transmisión debido al tratamiento de las señales vocales.
Recomendación UIT-T G.114	Tiempo de transmisión en un sentido.
Recomendación UIT-T G.711	Modulación por impulsos codificados (MIC) de frecuencias vocales.
Recomendación UIT-T G.723.1	Códec de voz de doble velocidad para la transmisión en comunicaciones multimedios a 5,3 y 6,3 kbit/s.

Recomendación UIT-T G.729 Codificación de la voz a 8 kbit/s mediante predicción lineal con excitación por código algebraico de estructura conjugada.

### Otras referencias

ETSI TS 101 761-1 v1.3.1 Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERLAN Type 2; Data Link Control (DLC) Layer; Part 1: Basic Data Transport Functions.

ETSI TS 101 856 v1.1.1 Broadband Radio Access Networks (BRAN); Functional Requirements for Fixed Wireless Access systems below 11 GHz: HIPERMAN.

ETSI TS 101 999 v1.1.1 Broadband Radio Access Networks (BRAN); HIPERACCESS; PHY protocol specification.

IEEE standard for local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications – Amendment 1: High-speed physical layer in the 5 GHz band.

IEEE standard for local and metropolitan area network – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications.

IEEE standard for local and metropolitan area networks – Specific requirements – Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications – Amendment 4: Further higher-speed physical layer extension in the 2.4 GHz band.

IEEE standard for local and metropolitan area networks – Part 16: Air interface for fixed broadband wireless access systems.

ARIB STD-T70 v1.0 – Low power data communication systems/broadband mobile access communication system (HiSWANa).

Design and considerations for traffic class expediting and dynamic multicast filtering, IEEE Std 802.1D Annex H, IEEE, 1998.

<http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charters.html>

<http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>

<http://www.ietf.org/html.charters/rsvp-charter.html>

Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium access control (MAC) enhancements for quality of service (QoS), IEEE std 802.11e/D1, March 2001.

INOUE, Y., SAITOH, S., IIZUKA, M. and MORIKURA, M. [December 2000] A fair data transfer method by using a CoS control mechanism for fixed wireless access systems, The 2000 International Conference on broadband wireless access systems, p. 19-25.

KAGAMI, O., OTHA, A. and HOJO, H. [November 2002] Development of compact wireless access equipment for an AWA system based on HiSWANa standard, *NTT Rev.*, p. 49-53, Vol. 14, No. 6.

TTC Standard JJ-201.01 [2003] A method for speech quality assessment of IP telephony.

ETSI TR 101 329-7 – End-to-end quality of service in TIPHON systems; Design guide for elements of TIPHON connection from an end-to-end speech transmission point of view.

MASUDA, M. and ORI, K. [November 2001] Network performance metrics in estimating the speech quality of VoIP, IEICE APSITT2001, p. 333-337.

ICHIKAWA, T., *et. al.*, *Approximation of characteristics of CSMA/CA based on IEEE 802.11 standard*, B-5-186, Proceedings of the 2003 IEICE Society Conference.

## 5 Siglas y acrónimos

En el presente Informe se utilizan las siguientes siglas y acrónimos:

ACK	Acuse de recibo ( <i>acknowledge</i> )
AIFS	Separación entre tramas de arbitraje ( <i>arbitration inter-frame space</i> )
ARQ	Petición automática de repetición ( <i>automatic repeat request</i> )
ATM	Modo de transferencia asíncrono ( <i>asynchronous transfer mode</i> )
BC	Canal de radiodifusión ( <i>broadcast channel</i> )
BCC	Código convolucional en bloque ( <i>block convolutional code</i> )
BE	Sin garantías ( <i>best effort</i> )
BEB	Dilación exponencial binaria ( <i>binary exponential backoff</i> )
BER	Tasa de errores en los bits ( <i>bit error ratio</i> )
BS	Estación de base ( <i>base station</i> )
BWA	Acceso inalámbrico en banda ancha ( <i>broadband wireless access</i> )
CBR	Velocidad binaria constante ( <i>constant bit rate</i> )
CBQ	Puesta en cola según la clase ( <i>class based queuing</i> )
CDV	Variación del retardo de célula ( <i>cell delay variation</i> )
CER	Tasa de errores en las células ( <i>cell error ratio</i> )
CLR	Tasa de células perdidas ( <i>cell loss ratio</i> )
CMR	Tasa de inserción errónea de células ( <i>cell misinsertion ratio</i> )
CoS	Clase de servicio ( <i>class of service</i> )
CSMA/CA	Acceso múltiple por detección de portadora con evitación de colisiones ( <i>carrier sensing multiple access with collision avoidance</i> )
CTD	Retardo de transferencia de células ( <i>cell transfer delay</i> )
CW	Ventana de contienda ( <i>contention window</i> )
CWmin	Ventana de contienda mínima ( <i>contention window minimum</i> )
DAMA	Acceso múltiple con asignación por demanda ( <i>demand assign multiple access</i> )
DiffServ	Servicio diferenciado ( <i>differentiated service</i> )
DIFS	Separación entre tramas en la función de coordinación distribuida ( <i>distributed coordination function inter frame space</i> )
DL	Enlace de datos ( <i>data link</i> )
DS	Servicio diferenciado ( <i>differentiated service</i> )
DSA	Asignación dinámica del lapso unitario ( <i>dynamic slot assignment</i> )
EDCF	Función de coordinación distribuida mejorada ( <i>enhanced distributed coordination function</i> )

FCS	Secuencia de verificación de trama ( <i>frame check sequence</i> )
FDD	Dúplex por división de frecuencia ( <i>frequency division duplex</i> )
FSDD	Duplexación por división conmutada de frecuencia ( <i>frequency switched division duplexing</i> )
FEC	Corrección de errores en recepción ( <i>forward error correction</i> )
FIFO	Primero en entrar, primero en salir ( <i>first in first out</i> )
FTP	Protocolo de transferencia de ficheros ( <i>file transfer protocol</i> )
FWA	Acceso inalámbrico fijo ( <i>fixed wireless access</i> )
GBN	Método de reenvío desde N ( <i>go-back-n method</i> )
GBR	Velocidad binaria garantizada ( <i>guaranteed bit rate</i> )
HCF	Función de coordinación híbrida ( <i>hybrid coordination function</i> )
HEC	Control de errores en el encabezamiento ( <i>header error control</i> )
HIPERACCESS	Red de acceso radioeléctrica de altas prestaciones ( <i>high performance radio ACCESS network</i> )
HIPERMAN	Red de área metropolitana de altas prestaciones ( <i>high performance radio metropolitan area network</i> )
HRP	Trayecto de referencia hipotético ( <i>hypothetical reference path</i> )
IEEE	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica ( <i>institute of electrical and electronics engineering</i> )
IETF	Grupo de tareas sobre ingeniería Internet ( <i>internet engineering task force</i> )
IP	Protocolo Internet ( <i>Internet protocol</i> )
IPDV	Variación del retardo de paquetes IP ( <i>IP packet delay variation</i> )
IPER	Tasa de errores en los paquetes IP ( <i>IP packet error ratio</i> )
IPLR	Tasa de paquetes IP perdidos ( <i>IP packet loss ratio</i> )
IPTD	Retardo de transferencia de paquetes IP ( <i>IP packet transfer delay</i> )
LCO	Resultado de células perdidas ( <i>loss cell outcome</i> )
LDP	Protocolo de distribución de etiquetas ( <i>label distribution protocol</i> )
LSR	Encaminador de conmutación de etiquetas ( <i>label switching router</i> )
MAC	Capa de control de acceso al medio ( <i>media access control layer</i> )
MC	Multidifusión ( <i>multicast</i> )
MP	Punto de medición ( <i>measurement point</i> )
MP-MP	Multipunto a multipunto ( <i>multipoint-to-multipoint</i> )
MPLS	Conmutación por etiquetas multiprotocolo ( <i>multi-protocol label switching</i> )
MOS	Nota media de opinión ( <i>mean opinion score</i> )
NAK	Acuse de recibo negativo ( <i>negative acknowledge</i> )
nrtPS	Servicio de interrogación secuencial en tiempo no real ( <i>non-real-time polling service</i> )

OFDM	Multiplexación por división ortogonal de frecuencia ( <i>orthogonal frequency division multiplexing</i> )
PCR	Velocidad de células máxima ( <i>peak cell rate</i> )
PDU	Unidad de datos de protocolo ( <i>protocol data units</i> )
PHSI	Identificador de supresión del encabezamiento de la cabida útil ( <i>payload header suppression identifier</i> )
PLC	Ocultación de la pérdida de paquetes ( <i>packet loss concealment</i> )
PS	Intervalo físico ( <i>physical slot</i> )
$P_{pl}$	Probabilidad de pérdida de paquetes ( <i>packet loss probability</i> )
$P_{pIN}$	Probabilidad de pérdida de paquetes en la red ( <i>packet loss probability in network</i> )
$P_{pIB}$	Probabilidad de pérdida de paquetes en la memoria tampón de antirfluctuación ( <i>packet loss probability in jitter absorption buffer</i> )
PHB	Comportamiento por salto ( <i>per-hop behaviour</i> )
PHY	Capa física ( <i>physical layer</i> )
P-P	Punto a punto ( <i>point-to-point</i> )
P-MP	Punto a multipunto ( <i>point-to-multipoint</i> )
PESQ	Evaluación perceptual de la calidad vocal ( <i>perceptual evaluation of speech quality</i> )
PSTN	Red telefónica pública conmutada ( <i>public switched telephone network</i> )
QoS	Calidad del servicio ( <i>quality of service</i> )
R	Factor de determinación de índices ( <i>rating factor</i> )
RSVP	Protocolo de reserva de recursos ( <i>resource reservation protocol</i> )
rtPS	Servicio de interrogación secuencial en tiempo real ( <i>real-time polling service</i> )
RTS/CTS	Petición de enviar/anulación de enviar
SLA	Acuerdo entre servicios ( <i>service level agreement</i> )
SC	Portadora única ( <i>single carrier</i> )
SDH	Jerarquía digital síncrona ( <i>synchronous digital hierarchy</i> )
SDMA	Acceso múltiple por división en el espacio ( <i>space division multiple access</i> )
SIFS	Separación entre tramas breve ( <i>short inter frame space</i> )
SR	Repetición selectiva ( <i>selective repeat</i> )
TC	Categoría de tráfico ( <i>traffic category</i> )
TCI	Información sobre el control de etiquetas ( <i>tag control information</i> )
TDD	Dúplex por división en el tiempo ( <i>time division duplex</i> )
TDM	Múltiplex por división en el tiempo ( <i>time division multiplex</i> )
TDMA	Acceso múltiple por división en el tiempo ( <i>time division multiple access</i> )
ToS	Tipo de servicio ( <i>type of service</i> )

TTC	Comité de Tecnología de Telecomunicaciones ( <i>Telecommunication Technology Committee</i> )
UBR	Velocidad binaria no especificada ( <i>unspecified bit rate</i> )
UIT-R	Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Radiocomunicaciones
UIT-T	Unión Internacional de Telecomunicaciones – Sector de Normalización de las Telecomunicaciones
UGS	Servicio de concesión no solicitada ( <i>unsolicited grant service</i> )
UNI	Interfaz usuario-red ( <i>user network interface</i> )
VoIP	Voz por el protocolo Internet ( <i>voice over Internet protocol</i> )
WAN	Red de área extensa ( <i>wide area network</i> )
WFQ	Puesta en cola equitativa ponderada ( <i>weighted fair queuing</i> )
WRR	Ordenamiento cíclico ponderado ( <i>weighted round robin</i> )

## 6 Características técnicas que se describen

### 6.1 Método de modulación y acceso múltiple

En el Cuadro 1 se indican a título orientativo los métodos preferidos de acceso múltiple y técnicas de modulación para sistema FWA de banda ancha que transportan paquetes IP o células ATM.

CUADRO 1

#### Métodos de acceso múltiple y técnicas de modulación

Señal transportada	Acceso múltiple <sup>(1)</sup>	Modulación
Paquetes IP	TDM-TDD/FDD TDMA-TDD/FDD OFDMA-TDD/FDD DAMA-TDD/FDD CSMA/CA DSSS-OFDM	Adaptive (MAQ-4, -16 y -64) <sup>(2)</sup> Adaptive (MDPB, MAQ-4, -16 y -64) <sup>(2)</sup> Adaptive (MDPB, MAQ-4, -16 y -64) <sup>(2)</sup> Presetable (MAQ-4 y -16) CCK (MDP-4) DSSS (MDPB, MDP-4)
Células ATM	TDM-TDD/FDD TDMA-TDD/FDD OFDMA-TDD/FDD DAMA-TDD/FDD	Adaptive (MAQ-4, -16 y -64) <sup>(2)</sup> Adaptive (MDPB, MAQ-4, -16 y -64) <sup>(2)</sup> Adaptive (MDPB, MAQ-4, -16, -64 y -256) <sup>(2)</sup> Presetable (MAQ-4 y -16)

<sup>(1)</sup> Técnica dúplex incluida.

<sup>(2)</sup> Estas técnicas de modulación pueden aplicarse junto con OFDM.

### 6.2 CoS y QoS

La demanda de servicios con calidad de servicio garantizada es cada vez mayor en las diversas aplicaciones de banda ancha. Resulta igualmente conveniente garantizar la calidad de servicio en los sistemas FWA cuya calidad de comunicaciones corresponde con la de los diversos servicios.

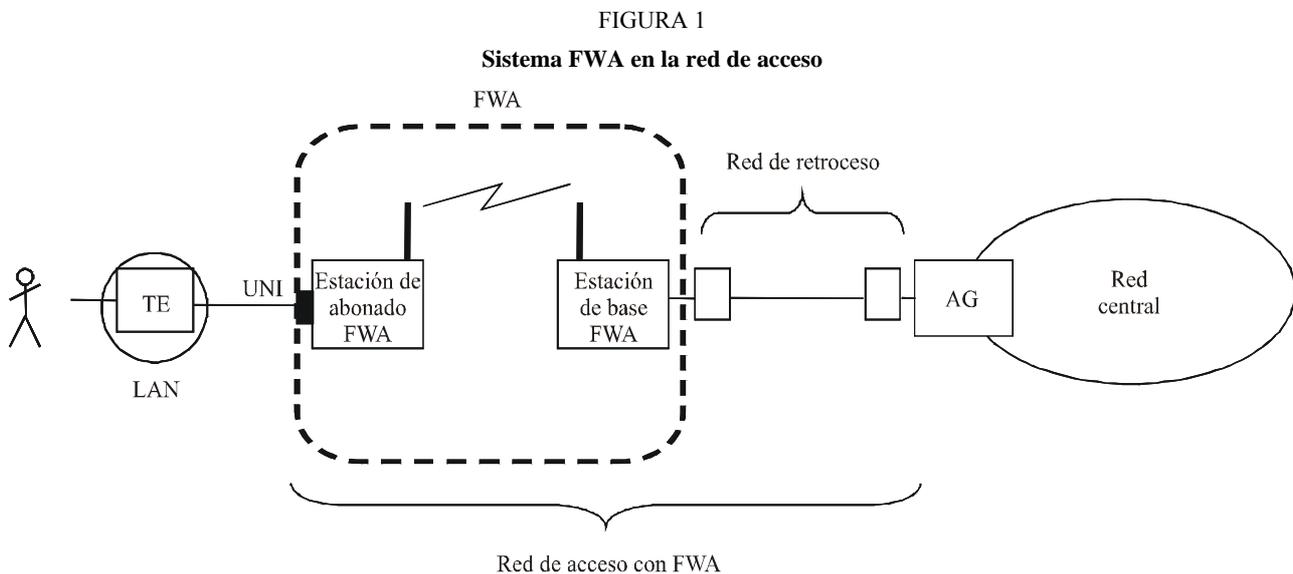
El FWA basado en ATM permite controlar la QoS, que es una de las capacidades del transporte ATM. En cambio, en los sistemas FWA basados en IP la solución realista es el control de la CoS, dadas la anchura de banda limitada y las características del canal radioeléctrico.

En el Anexo 1 se describe un mecanismo para garantizar la CoS y la QoS en sistemas FWA mediante el control distribuido o centralizado.

### 6.3 Características del retardo de transferencia

En la Recomendación UIT-T Y.1541 se especifican los objetivos de calidad de funcionamiento IP global. Entre los parámetros de calidad de funcionamiento que han de tomarse en consideración al diseñar sistemas FWA que transportan paquetes IP o células ATM están los parámetros de retardo de transferencia, es decir, el IPTD y la IPDV definidos en la Recomendación UIT-T Y.1540.

En adelante, no se especifica la contribución de cada parte que integra la red de acceso al cumplimiento de los requisitos de extremo a extremo en cuanto al IPTD y la IPDV entre dos terminales UNI. En esencia, los sistemas FWA deben diseñarse de modo que el IPTD y la IPDV globales, por ejemplo en la configuración de la Fig. 1, cumplan los requisitos especificados en la Recomendación UIT-T Y.1541.



AG: Pasarela de acceso  
TE: Equipo terminal  
UNI: Interfaz usuario-red

Rap 2058-01

Para cumplir los requisitos mencionados, cabe tener presentes las siguientes consideraciones.

En general, los equipos FWA (la estación de abonado, la estación de base, etc.) disponen de memorias tampón para controlar los tiempos de transmisión, compensar las fluctuaciones de fase, dar formato a las tramas, etc. Estas memorias introducen retardos en los sistemas FWA. Los protocolos de acceso representativos de los sistemas FWA son CSMA/CA y TDMA, y precisamente estos protocolos constituyen el factor dominante que determina las características de retardo de los sistemas FWA.

#### 6.3.1 Consideraciones relativas al IPTD

En el caso de CSMA/CA, para evitar la colisión de paquetes se recurre a técnicas de dilación y RTS/CTS. Estas técnicas causan la degradación del IPTD, especialmente cuando muchas estaciones tratan de enviar paquetes simultáneamente (véase el Anexo 2).

En el caso de TDMA, las estaciones de base controlan todas las anchuras de banda y las asignan a cada flujo de servicio, de modo que las conexiones sin colisiones quedan garantizadas desde el principio. Una vez concluido el procedimiento de conexión inicial, no se produce degradación del IPTD, como en el caso de CSMA/CA, por utilizar técnicas de dilación y RTS/CTS para evitar la colisión. Ahora bien, hay otros factores que pueden causar la degradación del IPTD, por ejemplo el algoritmo de planificación, la estructura de tramas, el volumen de tráfico y la capacidad (véase el Anexo 3).

### 6.3.2 Consideraciones relativas a la IPDV

Los sistemas FWA basados en CSMA/CA suelen utilizar el mecanismo BEB, que puede causar una gran IPDV de vez en cuando. Este mecanismo reduce la probabilidad de que se produzcan retransmisiones simultáneas desde múltiples estaciones, pero causa la degradación de la IPDV. Además puede aumentar el tiempo de espera para transmisión de otros paquetes, especialmente cuando un paquete largo ocupa el canal de radiocomunicaciones durante un lapso de tiempo prolongado, lo que también produce la degradación de la IPDV.

En el caso de TDMA, las estaciones de base controlan la anchura de banda de cada flujo de servicio. Por lo tanto, puede lograrse transmisiones con menor fluctuación de fase que en el caso de CSMA/CA.

En el Anexo 4 se dan orientaciones técnicas y ejemplos de cálculo del IPTD y la IPDV para un sistema inalámbrico de acceso a un parte de la red IP.

## 6.4 Características técnicas de VoIP

La VoIP se considera recientemente una de las aplicaciones más atractivas de las redes basadas en IP.

Existen varios parámetros de calidad de funcionamiento que ofrecen una cierta QoS para VoIP. Algunos de estos parámetros, por ejemplo el retardo o la tasa de pérdida de paquetes, se definen en las Recomendaciones del UIT-T relativas a la red de extremo a extremo (tanto para la sección inalámbrica como para la alámbrica). Así pues, deben definirse también los objetivos de estos parámetros de calidad de funcionamiento para la sección inalámbrica.

En el Anexo 5 se indican las características técnicas de sistemas FWA de banda ancha que admiten VoIP, que se han obtenido a partir de los estudios efectuados por el TTC y que figuran en la Norma TTC JJ-201.01 – *A Method for Speech Quality Assessment of IP Telephony* (Método para la evaluación de la calidad vocal en la telefonía IP), 2003.

## 6.5 Utilización eficaz del espectro

Existen dos posibles métodos de control para utilizar eficazmente el espectro, a saber, la técnica de control de la capa física (PHY) y la técnica de control de la capa MAC.

La técnica de control de la capa física presenta dos variantes. La primera consiste en rellenar paquetes o células completas mediante la modulación adaptativa, DAMA y TTD adaptativos. La segunda forma consiste en utilizar SDMA en una antena sectorial o una red de antenas para incrementar la eficiencia en la utilización del espectro.

La técnica de control de la capa MAC consiste en asignar un espectro adecuado a los datos en función de su aplicación o calidad de servicio deseada. Los datos se fragmentan o agrupan en paquetes para aumentar la eficiencia de la cabida útil de los datos. En el Anexo 6 se describe una tecnología para eliminar células vacías sin introducir CDV para un sistema FWA basado en ATM con el fin de utilizar con mayor eficacia el espectro.

## 6.6 Técnicas de corrección de errores en sistemas FWA basados en ATM

En los sistemas FWA basados en ATM puede mejorarse la característica de error mediante la ARQ y/o la FEC.

En el Anexo 7 se describen las técnicas de corrección de errores en sistemas FWA basados en ATM.

## Anexo 1

### Mecanismo para garantizar la QoS o la CoS en los sistemas FWA de banda ancha

#### 1 Introducción

En el presente Anexo se describen los mecanismos para garantizar la QoS y/o la CoS en los sistemas FWA de banda ancha. El control de acceso al canal de radiocomunicaciones puede ser de dos tipos, a saber, distribuido o centralizado. Como ejemplo de sistema de control distribuido puede citarse el IEEE 802.11, que consiste en un servicio de conmutación de paquetes basado en CSMA/CA. Por otra parte, la estación de base asigna el intervalo de tiempo de la trama MAC TDMA a los terminales de abonado o una frecuencia combinada y división de tiempo en OFDMA en el sistema de control centralizado. Ejemplos de sistema de control centralizado son ETSI-BRAN HIPERMAN, HIPERACCESS, HIPERLAN, IEEE802.16-2004 o MMAC-HSWA HiSWAN. La QoS íntegra, aun en condiciones de sobrecarga, sólo puede lograrse con los sistemas de control centralizado.

Existen dos mecanismos para cumplir la QoS y la CoS. El primero se basa en establecer prioridades, de modo que se controla la prioridad entre las clases de servicio sin especificar los parámetros específicos del servicio. El segundo se basa en parámetros que garantizan la calidad de la comunicación. Garantizar la QoS sólo es posible mediante el mecanismo basado en parámetros.

En el § 2 se presenta una descripción general de control de la CoS. En el § 3 se abordan los mecanismos de gestión de prioridades y puesta en cola para efectuar el control de la CoS. Los § 4 y § 5 versan sobre el mecanismo de control de la CoS en modo distribuido y el mecanismo de control de la QoS en modo centralizado, respectivamente. Por último, en el § 6 se compara el sistema de control distribuido con el centralizado.

#### 2 Descripción general del control de la CoS

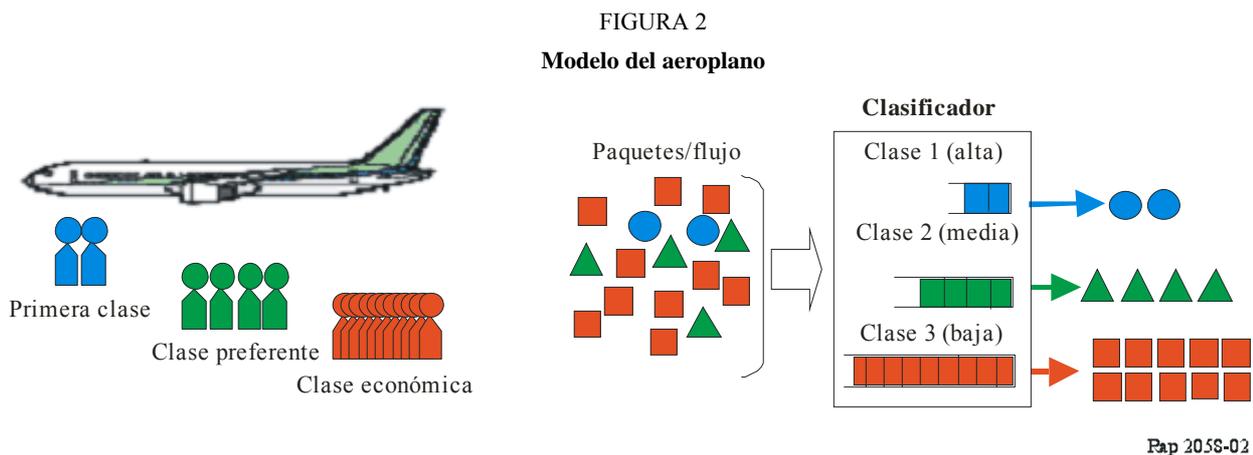
##### 2.1 Modelo del aeroplano

Para explicar el control de la CoS a menudo se recurre al «modelo del aeroplano» (véase la Fig. 2). La calidad de servicio se clasifica en diversas clases de servicio de igual modo que los asientos de un avión se clasifican en primera clase, clase preferente y clase económica. Las clases más elevadas que la clase «sin garantías» (*best effort*) permiten ofrecer servicios de alto nivel, por ejemplo, se garantiza un tiempo de transmisión mínimo o una anchura de banda determinada. El servicio de alta calidad se facilita si la petición del usuario se acepta. Se utilizan métodos de control de admisión o control de política para determinar qué clases de servicio están autorizadas a transferir datos. En función de la clase de servicio, cada transferencia de datos se transmite de acuerdo con la calidad correspondiente. No obstante, en estas clases de servicio elevadas el volumen de tráfico está limitado, dado que también lo está la anchura de banda disponible.

## 2.2 Mecanismo de control de la CoS para tráfico sin garantías en el entorno FWA

### 2.2.1 Control de la prioridad para el control de la CoS

Para poder efectuar el control de la CoS es necesario que se hayan definido, al menos, dos CoS. La prioridad guarda relación con la CoS y la diferenciación del servicio se realiza conforme a dicha prioridad. La estación de base debe determinar la CoS de cada transferencia sin garantías. El abonado ha de conocer la CoS al transmitir datos sin garantías. A continuación se describen los métodos para determinar la CoS y traducirla al abonado.



### 2.2.2 Determinación de la prioridad

Existen varias formas de determinar la CoS para transmitir datos sin garantías entre la estación de base y la estación de abonado. Los usuarios comerciales o de altas prestaciones tendrán mayor prioridad al transmitir datos sin garantías que los demás. En este caso, se utiliza un mecanismo de autenticación para averiguar la CoS del abonado. La estación de base puede controlar la anchura de banda atribuida a un abonado que ocupa los recursos del sistema al transmitir o recibir un mayor volumen de datos. Para proteger el sistema contra los abonados que consumen muchos recursos, la estación de base puede cambiar la CoS de tales abonados a una clase inferior. Así pues, la estación de base verifica el volumen de datos que transmite y/o recibe cada abonado y cambia su CoS con arreglo a dicho volumen y a un determinado umbral.

En los dos casos, la función de la estación de base es determinar la CoS del abonado. En el primer caso, la estación de base consulta al servidor de autenticación o la base de datos interna. En el segundo caso, la estación de base controla la CoS que se ofrece a cada abonado.

### 2.2.3 Notificación de la CoS a los abonados

Para controlar la CoS en los dos sentidos de la transmisión, la estación de base tiene que notificar la CoS de cada abonado. Para ello se utiliza la señalización saliente y entrante.

En la señalización saliente, la estación de base envía información sobre la clase de servicio a cada abonado antes de comenzar la transferencia de datos. En este caso, la estación de base debe notificar al abonado cualquier cambio que se produzca en su CoS.

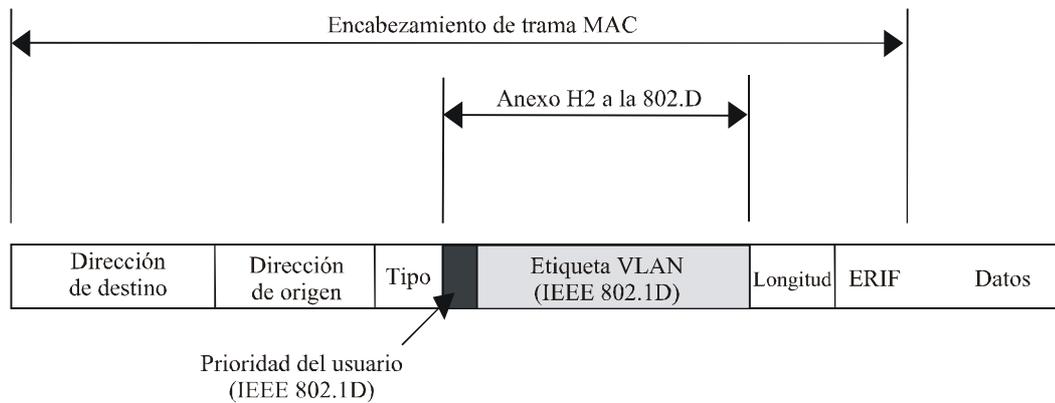
Otra posibilidad es la señalización entrante, en la que la estación de base envía la información determinada sobre la CoS junto con los datos mediante un mecanismo similar al utilizado en el Anexo H2 de la norma IEEE 802.1D, como se muestra en la Fig. 3. La estación de base establece la prioridad de la trama en el encabezamiento de la misma. Como la prioridad guarda relación con la CoS, el abonado puede deducir la CoS a partir de la información relativa a la prioridad.

Como se observa en la Fig. 4, el abonado establece la misma información de prioridad que la correspondiente a la última trama de datos recibida.

La CoS determinada debe tomarse en consideración en el método de control de acceso. Si bien existen muchos métodos de acceso aleatorio, la mayoría no admiten esta funcionalidad. Se ha propuesto un método basado en CSMA/CA para establecer prioridades de transmisión.

El control de prioridades basado en la señalización entrante parece ser una solución realista para controlar la CoS en sistemas FWA, dado que no requiere tanta anchura de banda como la señalización saliente.

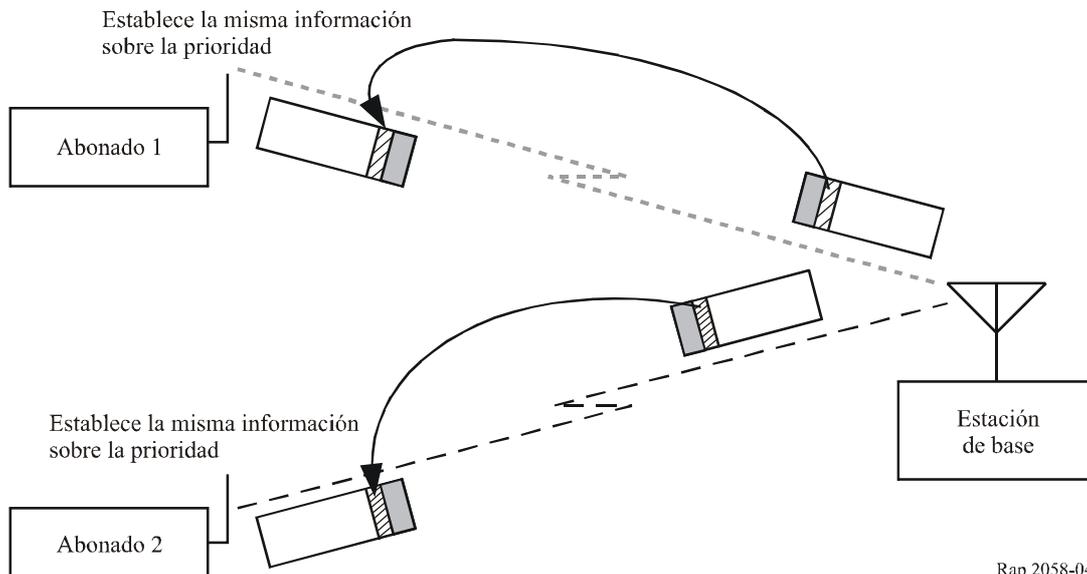
FIGURA 3  
Control de prioridad por etiquetado de trama



ERIF: campo de información sobre el encaminamiento integrado

Rap 2058-03

FIGURA 4  
Notificación de la CoS mediante señalización entrante



Rap 2058-04

## **2.3 Efecto del control de la CoS**

### **2.3.1 Acceso equitativo**

Una forma práctica de controlar la CoS es impedir que cierto usuario ocupe toda la limitada anchura de banda del canal inalámbrico y proporcionar así acceso equitativo a todos los abonados. Para ello se crea una clase de servicio inferior a la clase sin garantías habitual y se fuerza al abonado que consume una gran parte de los recursos de frecuencia a degradar la clase de servicio.

Comprobando el volumen de datos transferidos para cada abonado en las estaciones de base, el operador puede conocer la actividad de cada usuario. Existen otras formas de verificar el volumen de datos transferido para cada abonado. Por ejemplo, la dirección IP da información suficiente para distinguir a los usuarios más consumidores. Evidentemente, el operador puede verificar el tráfico con mayor detalle.

El proveedor de servicios debe aplicar un mecanismo de control de políticas para proteger los recursos de sistemas contra los usuarios que consumen deliberadamente demasiados recursos del sistema.

### **2.3.2 Control de la CoS de extremo a extremo**

Para controlar eficazmente la CoS de extremo a extremo, las estaciones de base FWA y/o sus encaminadores superiores tienen que estar provistos de funciones de gestión de la CoS y, en la medida de lo posible, los terminales de abonado deben estar dotados de la correspondiente funcionalidad. La aplicación o no del control de la CoS dependerá de la anchura de banda disponible. Para satisfacer las necesidades de los distintos usuarios abonados, el sistema precisa una anchura de banda mayor que la necesaria para los servicios sin garantías habituales. Aun cuando la limitada anchura de banda y el canal de radiocomunicaciones no sean tan fiables, puede ofrecerse cierto nivel de control de la CoS.

## **3 Mecanismos de gestión de prioridades y puesta en cola que permiten el control de la CoS en los sistemas FWA**

### **3.1 Introducción**

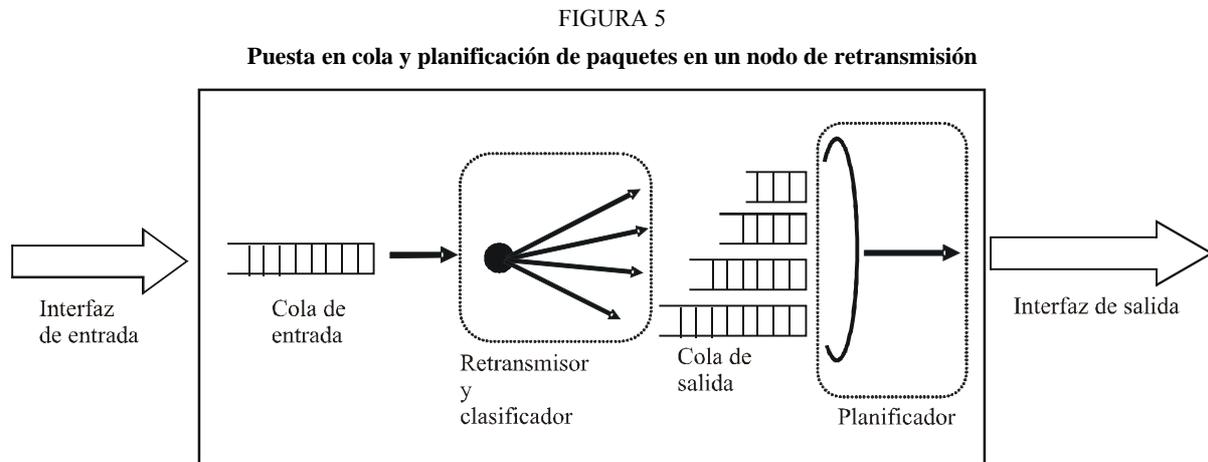
En el presente apartado se describen los mecanismos de puesta en cola y de gestión de prioridades que permiten controlar la CoS en los sistemas FWA. El mecanismo de puesta en cola que permite controlar la prioridad y/u ofrecer una transmisión de datos equitativa sirve para diferenciar el servicio con arreglo a las clases de servicio. Se describen sucintamente algunos tipos de mecanismos de puesta en cola. Además, se propone un mecanismo de gestión de prioridades que permite controlar la CoS para proporcionar una transferencia de datos equitativa.

### **3.2 Mecanismos de puesta en cola para sistemas FWA**

El control de CoS sirve para garantizar la calidad de las comunicaciones de cada transferencia de datos con arreglo a su clase de servicio. El control de CoS se consigue cuando todos los nodos entre los sistemas extremos disponen de una función para diferenciar el servicio de acuerdo con la clase de servicio. El mecanismo básico para ello es la puesta en cola.

La puesta en cola puede considerarse como un almacenamiento en memoria tampón que permite reordenar los paquetes IP y desempeña una función muy importante en los nodos de retransmisión. Esta operación se lleva a cabo cuando el nodo retransmite un paquete desde la cola de entrada de la interfaz hacia la cola de salida de otra interfaz, como se indica en la Fig. 5. Durante este proceso, la clasificación y planificación de paquetes en la cola de salida es fundamental para efectuar el control

de la CoS. A continuación se describen los métodos de puesta en cola de salida, es decir, métodos de planificación de paquetes, y se explican brevemente los mecanismos elementales.



Rap 2058-05

### 3.2.1 Puesta en cola FIFO (primero en entrar, primero en salir)

La puesta en cola FIFO es el método convencional que se aplica en el transporte de paquetes IP desde la interfaz de entrada hacia la interfaz de salida y consiste en almacenarlos y reenviarlos. Los paquetes recibidos se ponen en cola por orden de llegada y se envían por la interfaz de salida en el mismo orden.

La puesta en cola FIFO es el mecanismo más popular y muchos fabricantes lo integran en sus productos. Si bien se trata de un mecanismo rápido y sencillo, introduce retardos cuando el volumen de tráfico aumenta. Además, no permite diferenciar los servicios, por lo que no sirve para las funciones de control de la CoS.

### 3.2.2 Puesta en cola prioritaria

En la puesta en cola prioritaria, se da curso los paquetes de mayor prioridad antes que a los demás. Consiste en reconocer el tipo de tráfico y colocar los paquetes de mayor prioridad a la cabeza de la cola de salida. Se utilizan varias colas de salida que corresponden a las clases de tráfico. En la puesta en cola prioritaria, los paquetes recibidos se ponen en la cola de salida con arreglo a un orden determinado, de modo que los de mayor prioridad se transmiten antes que los de menor prioridad.

### 3.2.3 Puesta en cola según la clase (CBQ)

En la CBQ, el tráfico en la red se clasifica en varias clases definidas por el operador de red para realizar diferentes operaciones de reenvío de acuerdo con el tipo de tráfico. Cada paquete se envía según su clase de tráfico. Los nodos de reenvío disponen de colas de salida para cada clase de tráfico y el operador puede planificar el tráfico saliente de cada cola. A diferencia de la puesta en cola prioritaria, la CBQ permite enviar cada paquete con arreglo al nivel de transmisión clasificado.

### 3.2.4 Puesta en cola equitativa ponderada (WFQ)

La WFQ es un mecanismo mixto de la puesta en cola prioritaria y la equitativa, en el que la transferencia de datos se efectúa teniendo presente la prioridad y el volumen de tráfico de cada clase de tráfico.

### 3.3 Mecanismos de control de la CoS en la capa 3 o capas superiores

Para controlar la CoS entre usuarios extremos, se han propuesto varios mecanismos que funcionan en la capa IP y son eficaces para efectuar el control de la CoS de extremo a extremo. Si las estaciones de base FWA o los encaminadores del sistema están provistos de esta funcionalidad, se podrán ofrecer diversos servicios multimedios. En el Cuadro 2 se muestran los métodos actuales de control de la CoS para la capa 2 y 3 o capas superiores.

CUADRO 2

#### Métodos actuales de control de la CoS

Capa	Método		Organismo de normalización
Capa 2	Anexo H2 a la IEEE 802.1D	Rotulado según el Anexo H2 a la norma IEEE 802.1D	Comité IEEE 802
Capa 3-4	MPLS	Conmutación por etiquetas	IETF
	DiffServ	Utilización del campo DS (campo IP ToS)	IETF
	RSVP	Señalización RSVP	IETF

#### 3.3.1 Conmutación por etiquetas multiprotocolo (MPLS)

La conmutación por etiquetas es una técnica utilizada para reenviar paquetes a alta velocidad. Se asigna a cada flujo de datos una etiqueta de la capa de enlace de datos para distinguirlo de los demás. En el MPLS se utilizan encaminadores de conmutación por etiquetas (LSR) de modo que la retransmisión de paquetes se lleva a cabo en la capa 2 en lugar de la capa 3, para lo cual se comprueba el encabezamiento de trama de los paquetes. Por consiguiente, la conmutación de paquetes a alta velocidad está permitida al no tener que analizar el encabezamiento IP, salvo el del primer paquete.

Al asignar una etiqueta a la transferencia de datos, se puede también asignar una calidad de servicio a dicha transferencia. La etiqueta para una transferencia de datos se propaga hacia otros LSR a través del LDP. En ese momento, se distribuye también la clase de servicio (CoS), que configuran los LSR. Para efectuar el control CoS de extremo a extremo, es indispensable que el encaminador limítrofe, el LSR conectado al encaminador convencional y otros LSR incorporen también el modelo DiffServ.

#### 3.3.2 Servicios diferenciados (DiffServ)

En el modelo DiffServ, los niveles de servicio se diferencian mediante el campo ToS del encabezamiento del paquete IP. Este campo no se utiliza en IPv4 y su significado se redefine en el modelo DiffServ. El control de tráfico basado en políticas o reglas tiene lugar en el dominio DS, que está constituido por nodos con capacidad DS. Las operaciones de los nodos DS tales como el modo de retransmisión de paquetes para cada flujo de datos de la CoS específica, se define mediante el PHB.

Al transferir datos a través de dominios DS con una calidad de servicio determinada, los servidores de políticas de estos dominios negocian entre sí. La anchura de banda necesaria para transferir datos la obtiene el mediador de anchura de banda una vez concertado el acuerdo entre servicios (SLA).

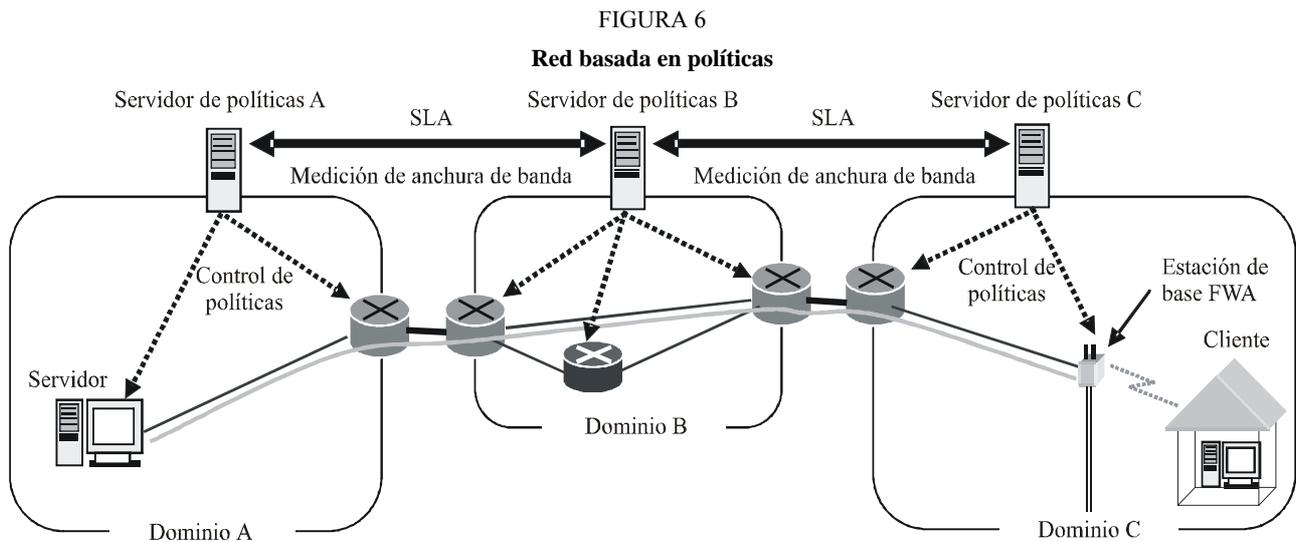
#### 3.3.3 Gestión de red basada en políticas para la configuración de la CoS

Para determinar la prioridad de una transferencia de datos con arreglo a las necesidades del abonado o a los efectos de controlar la prioridad del abonado, es preciso efectuar la gestión de red basada en

políticas o reglas. Se recurrirá al controlador de políticas y al controlador de admisión para gestionar los recursos de red o la prioridad de los abonados.

Cuando se emplea la gestión de red basada en políticas, conviene que los sistemas FWA dispongan de un mecanismo de control de acceso centralizado en el protocolo de capa 2. Aunque el acceso aleatorio, por ejemplo CSMA y sus variantes, puede ser suficiente para prestar servicios sin garantías, para propagar y garantizar el flujo de datos con una CoS determinada se precisan mecanismos de acceso centralizados, por ejemplo un protocolo basado en la interrogación secuencial.

En la Fig. 6 se ilustra un ejemplo.



Rap 2058-06

### 3.3.4 Mecanismo de control de la CoS en sistemas FWA

Cabe considerar algunas estrategias para aplicar el mecanismo de control de la CoS en sistemas FWA con arreglo a la funcionalidad de la estación de base FWA. Básicamente, la función de control de la CoS para los flujos de datos en la región inalámbrica reside en la capa MAC, dado que el procedimiento de acceso se define en esta capa.

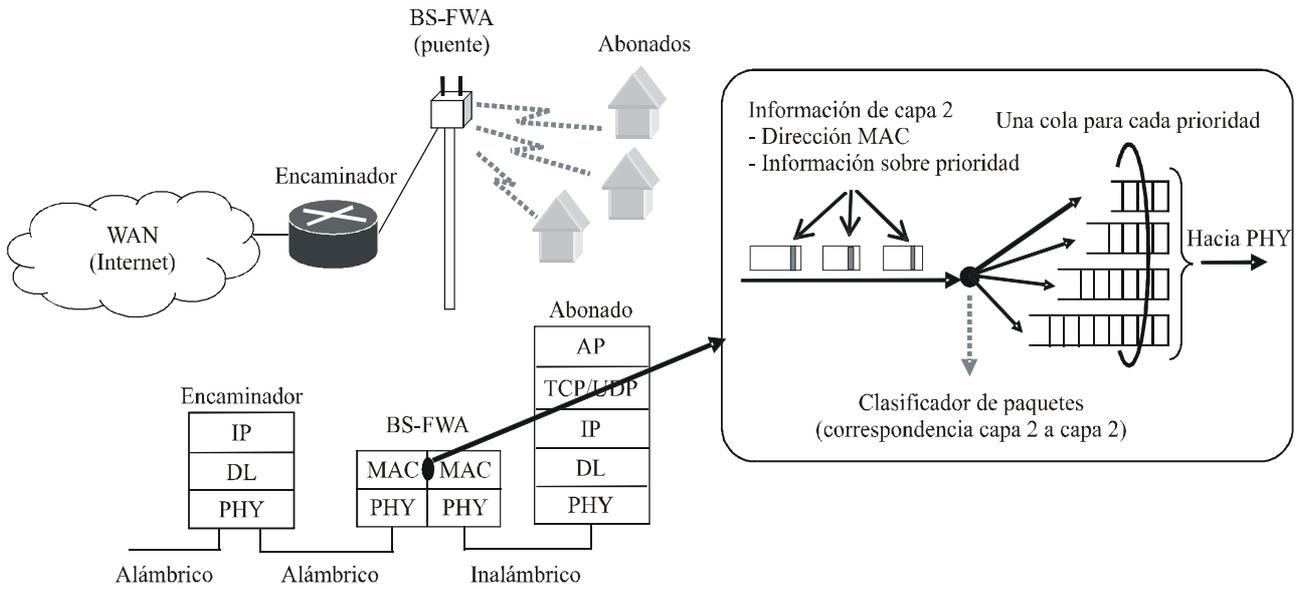
#### 3.3.4.1 Estación de base FWA en modo puente

Cuando la estación de base FWA funciona en modo puente como se ilustra en la Fig. 7, una forma sencilla de realizar la CoS es disponer de algún tipo de puesta en cola para cada clase de servicio. Basándose en la información relativa a la prioridad que figura en el encabezamiento de la trama MAC, la estación de base determina la prioridad de la trama y la pone adecuadamente en cola. Si la estación de base retransmite la trama desde la región alámbrica a la inalámbrica, o viceversa, quizá resulte necesaria una conversión de protocolo y la operación mencionada puede efectuarse en dicho proceso. Al transmitir la trama almacenada, la estación de base extrae las tramas de la memoria intermedia de conformidad con el algoritmo determinado y luego las envía por el canal. Una forma de garantizar la CoS consiste en aplicar los métodos de puesta en cola y gestión de prioridades.

Otras formas de realizar la CoS serán objeto de un estudio ulterior.

FIGURA 7

**Estación de base FWA en modo puente**



BS: estación de base

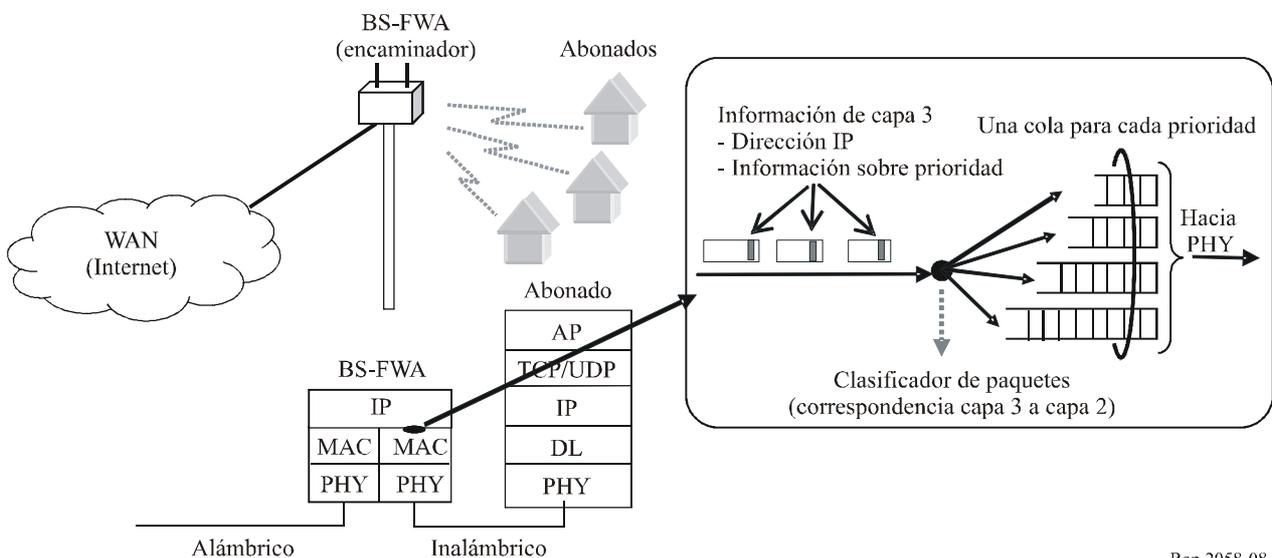
Rap 2058-07

**3.3.4.2 Estación de base FWA en modo encaminador**

En la Fig. 8 se describe el caso de una estación de base FWA funcionando en modo encaminador, por ejemplo, para proporcionar el control de la CoS. En este caso, la estación de base debe gestionar la información relativa a la prioridad entre las diferentes capas, esto es, la capa 3 y la capa 2. En muchas configuraciones se utiliza el método de señalización entrante para diferenciar los paquetes de mayor prioridad de los paquetes sin garantías habituales. En tal caso, la información relativa a la prioridad se incorpora en el encabezamiento del paquete. Se supone que la estación de base FWA incorpora la funcionalidad de puesta en cola prioritaria en la capa MAC y que se hace corresponder la clase de servicio en la capa 3 con la prioridad en la capa 2.

FIGURA 8

**Estación de base FWA en modo encaminador**



Rap 2058-08

### 3.3.4.3 Terminales de abonado

Los terminales de abonado del sistema FWA requieren mecanismos para controlar la CoS.

Al recibir una trama de datos, la capa MAC del terminal de abonado debe interpretar la información relativa a la prioridad contenida en la trama y transferirla a la capa superior. Si un abonado desea enviar datos con alta prioridad, la capa MAC del terminal debe establecer la información relativa a la prioridad de la trama.

Cuando el origen de los datos de alta prioridad es un terminal de abonado, quizá deba estar provisto de la funcionalidad de negociar con el servidor de políticas, el encaminador o la estación de base para poder reservar la anchura de banda necesaria para los datos.

## 4 Mecanismo de control distribuido de la CoS en sistemas FWA

### 4.1 Aplicación del protocolo CSMA/CA para poder controlar la CoS

Los métodos basados en CSMA son comúnmente utilizados como mecanismo MAC distribuido en el entorno de las LAN. El método de acceso básico del sistema LAN inalámbrico de la norma IEEE 802.11 es el protocolo CSMA/CA. Este protocolo ofrece igual de oportunidades a las transmisiones de datos de las estaciones, por lo que no tiene en cuenta la prioridad de los datos. Para lograr el control de la CoS, debe modificarse el protocolo CSMA/CA de tal modo que pueda diferenciar los servicios con arreglo a la prioridad de los datos transmitidos. Para establecer la prioridad de los datos se modifica el procedimiento de dilación del protocolo CSMA/CA. A continuación se describe brevemente el protocolo CSMA/CA original y el modificado.

### 4.2 Protocolo CSMA/CA original

En el protocolo CSMA/CA, tanto la estación de base como los abonados comprueban el estado del canal para saber si está disponible. El canal se considera inactivo si la estación no detecta señal alguna durante un periodo de tiempo específico, denominado DIFS.

Cuando la estación recibe datos, comienza a transmitirlos inmediatamente si el canal está inactivo. Si el canal está ocupado en el momento de recibirlos, la estación aplica el procedimiento de dilación hasta que el canal queda libre a fin de evitar colisiones. El procedimiento de dilación consiste en que la estación preparada para transmitir espera un tiempo de dilación aleatorio antes de comenzar la transmisión, utilizando para ello un número aleatorio  $N$  a partir de una gama determinada. A continuación la estación comienza a disminuir el tiempo de dilación. El número aleatorio disminuye en cada periodo denominado «lapso unitario». La estación inicia la transmisión de la trama cuando su dilación llega a 0. En el caso de que el canal esté de nuevo ocupado antes de que el número llegue a cero, la estación detiene la reducción del tiempo de dilación y espera a que el canal esté inactivo. Cuando el canal vuelve a estar inactivo, la estación comienza nuevamente a disminuir el valor de su tiempo de dilación.

Tras recibir correctamente una trama de datos, la estación devuelve un acuse de recibo (ACK) al emisor dentro de un periodo de tiempo determinado, denominado SIFS. Si el emisor no recibe el ACK dentro de periodo de tiempo especificado, vuelve a transmitir la misma trama de datos.

### 4.3 Protocolo CSMA/CA modificado para la diferenciación de servicios

En el protocolo CSMA/CA modificado, se parte del supuesto de que la estación de base dispone de al menos dos colas para el tráfico sin garantías. Cada cola tiene su propia prioridad para transmitir datos, que corresponde a la clase de servicio. A continuación se describe el algoritmo del protocolo CSMA/CA modificado cuando existen dos clases de servicio para las transmisiones sin garantías.

La clase del servicio con mayor prioridad para transmitir datos se denomina clase de prioridad alta y la de menor prioridad, clase de prioridad baja.

Para poder aplicar la diferenciación de servicio, se modifica el algoritmo de dilación del protocolo CSMA/CA tal y como se muestra en la Fig. 9. En el protocolo CSMA/CA modificado, las estaciones utilizan lapsos de tiempo diferentes para cada clase de servicio. En la Fig. 9, el intercambio de datos entre la estación de base y el abonado 1 se produce con una clase de prioridad alta, y el valor del lapso unitario utilizado en el algoritmo de dilación es  $T_A$ . Análogamente, el intercambio de datos entre la estación de base y el abonado 2 se produce con una clase de prioridad baja y el valor de lapso unitario es  $T_B$ . Como se observa en la Fig. 9,  $T_A$  es menor que  $T_B$ . Al utilizar lapsos unitarios de distinto valor, los datos de prioridad alta tienden a transmitirse con mayor frecuencia que los de prioridad baja. Así pues, la prioridad de la clase de servicio se traduce en el número de intentos de transmisión por clase de servicio.

La estación de base dispone de dos colas de transmisión, una para cada clase de servicio de los datos. El procedimiento CSMA/CA se ejecuta con independencia de cola de transmisión de que se trate. La estación de abonado transmite datos con la clase de servicio especificada por la estación de base. En consecuencia, se consigue realizar la diferenciación de servicio con arreglo a la clase de servicio.

#### **4.4 Control de la CoS basado en la EDCF en un sistema FWA**

##### **4.4.1 DCF tradicional**

Como se ilustra en la Fig. 10, el procedimiento básico de acceso al canal que utilizan los sistemas inalámbricos de la norma IEEE 802.11 es una DCF (función de coordinación distribuida) denominado CSMA/CA. El protocolo CSMA/CA ofrece igualdad de oportunidades a las transmisiones de datos de las estaciones listas para ello, por lo que no tiene en cuenta la prioridad de los datos. En este protocolo, las tramas se transmiten de manera distribuida.

La estación que se dispone a enviar datos comprueba el estado del canal antes de iniciar la transmisión. El canal se considera inactivo si no se detecta portadora alguna durante el tiempo de detección de portadora DIFS. Si el canal está inactivo, la estación comienza a transmitir de inmediato. De lo contrario, la estación aplica el procedimiento de dilación una vez que el canal pasa al estado inactivo y genera un número aleatorio en el temporizador de dilación. Si el canal sigue estando inactivo, la estación disminuye este contador a intervalos concretos, denominado «lapso unitario», dentro de la ventana de contienda, y comienza a transmitir los datos cuando el contador llega a cero.

Tras recibir correctamente una trama, la estación devuelve un ACK al emisor transcurrido un periodo de tiempo SIFS después de la recepción. En caso de no recibir el ACK dentro de un intervalo de tiempo determinado, el emisor vuelve a transmitir las tramas de datos.

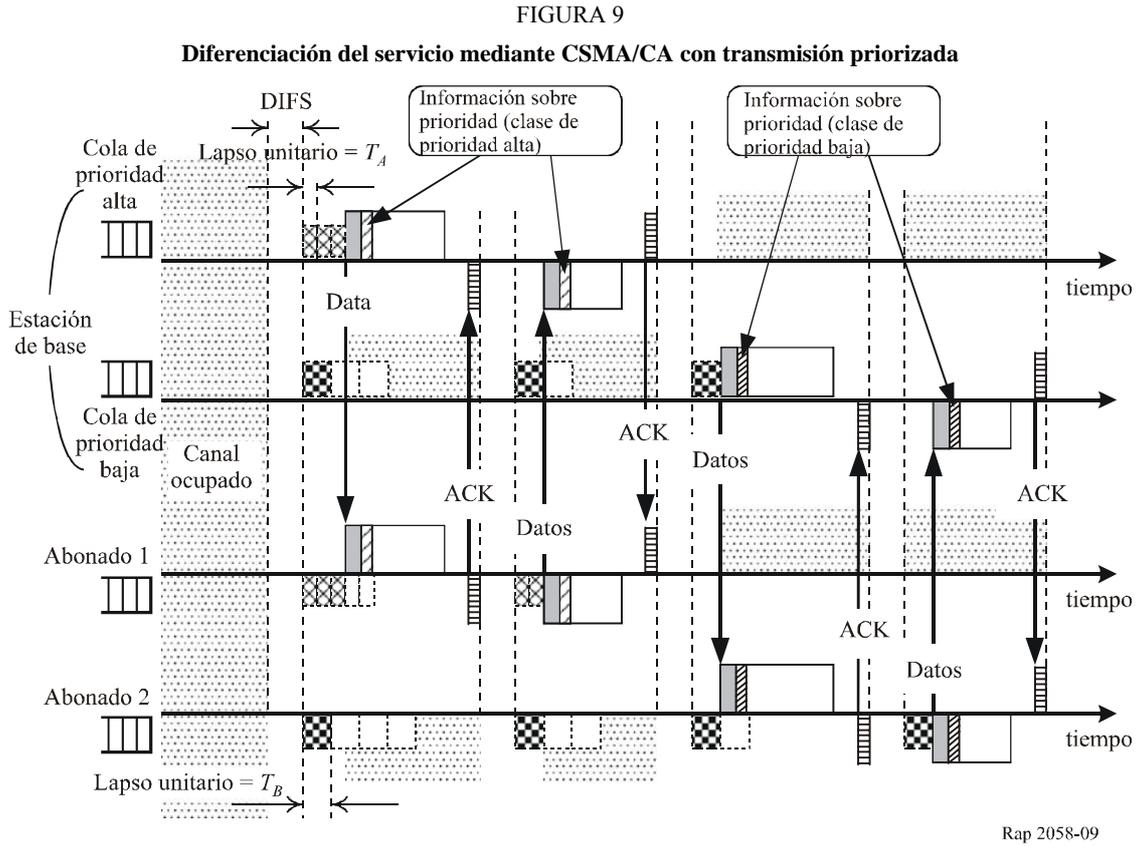
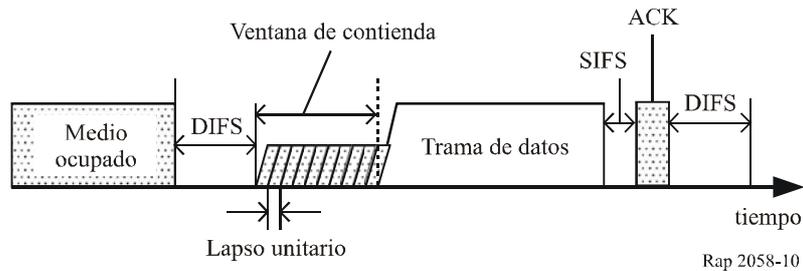


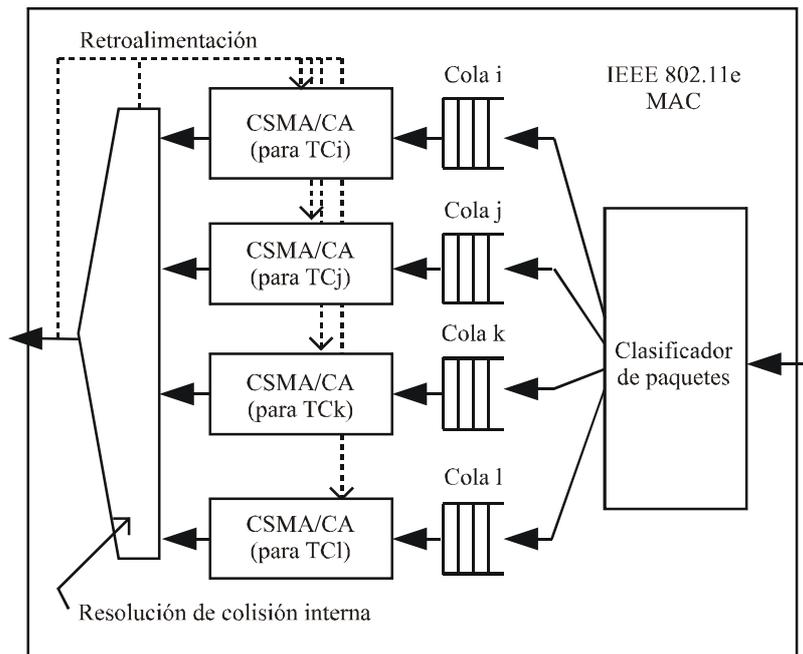
FIGURA 10  
Ejemplo de canal IEEE 802.11



**4.4.2 Función mejorada de coordinación distribuida (EDCF)**

EDCF es una modificación del mecanismo CSMA/CA. En la EDCF, las tramas de datos se clasifican en ocho categorías de tráfico (TC) a lo sumo, de modo que el número de TC corresponda con los definidos en el Anexo H a la norma IEEE 802.11D. La Fig. 11 ilustra la estructura de la MAC en la IEEE 802.11TGe. Las estaciones EDCF disponen como máximo de ocho colas de salida priorizadas, una por cada TC. Cuando una estación EDCF comienza a enviar la trama de datos, las colas de salida compiten entre ellas para transmitir tramas de datos mediante el procedimiento EDCF. El protocolo EDCF proporciona acceso CSMA/CA diferenciado al medio inalámbrico para las colas de salida priorizadas y aplica la diferenciación de servicio de acuerdo con la prioridad de la trama de datos. El servicio de diferenciación de la EDCF consiste en utilizar uno de los dos métodos de control prioritario que se describen a continuación.

FIGURA 11  
MAC en la IEEE 802.11e



Rap 2058-11

#### 4.4.3 Algoritmo de dilación

El procedimiento de dilación se basa en el algoritmo de dilación binario. El tiempo de dilación es igual al lapso unitario multiplicado por un número aleatorio. En el procedimiento de dilación, la estación genera un número aleatorio a partir de una distribución uniforme que va de 0 a CW. Cada vez que la estación retransmite la trama, el valor de CW se incrementa secuencialmente por potencias enteras de 2, menos 1, hasta que la CW alcanza su valor máximo, CW<sub>max</sub>. Una vez alcanzado este valor, CW permanece en el mismo hasta que se pone de nuevo a 0.

En el procedimiento EDCF, la estación calcula y mantiene el valor de CW para cada cola priorizada, es decir, para la cola i: 0~CW<sub>i</sub>, para la cola j: 0~CW<sub>j</sub>. Si la prioridad de la cola i es mayor que la de la cola j, se asignará a CW<sub>i</sub> un valor más pequeño que a CW<sub>j</sub>. De este modo se puede realizar la diferenciación de servicio.

#### 4.4.4 Separación entre tramas de arbitraje (AIFS)

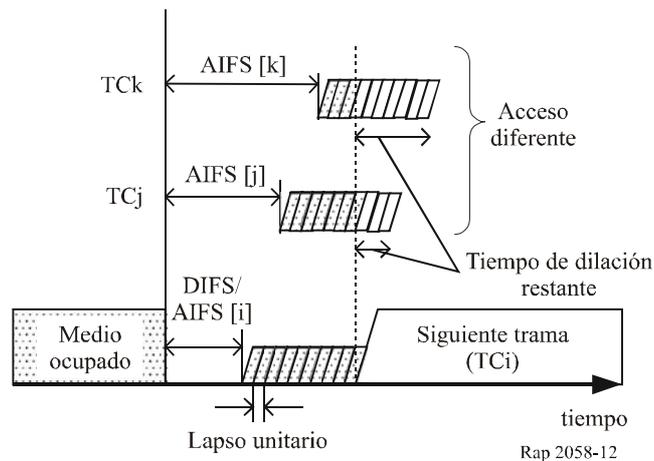
En el procedimiento CSMA/CA tradicional, el canal se considera inactivo si no se detecta portadora durante más de DIFS. En el procedimiento EDCF se emplea AIFS en lugar de DIFS, como puede verse en la Fig. 12. Si la prioridad de la cola i es mayor que la de la cola j, AIFS[i] será menor que AIFS[j]. Este procedimiento permite controlar la prioridad para varias categorías de tráfico (TC).

#### 4.5 Ejemplo de clase de servicio (CoS) (Anexo H2 de la norma IEEE 802.1D)

En los sistemas basados en Ethernet, se contemplan ocho niveles de calidad de servicio en el Anexo H2 a la norma IEEE 802.1D y cada calidad del servicio tiene su equivalencia con una prioridad de usuario. La información relativa a la prioridad del usuario figura en el campo de encabezamiento ampliado de la trama MAC. Este sistema admite el control de la CoS por prioridades y por parámetros. Según se indica en el Cuadro 3, las prioridades de usuario 4, 5 y 6 se establecen mediante parámetros CoS y las demás mediante CoS priorizadas.

FIGURA 12

## Mecanismo de control de la prioridad basado en AIFS



Rap 2058-12

CUADRO 3

## Prioridades de usuario y categorías de tráfico en las LAN de la norma IEEE 802

Prioridad de usuario	Tipo de tráfico	Descripción
1	Tráfico de fondo (BK)	Transferencia de gran volumen y otras actividades autorizadas en la red pero que no deben afectar a la utilización de la red por otros usuarios y aplicaciones
2	Reservado	
0 (por defecto)	Sin garantías (BE)	Tráfico LAN, tal y como lo conocemos hoy en día
3	Excelente garantía (EE)	Servicios del tipo sin garantías que la organización de servicios de información presta a sus clientes más importantes
4	Carga controlada (CL)	Aplicaciones empresariales importantes sujetas a algún tipo de «control de admisión». Son aquellas en las que se planifican con antelación las necesidades de red en un extremo para reservar anchura de banda para cada flujo en el momento en que comienza a transmitirse el flujo en el otro extremo
5	Vídeo (VI)	Retardo inferior a 100 ms
6	Voz (VO)	Retardo inferior a 10 ms y por ende máxima fluctuación de fase. (Transmisión unidireccional)
7	Control de red (NC)	Mantenimiento y soporte de la infraestructura de red

Muchos productos comerciales utilizan un mecanismo de puesta en cola prioritaria, por ejemplo la puesta en cola equitativa ponderada (WFQ) y el ordenamiento cíclico ponderado (WRR).

El Anexo H2 a la norma IEEE 802.1D estipula un mecanismo de correspondencia entre los tipos de tráfico y las clases de tráfico dependiendo del número de colas que tiene un dispositivo. En el Cuadro 4 se indica la correspondencia especificada en esta norma.

CUADRO 4

**Correspondencia entre el tipo y la clase de tráfico**

Número de colas	Tipos de tráfico
1	{BK, BE, EE, CL, VI, VO, NC}
2	{BK, BE, EE}, {CL, VI, VO, NC}
3	{BK, BE, EE}, {CL, VI}, {VO, NC}
4	{BK}, {BE, EE}, {CL, VI}, {VO, NC}
5	{BK}, {BE, EE}, {CL}, {VI}, {VO, NC}
6	{BK}, {BE}, {EE}, {CL}, {VI}, {VO, NC}
7	{BK}, {BE}, {EE}, {CL}, {VI}, {VO}, {NC}

**5 Mecanismo de control centralizado en sistemas FWA****5.1 Introducción**

El control de la QoS se ha convertido recientemente en la tecnología esencial para la transmisión de tráfico multimedia en redes IP. El control de la QoS permite a los sistemas establecer diversos niveles de calidad de la comunicación en función de las necesidades del usuario. Para ello, el sistema requiere mecanismos complejos, tales como la reserva/atribución de anchura de banda, el control de admisión, el control de políticas y la mediación de anchura de banda.

El sistema centralizado resulta adecuado para controlar la QoS. La estación de base incorpora una función de planificación para asignar anchura de banda.

La anchura de banda se asigna según la aplicación, por ejemplo, teléfono, correo electrónico, vídeo, etc. Dado que las necesidades de anchura de banda y retardo serán distintas en cada la aplicación, la estación de base define tres clases de QoS. En el § 5.2 se indica un ejemplo de especificación de clases de QoS en sistemas inalámbricos, y en el § 5.3 se describe una función de planificación para la asignación de anchura de banda en la estación de base.

**5.2 Ejemplo de clase de QoS en un sistema inalámbrico**

En el Cuadro 5 se muestra una clase de QoS para un sistema inalámbrico con control centralizado.

CUADRO 5

**Ejemplo de clase de QoS para sistemas inalámbricos con control centralizado**

Clase de QoS	CBR/GBR/UBR	ARQ	Ejemplo de servicio
1	GBR o UBR	Sí	Correo-e, FTP
2	CBR	Sí	Imágenes
3	CBR	No	Teléfono, imágenes en tiempo real

La clase 1 ofrece un servicio a velocidad binaria garantizada (GBR) o velocidad binaria no especificada (UBR), que garantiza la asignación de una anchura de banda mínima a la estación de abonado a la vez que mantiene una comunicación del tipo sin garantías. En esta clase se garantiza la disponibilidad de una determinada anchura de banda mínima aun cuando circule tráfico de muchos usuarios simultáneamente.

Las clases 2 y 3 ofrecen un servicio a velocidad binaria constante (CBR) con arreglo a la declaración del usuario. Estas clases son idóneas para recibir servicios de imágenes en tiempo real. En la clase 3 no se emplea ARQ con objeto de minimizar el retardo de transferencia de datos.

### 5.3 Cálculo de la anchura de banda efectiva para los diferentes servicios

Habida cuenta de que cada servicio es de naturaleza diferente y con necesidades de anchura de banda también diferentes, el sistema debe poder distinguir las clases de servicio y decidir los métodos de asignación de anchura de banda para cada servicio. A continuación se describe en detalle un método posible. En primer lugar, los servicios deben clasificarse en varios tipos con arreglo a sus atributos, tales como las necesidades en cuanto a retardo y prioridad. En segundo lugar, para calcular la anchura de banda efectiva de cada tipo de servicio se utilizará la ecuación correspondiente, lo que lleva implícito los requisitos de QoS de los servicios. Por último, el sistema asignará la anchura de banda resultante a cada tipo de servicio. De este modo, se consigue establecer la QoS de los servicios en un sistema FWA centralizado.

Una característica típica del tráfico de datos por paquetes es que se transmite a ráfagas, y en este contexto la anchura de banda efectiva se define para caracterizar la cantidad general de recursos utilizados por el tráfico de datos por paquetes. Por otra parte, resulta igualmente necesario especificar la anchura de banda media y la máxima. El sistema ajustará dinámicamente la anchura de banda de la transmisión a medida que se vayan transfiriendo los datos de cierto tipo de servicio y luego evaluará la calidad de la transmisión mediante parámetros tales como el retardo, BER, etc. Además, la percepción por parte del usuario debe ser uno de los criterios para determinar la anchura de banda media. Si los datos se reciben con una calidad aceptable, la anchura de banda necesaria en ese instante será igual a la anchura de banda media. Si no puede lograrse una mejora significativa de la calidad de funcionamiento al aumentar la anchura de banda, ésta será la anchura de banda máxima.

La naturaleza a ráfagas de los datos por paquetes puede entrañar posibles pérdidas durante los periodos de sobrecarga temporales. Por esa razón, la estación de base debe reservar el mayor número de recursos posible para obtener la calidad de funcionamiento idónea. Ahora bien, los operadores desean utilizar eficazmente los recursos disponibles y tratarán de no atribuir demasiada anchura a un usuario. A fin de emplear los recursos de manera más eficiente, a continuación se describe un método de cálculo de la anchura de banda efectiva y se dan ejemplos de cuatro tipos de servicios.

#### *Servicio conversacional*

Las características básicas que debe tener esta clase son retardo pequeño, pequeña fluctuación de fase (variación del retardo), claridad razonable y ausencia de ecos. En el caso de aplicaciones multimedia, es igualmente necesario mantener una temporización relativa entre los diferentes trenes de medios.

Al tratarse de un servicio CBR, su caudal máximo es idéntico al caudal medio y su anchura de banda efectiva se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Anchura_{efectiva} = Th_{media} + \varphi * (TH_{max} - TH_{media}) \quad (1)$$

siendo:

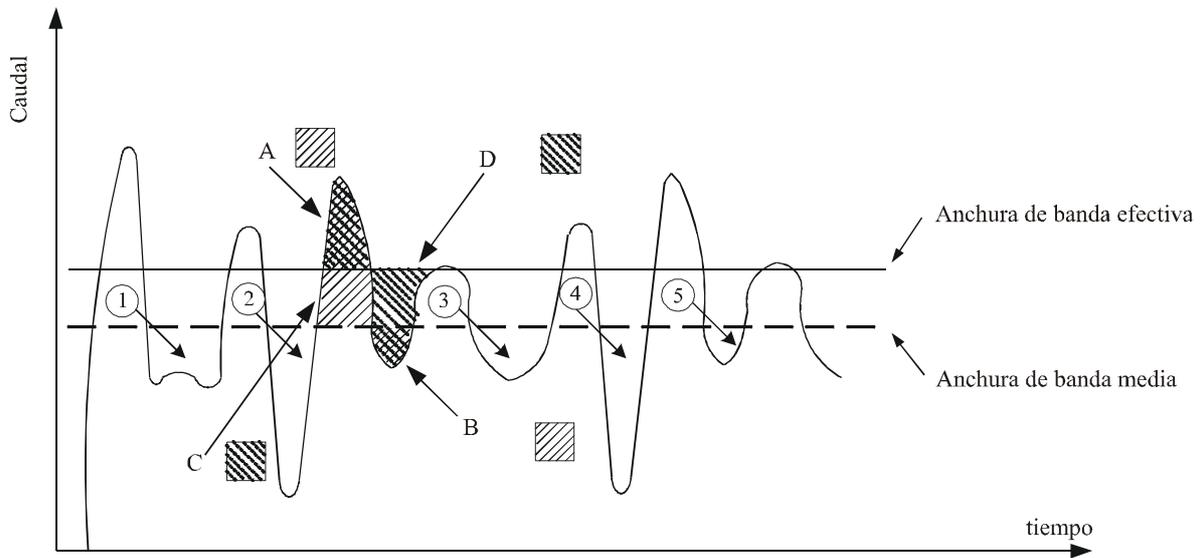
$Anchura_{efectiva}$ :	la anchura de banda efectiva del servicio
$Th_{media}$ :	la anchura de banda media del servicio
$TH_{max}$ :	la anchura de banda máxima del servicio

$\phi$ , varía entre 0 y 1 y depende del requisito de retardo del servicio y su valor lo decide el operador. Cuanto menor sea el retardo tolerado (valor negociado) o más frecuentes sean las ráfagas de tráfico, mayor deberá seleccionarse el valor de  $\phi$ , lo que significa que será necesario reservar más recursos, y se obtendrá mayor fiabilidad de QoS. Dicho de otro modo, cuanto mayor fiabilidad quiera obtenerse menor será el número de usuarios que se admitirán al mismo tiempo. Naturalmente, si el caudal medio necesario es igual al máximo, se podrá prescindir del parámetro  $\phi$  como en el caso de un servicio conversacional y la ecuación (1) se simplifica para obtener la ecuación (2)

$$Anchura_{efectiva} = Th_{media} = TH_{max} \quad (2)$$

A continuación se describe cómo seleccionar el valor de  $\phi$  adecuado. Como puede verse en la Fig. 13, el tráfico de datos por paquetes se caracteriza por su aleatoriedad y transferencia a ráfagas. Si se toma como anchura de banda efectiva el caudal medio, la mayor parte de los datos se transmiten durante un intervalo lo suficientemente pequeño, aun cuando la velocidad transitoria sea mayor que la anchura de banda efectiva. Las crestas 1 y 5 no podrán enviarse a tiempo, lo que causará congestión o se rechazarán y, por tanto, afectará la calidad de funcionamiento del sistema. Así pues, en este caso debe seleccionarse una anchura de banda efectiva mayor que la media para aquellos servicios con ráfagas frecuentes y alta prioridad.

FIGURA 13  
Anchuras de banda efectiva y media



Rap 2058-13

### *Servicio de transmisión en secuencias (streaming)*

La clase correspondiente a la transmisión en secuencias se utiliza para aplicaciones en tiempo real que envían información al espectador u oyente, sin obtener respuesta del mismo. Ejemplos son el vídeo a la carta, la retransmisión de noticias y la multidifusión.

Al no haber interactividad, no se requiere necesariamente un retardo pequeño, pero los requisitos en cuanto a la pequeña fluctuación de fase y sincronización de los medios siguen siendo aplicables. A diferencia del servicio de voz, la transmisión en secuencias no es un servicio CBR y el valor máximo del caudal suele ser mayor que el valor medio. La anchura de banda efectiva para este servicio se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Anchura_{efectiva} = Th_{media} + \varphi * (TH_{max} - TH_{media}) \quad (3)$$

Los parámetros en la ecuación (3) son los mismos que los definidos para la ecuación (1). La velocidad en este tipo de servicio no varía tanto de modo que el valor de  $\varphi$  queda determinado principalmente por la clase de prioridad.

En función del valor de  $\varphi$ , la ecuación (3) puede expresarse del modo siguiente:

$$Anchura_{efectiva} = Th_{media} \quad \text{para } \varphi = 0 \quad (4)$$

$$Th_{media} < Anchura_{efectiva} < TH_{max} \quad \text{para } 0 < \varphi < 1 \quad (5)$$

$$Anchura_{efectiva} = TH_{max} \quad \text{para } \varphi = 1 \quad (6)$$

#### *Servicio interactivo*

Esta clase abarca una gran diversidad de servicios que pueden ser muy distintos entre sí en cuanto al caudal y retardo necesarios, por ejemplo juegos, muestreo estadístico del sistema de gestión de red, y aplicaciones dinámicas como la navegación por la web o la consulta de bases de datos. El retardo en estas actividades humanas ha de ser pequeño, aunque no tanto como en la clase conversacional.

Por consiguiente, la reserva de anchura de banda uniforme para todos los tipos de servicio interactivos causará una utilización deficiente de los recursos radioeléctricos. Así pues, al calcular la anchura de banda efectiva habrá que tomar en consideración otros factores, tales como la clase de prioridad, la clase de fiabilidad y la transferencia a ráfagas. La anchura de banda efectiva para estos servicios interactivos puede calcularse mediante la siguiente ecuación.

$$Anchura_{efectiva} = \theta_1 * \theta_2 * Th_{media} + \theta_1 * \theta_2 * \varphi * (TH_{max} - TH_{media}) \quad (7)$$

siendo  $\theta_1$  el parámetro de la clase de prioridad que varía entre 0 y 1, y  $\theta_2$  el parámetro de la clase de fiabilidad que también varía entre 0 y 1. El valor de estos dos parámetros es prerrogativa del operador.

#### *Servicios de fondo*

Los servicios diferidos abarcan todas las aplicaciones que reciben datos de manera pasiva o que los solicitan activamente pero sin imponer la gestión inmediata de los mismos. Como ejemplos puede citarse el correo electrónico y la transferencia de ficheros.

El funcionamiento de los servicios de fondo no es susceptible al retardo, por lo que es posible establecer varios niveles de caudal medio o anchura de banda efectiva  $R_i$  en función de los recursos disponibles del sistema FWA y, por lo tanto, puede seleccionarse la anchura de banda efectiva según el grado de prioridad del servicio.

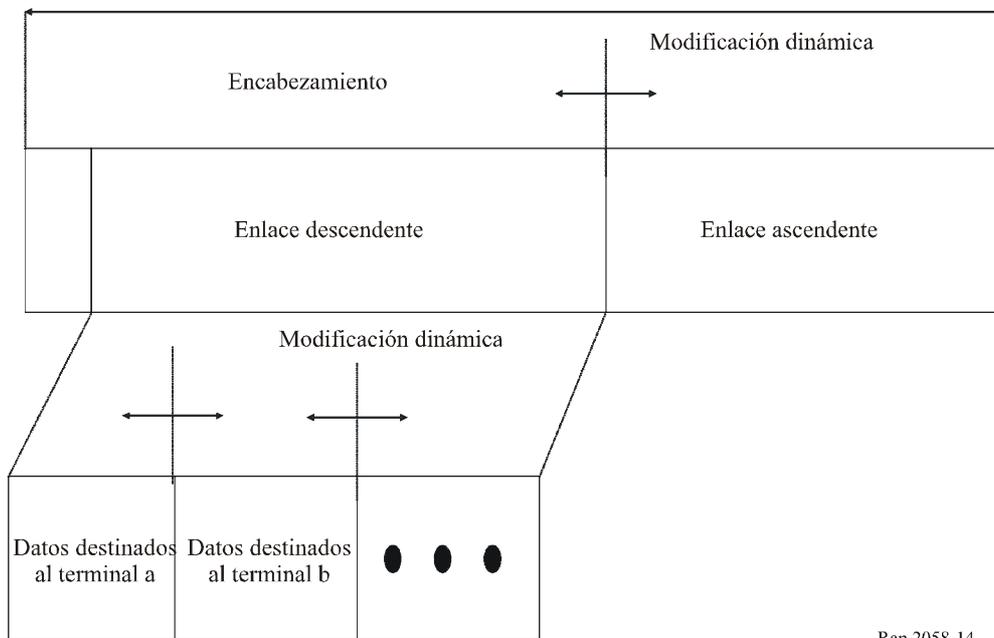
$$BW_{efectiva} = \begin{cases} R_1 \text{ (Prioridad 1)} \\ R_2 \text{ (Prioridad 2)} \\ R_3 \text{ (Prioridad 3)} \end{cases} \quad (8)$$

**5.4 Función de planificación para la asignación de anchura de banda en la estación de base**

**5.4.1 Asignación dinámica del lapso unitario (DSA)**

La estación de base con control centralizado asigna una determinada anchura de banda a cada conexión entre la propia estación y las estaciones de abonado. En realidad la estación de base asigna dinámicamente el lapso unitario TDMA de la trama MAC de modo que el sistema pueda gestionar la asimetría de datos entre los enlaces descendente y ascendente o las ráfagas de tráfico de datos de manera adaptativa. Este método de acceso recibe el nombre de DSA. En la Fig. 14 se ilustra un modelo de configuración de la trama MAC de los sistemas TDMA-TDD/DSA. La proporción de asignación de canales de datos en el sentido ascendente y descendente, así como los datos para cada terminal se modifica dinámicamente según el tráfico.

FIGURA 14  
**Modelo de configuración de la trama MAC de los sistemas TDMA-TDD/DSA**  
 Trama MAC

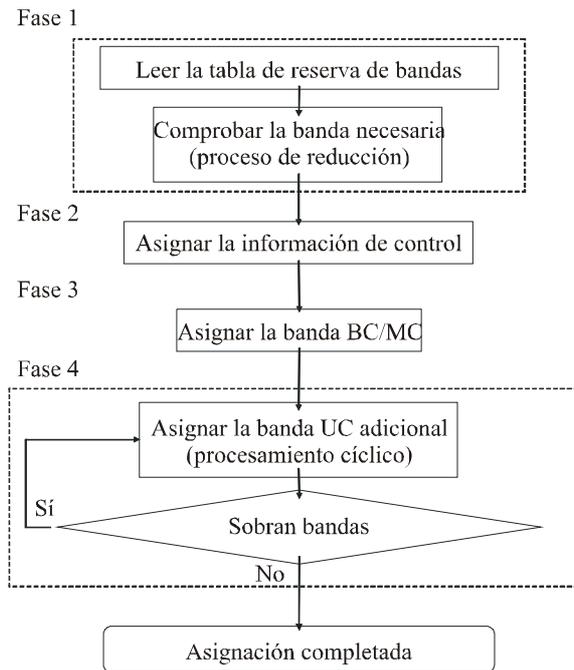


Rap 2058-14

**5.4.2 Control de la asignación de anchura de banda por el planificador**

El planificador en una estación de base asigna la anchura de banda a cada conexión con las estaciones de abonado siguiendo las fases indicadas en el diagrama de flujo de la Fig. 15.

FIGURA 15

**Control de la asignación de anchura de banda por el planificador**

Rap 2058-15

*Fase 1: Asignación de la anchura de banda reservada*

El planificador en la estación de base introduce la información sobre la anchura de banda reservada en la tabla de reserva con arreglo a la anchura de banda necesaria y la clase de QoS de cada conexión. En la tabla de reserva de anchura de banda se gestiona asimismo la anchura de banda reservada total de cada trama. El planificador asigna el número de canales de datos a cada trama según la información de anchura de banda reservada por cada terminal de abonado.

*Fase 2: Asignación del control*

La información relativa al control necesaria para mantener la conexión inalámbrica debe enviarse tan pronto como se requiera. Para cerciorarse de que se transmite esta información de control, el planificador en la estación de base establece el umbral de anchura de banda máxima que puede reservar cada trama para enviar la información de control de manera estable.

*Fase 3: Asignación de la anchura de banda de radiodifusión (BC) y multidifusión (MC)*

Si después de las fases 1 y 2 todavía sobra anchura de banda, se asigna anchura de banda de BC y MC. Al configurar las conexiones MC, el planificador calcula el número máximo de canales de datos que pueden asignarse de acuerdo con la anchura de banda solicitada por cada conexión MC, y luego asigna la anchura de banda dentro del límite máximo. Si el número de canales de datos que han de enviarse supera el límite máximo, el planificador suspende la asignación de anchura de banda durante un intervalo determinado. De este modo, el planificador garantiza que la BC o la MC no monopolizan la anchura de banda.

*Fase 4: Asignación de anchura de banda adicional a cada conexión*

Si sigue quedando anchura de banda en cada trama después de las fases 1 a 3, el planificador asigna cíclicamente anchura de banda adicional que se distribuye equitativamente entre todas las conexiones, con independencia de la clase de QoS. En este caso, el planificador establece el umbral máximo del número de canales de datos a los que se puede distribuir anchura de banda adicional. Para impedir que un terminal móvil monopolice la anchura de banda, los datos que superan el umbral se dejan en suspensión hasta la siguiente asignación cíclica.

## 6 Comparación de las características de QoS entre los sistemas FWA con control distribuido y centralizado

En el Cuadro 6 se comparan los dos sistemas.

CUADRO 6

### Comparación de las características de QoS entre los sistemas FWA con control distribuido y centralizado

	Control distribuido	Control centralizado
Tipo de QoS	Sin garantías	Garantizada/sin garantías
Ventajas	Afinidad con Ethernet	1) Anchura de banda mínima garantizada 2) Atribución adaptativa de banda
Ejemplos de sistemas	IEEE 802.11	ETSI-BRAN HIPERACCESS ETSI-BRAN HiperLAN ETSI-BRAN HIPERMAN MMAC-HSWA HiSWAN IEEE 802.16-2004

## Anexo 2

### Ejemplos de cálculo de retardo medio del protocolo de acceso y variación del retardo en sistemas FWA basados en CSMA/CA

#### 1 Introducción

En el presente Anexo se describe un método teórico para calcular el retardo introducido por el protocolo de acceso de una RLAN que utiliza la técnica CSMA/CA pura (es decir, no se recurre a mecanismos de control de acceso mejorado tales como acceso al canal basado en la contienda HCF (función de coordinación híbrida) para proporcionar QoS). Se describen también los resultados de ejemplos de cálculo para flujos de paquetes cortos y flujos de paquetes largos.

## 2 Aproximaciones

El caudal por estación ( $S_m$ ) y el retardo introducido por el protocolo de acceso ( $\overline{T_m}$ ) vienen dados por las siguientes expresiones:

$$S_m = \frac{L_{ip} \times 8}{\overline{T_m} + SIFS + T_a} \quad (9)$$

$$\overline{T_m} = \sum_{n=0}^{\infty} (1-p_m) p_m^n (A+nB) = A + B \frac{p_m}{1-p_m} \quad (10)$$

siendo:

- $m$ : número de estaciones que tratan de enviar paquetes
- $L_{ip}$ : longitud de los paquetes IP (bytes)
- $T_d$ : longitud de la trama de datos
- $T_a$ : Longitud de la trama Ack (acuse de recibo)

Para llegar a las ecuaciones (9) y (10) se han tomado como hipótesis las siguientes aproximaciones.

- Cuando el canal esté ocupado, se crea un número aleatorio dentro de la misma ventana de contienda ( $CW_{min}$ ) y se reinicializa el temporizador de dilación.
- En caso de que el paquete transmitido colisione con paquetes procedentes de otras estaciones, se crea un número aleatorio dentro de la misma ventana de contienda  $CW_{min}$  y se configura el temporizador de dilación. Es decir, la BEB no se toma en consideración.

En los § 3 y 4 se indican los resultados de los ejemplos de cálculo del retardo introducido por el protocolo de acceso para CSMA/CA (modo 54M, 24M y 6M) y CSMA/CA (11M, preámbulo largo).

## 3 Ejemplos de cálculo de retardo de paquetes en el caso de flujo de paquetes cortos

A continuación se calculan los retardos de transmisión de paquetes suponiendo que varias estaciones de abonado tratan de enviar simultáneamente paquetes cortos homogéneos, similares a los paquetes VoIP. En el Cuadro 7 se indican los valores utilizados de los parámetros.

En la Fig. 16 se representa el retardo medio introducido por el protocolo de acceso ( $\overline{T_m}$ ). El  $\overline{T_m}$  depende del modo de transmisión y del número de estaciones que tratan de enviar paquetes simultáneamente,  $m$ . Cabe tener presente que el resultado de la Fig. 16 no tiene en cuenta la BEB cuando se producen colisiones. Por ese motivo, los valores reales de  $\overline{T_m}$  serán peores que los calculados, especialmente cuando  $m$  sea grande y aumenten las colisiones.

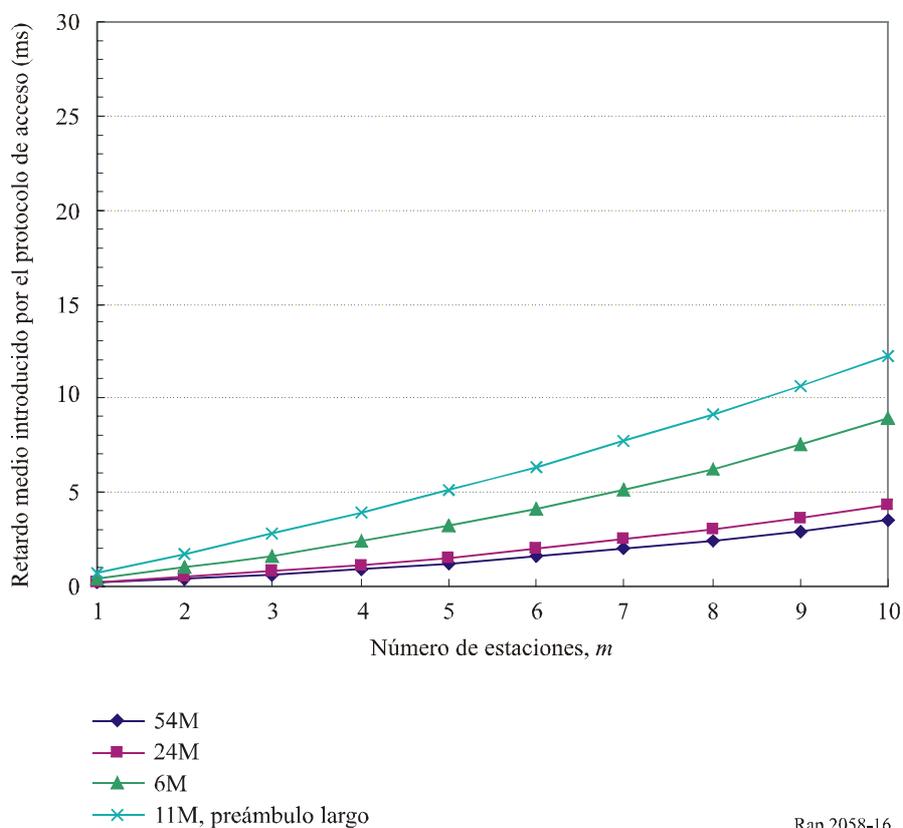
CUADRO 7

Valores de los parámetros utilizados

	CSMA/CA (modo 54M, 24M, 6M)	CSMA/CA (mono 11M, preámbulo largo)
SIFS ( $\mu$ s)	16	10
DIFS ( $\mu$ s)	34	50
Lapso unitario ( $\mu$ s)	9	20
CWmin	15	31
Longitud de los paquetes (bytes)	200	200
Td ( $\mu$ s)	56 (54M) 100 (24M) 340 (6M)	364
Ta ( $\mu$ s)	24 (54M) 28 (24M) 44 (6M)	202
Error de propagación	Ninguno	Ninguno

FIGURA 16

Retardo medio introducido por el protocolo de acceso de CSMA/CA (modo 54M, 24M y 6M) y CSMA/CA (11M, preámbulo largo) con respecto al número de estaciones para flujos de paquetes cortos



#### 4 Ejemplos de cálculo del retardo de paquetes para flujos de paquetes largos

Las ecuaciones (9) y (10) sirven para el caso en que todas las estaciones traten de enviar paquetes del mismo tamaño. Sin embargo, el retardo introducido por el protocolo que experimentan los paquetes cortos como los VoIP cuando varias estaciones tratan de enviar paquetes largos es diferente. Para calcular el retardo en el caso de que  $m-1$  estaciones traten de enviar paquetes largos de igual longitud y *una* estación trate de enviar simultáneamente paquetes cortos, es preciso modificar la ecuación (10) del modo siguiente:

$$\overline{T_{m(S)}} = \sum_{n=0}^{\infty} (1-p_m) p_m^n (A_{(S)} + nB_{(L)}) = A_{(S)} + B_{(L)} \frac{p_m}{1-p_m} \quad (11)$$

siendo:

$\overline{T_{m(S)}}$ : el retardo medio introducido por el protocolo para la transmisión de paquetes cortos

$$A_{(S)} = DIFS + CW_{\min} \times Lapso / 2 + T_{d(S)}$$

$$B_{(L)} = T_{d(L)} + SIFS + T_a + DIFS + CW_{\min} \times Lapso / 2$$

$m$ : el número de estaciones que tratan de enviar paquetes ( $=m_{(L)} + m_{(S)}$ )

$m_{(L)}$ : el número de estaciones que tratan de enviar paquetes largos

$m_{(S)}$ : el número de estaciones que tratan de enviar paquetes cortos ( $=1$ ).

Los valores de los parámetros utilizados en la ecuación (11) se enumeran en el Cuadro 8. Los valores no indicados son los mismos que los del Cuadro 7.

CUADRO 8

#### Valores de los parámetros utilizados

	CSMA/CA (modo 54M, 24M, 6M)	CSMA/CA (mono 11M, preámbulo largo)
Longitud de los paquetes cortos (bytes)	200	200
Longitud de los paquetes largos (bytes)	1 500	1 500
Td (L) (μs)	248 (54M) 536 (24M) 2 072 (6M)	1 309
Td (S) (μs)	56 (54M) 100 (24M) 340 (6M)	364

En la Fig. 17 se muestra el retardo medio introducido por el protocolo de acceso ( $\overline{T_{m(S)}}$ ) que cabe esperar cuando se transmiten paquetes cortos.  $\overline{T_{m(S)}}$  depende del modo de transmisión y del número de estaciones que tratan de enviar paquetes simultáneamente ( $m=m_{(S)}+m_{(L)}$ , en este caso  $m_{(S)}=1$ ).

Si se compara con la Fig. 16, el retardo de la Fig. 17 es mayor debido a que el tiempo que un paquete ocupa el canal es mucho mayor.

En las Figs. 18 y 19 se representa el porcentaje de tiempo acumulado en función del retardo introducido por el protocolo de acceso de CSMA/CA (modo 54M) y CSMA/CA(modo 11M, preámbulo largo) cuando  $m = 3, 5$  y  $8$ , respectivamente. El cuantil  $1 \times 10^{-3}$  del retardo  $T_{m(S),1e-3}$  puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$T_{m(S),1e-3} \approx A_{(S)} - B_{(L)} \left( \frac{3}{\log p_m} + 1 \right) \tag{12}$$

En el Cuadro 9 figuran los valores calculados.

CUADRO 9  
Cuantil  $1 \times 10^{-3}$  del retardo del protocolo de acceso

Notas	CSMA/CA (modo 11M, preámbulo largo)	CSMA/CA (modo 54M)	
$m_{(L)} = 2, m_{(S)} = 1$	33,5 ms	7,5 ms	$m = 3$
$m_{(L)} = 4, m_{(S)} = 1$	65,9 ms	15,8 ms	$m = 5$
$m_{(L)} = 7, m_{(S)} = 1$	122,1 ms	32,2 ms	$m = 8$

FIGURA 17

Retardo medio introducido por el protocolo de acceso de CSMA/CA (modos 54M, 24M y 6M) y CSMA/CA (11M, preámbulo largo) con respecto al número de estaciones en el caso de flujos de paquetes largos

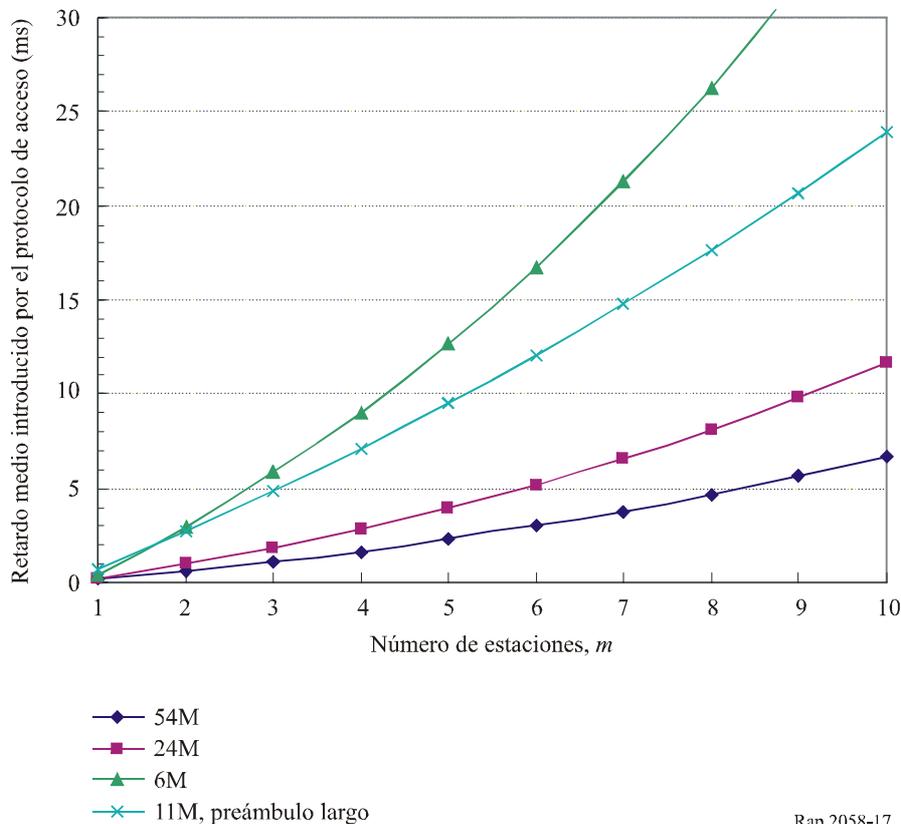


FIGURA 18

Porcentaje de tiempo acumulado en función del retardo introducido por el protocolo de acceso (CSMA/CA, modo 54M)

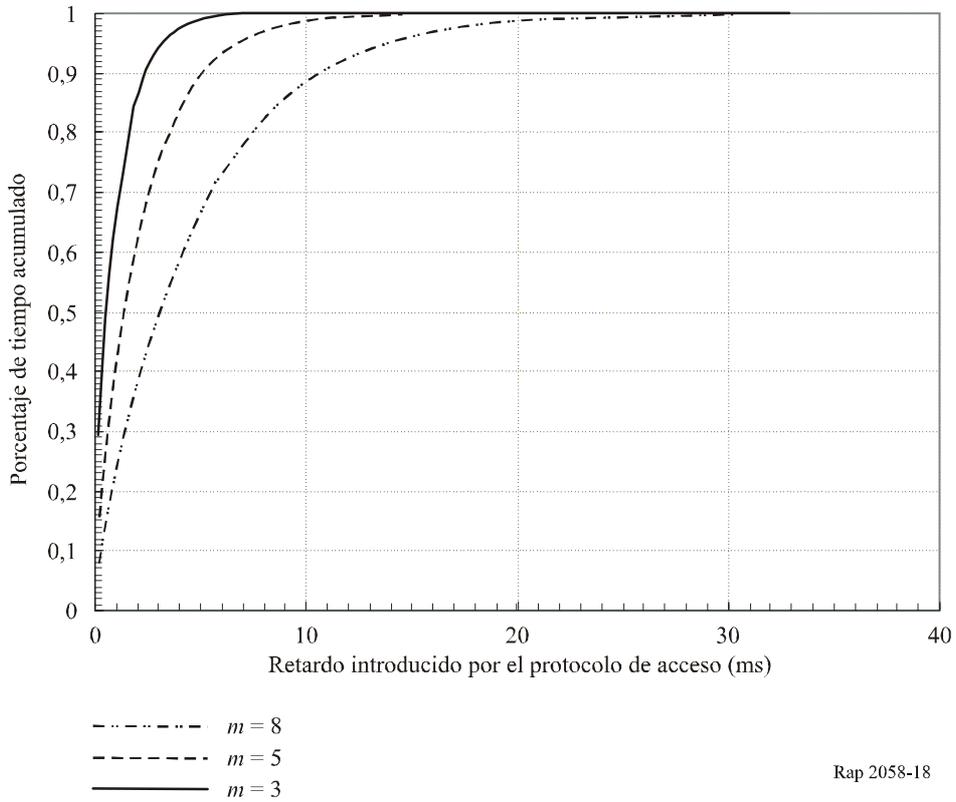
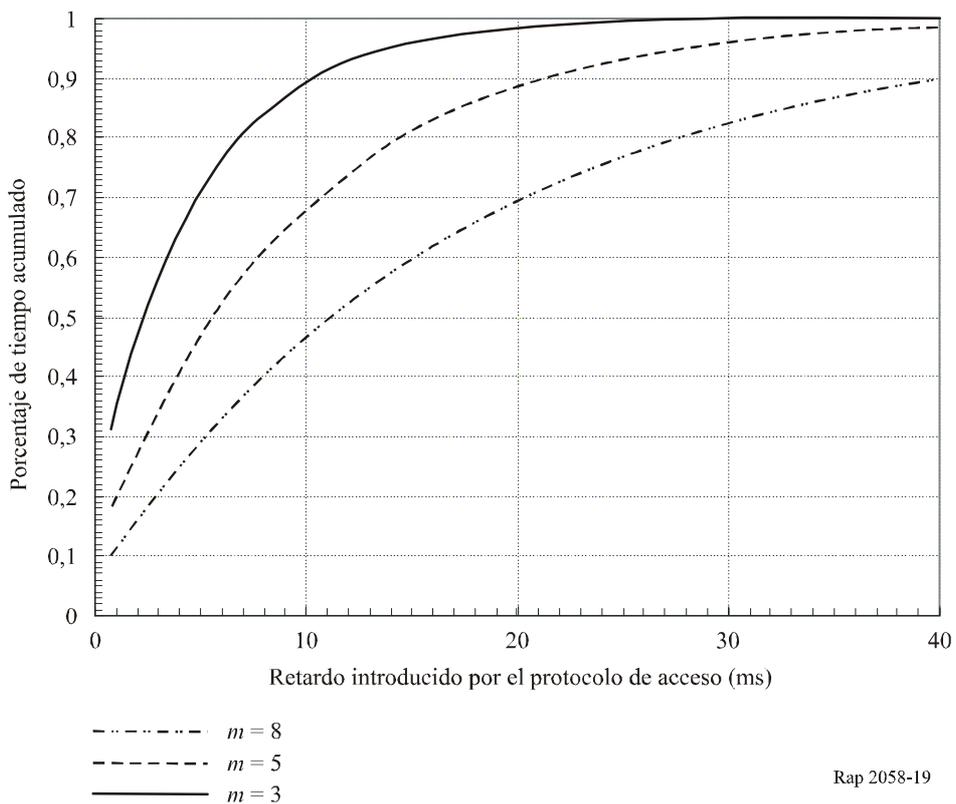


FIGURE 19

Porcentaje de tiempo acumulado en función del retardo introducido por el protocolo de acceso (CSMA/CA, 11M, preámbulo largo)



### Anexo 3

## Ejemplos de cálculo del tiempo de espera cuando se transmiten varios flujos VoIP en sistemas FWA basados en TDMA

En el presente Anexo se describe un método para estimar el posible tiempo de espera adicional cuando se transmiten varios flujos VoIP, con referencia a la norma IEEE 802.16-2004.

### 1 Servicios de planificación en el enlace ascendente

En el § 1 se diseñan servicios de planificación para mejorar la eficiencia del proceso de interrogación/concesión. Al especificar un servicio de planificación y sus correspondientes parámetros de QoS, la estación de base puede anticipar el caudal y la latencia necesarios del tráfico en sentido ascendente y proporcionar interrogación y/o concesiones en los instantes adecuados.

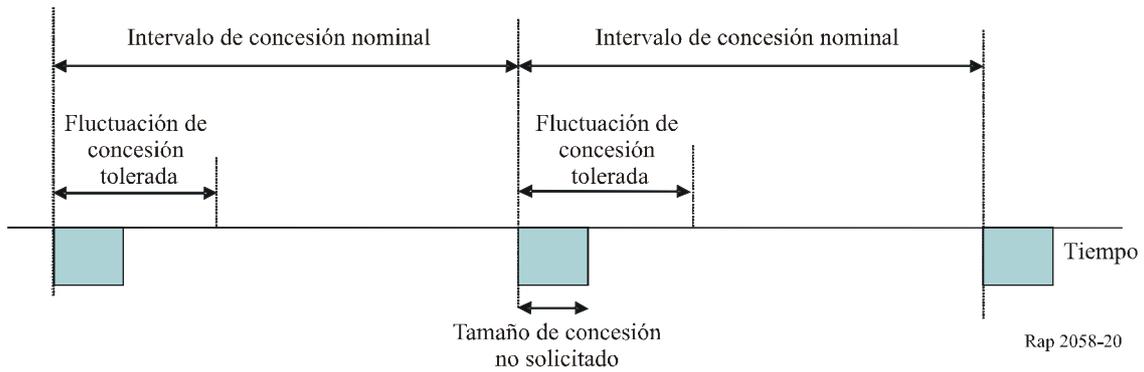
Los servicios básicos son el servicio de concesión no solicitada (UGS), el servicio de interrogación secuencial en tiempo real (rtPS), el servicio de interrogación secuencial en tiempo no real (nrtPS) y el servicio sin garantías. Cada servicio está concebido para el tipo concreto de flujo de datos. El UGS está diseñado para flujos de servicio en tiempo real que generan periódicamente paquetes de datos de tamaño constante, por ejemplo T1/E1 y Voz por IP sin eliminación de silencios. El rtPS está concebido para flujos de servicio en tiempo real que generan periódicamente paquetes de datos de tamaño variable, por ejemplo vídeo MPEG. El nrtPS está pensado para flujos de servicio que no son en tiempo real y que requieren concesiones para transmitir ráfagas de datos de tamaño variable con carácter periódico, como por ejemplo el FTP de banda ancha. La finalidad del servicio sin garantías es ofrecer un servicio eficiente para el tráfico sin garantías.

### 2 Servicio de concesión no solicitada (UGS)

El UGS es un servicio de planificación para la transmisión de paquetes VoIP. Este servicio ofrece concesiones de tamaño fijo con carácter periódico y en tiempo real, con lo que elimina la tara y la latencia de las solicitudes de las estaciones de abonado y garantiza la disponibilidad de las concesiones para cumplir las necesidades en tiempo real del flujo. La estación de base debe proporcionar al flujo de servicio concesiones para transmitir ráfagas de datos de tamaño fijo a intervalos periódicos.

El UGS debe especificarse mediante los parámetros siguientes: el tamaño de la concesión no solicitada, el intervalo de concesión nominal, la fluctuación de concesión tolerada y la política de petición/transmisión. En la Fig. 20 se ilustra el significado de estos parámetros. La fluctuación real puede mantenerse por debajo de la concesión tolerada que se negoció en el procedimiento de establecimiento de llamada.

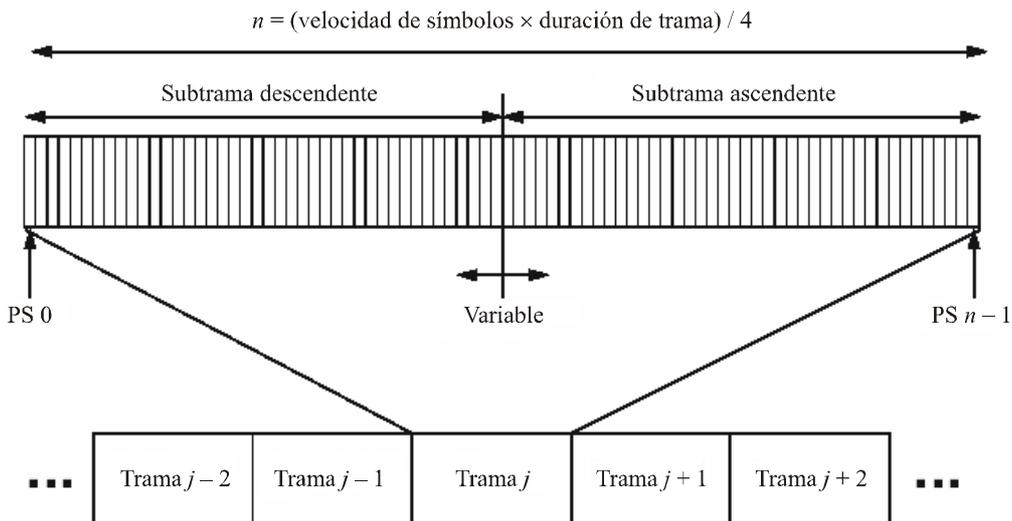
FIGURA 20  
Parámetros básicos del flujo de servicio UGS



### 3 Estructura de trama

En el estudio que figura a continuación se parte del supuesto de un mecanismo dúplex por división en el tiempo (TDD). En la Fig. 21 se muestra la estructura de trama en el caso de TDD. La duración de la trama es constante y está constituida por una subtrama descendente y una ascendente. El tamaño de la trama es normalmente de 1 ms, y se divide en un número entero de intervalos físicos (PS), lo que permite dividir fácilmente la anchura de banda. Cada PS está formado por 4 símbolos en la capa física. La estructura de tramas TDD es adaptativa en el sentido de que la anchura de banda que se atribuye a los sentidos descendente y ascendente es variable. La división entre el sentido ascendente y descendente es un parámetro del sistema y se gestiona en las capas superiores del mismo. El tamaño de cada canal físico se expresa en unidades de miniintervalo. Cada miniintervalo contiene  $i$  PS, donde  $i = 2^k$ , y  $k$  es un entero entre 0 y 7.

FIGURA 21  
Estructura de la trama TDD



#### 4 Hipótesis de cálculo

En el caso de múltiples flujos VoIP, los paquetes que se han de enviar de cada flujo VoIP recién generado quizá tengan que esperar mientras el canal esté ocupado por los flujos VoIP precedentes. A continuación se calcula a título de ejemplo el tiempo de espera adicional en esta situación. Los valores de los parámetros utilizados en este ejemplo figuran en el Cuadro 10.

En los cálculos se parte de las siguientes hipótesis.

- Todos los codificadores VoIP son conformes con la Recomendación UIT-T G.711 (codificación de 64 kbit/s). Contando los encabezamientos TCP/IP, Ethernet, MAC, etc., la longitud total de la PDU MAC asciende a 234 bytes. Suponiendo codificación Reed Solomon externa y BCC interna, la longitud de la ráfaga es 381 bytes. Utilizando modulación MDP-4, el tamaño de los símbolos tras efectuar la correspondencia y añadir el preámbulo se eleva a un total de 1 540.
- Se utiliza modulación MDP-4 y el tamaño del canal es de 25 MHz. La duración recomendada de la trama es de 1 ms, que contiene un total de 20 000 símbolos.
- El volumen de tráfico VoIP en sentido ascendente y descendente es prácticamente idéntico, y la estación de base transmite simultáneamente tráfico rtPS, nrtPS y BE además del VoIP, y algunos servicios pueden ser de naturaleza asimétrica de modo que el volumen en sentido descendente es mayor que en sentido ascendente, por ejemplo la transmisión en secuencias MPEG. Así pues, se supondrá que la proporción de la longitud de subtrama ascendente/descendente es de 1:3 aproximadamente. Por consiguiente, el número de símbolos asignado a la subtrama ascendente será de unos 5 000.
- Al considerar la asignación de otros tipos de servicios en tiempo real o no al enlace ascendente, el número de ráfagas VoIP asignado al mismo es 2 a lo sumo. No se tiene en cuenta la fragmentación de los paquetes VoIP.

CUADRO 10

#### Valores de los parámetros utilizados

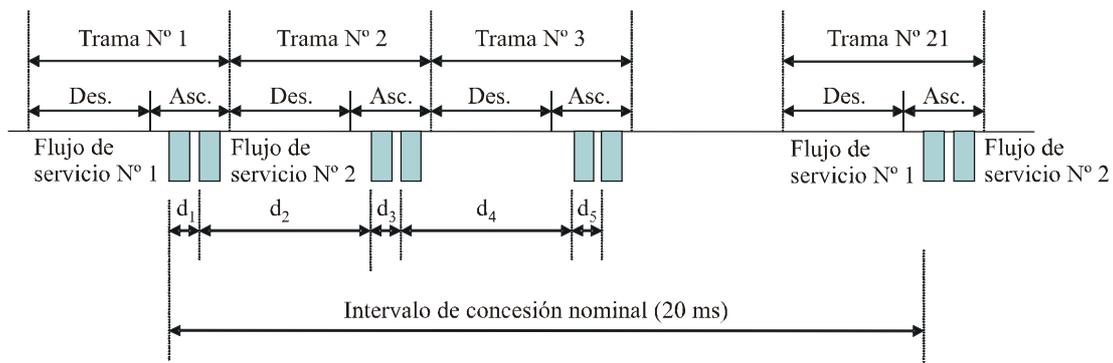
		Observaciones
Tamaño de la PDU MAC	234 bytes	
– Cabida útil VoIP	160 bytes	Conforme a la G.711
– Encabezamiento TCP/IP	40 bytes	
– Encabezamiento Ether	24 bytes	
– FCS	2 bytes	
– PHSI	2 bytes	
– Encabezamiento MAC	6 bytes	
Modulación	MPD-4	
Tipo de codificación FEC	Reed Solomon y BCC	
Tipo de codificación externa	Tipo 2	
Tamaño total de la palabra de código externa (K+R)	254 bytes	
Tipo de código BCC interno	(24,16)	
Longitud del preámbulo	16 símbolos	
Factor de corte	0,25	

CUADRO 10 (Fin)

		Observaciones
Factor de corte	0,25	
Tamaño del canal	25 MHz	
Velocidad de símbolos	20 Mbaud	
Velocidad binaria	40 Mbit/s	
Duración de la trama	1 ms	
Número de símbolos por trama	20 000	
Número de miniintervalos por trama	5 000	El tamaño del miniintervalo es igual al tamaño de PS (4 símbolos).

- Los paquetes VoIP se generan a intervalos de 20 ms. Para eliminar las fluctuaciones de fase entre los paquetes VoIP, las ráfagas de un mismo flujo VoIP se transmiten utilizando las mismas posiciones del lapso unitario en las subtramas del enlace ascendente a intervalos de 20 ms.
- De acuerdo con las hipótesis anteriores y como puede verse en la Fig. 22, se puede asignar como máximo 40 concesiones a los flujos VoIP en intervalos de 20 ms. En cada una de estas concesiones, se transmite en sentido ascendente una ráfaga de cada flujo VoIP.
- En caso de que los flujos VoIP precedentes no existan, se transmitirá en el instante  $t_0$  una ráfaga en sentido ascendente de un flujo VoIP recién generado utilizando para ello la concesión más próxima en el eje de tiempo. Por otra parte, cuando ya exista uno o varios flujos VoIP y las concesiones estén reservadas para flujos VoIP existentes, el flujo VoIP recién generado no podrá utilizar la concesión más próxima y el planificador de la estación de abonado tendrá que buscar una concesión no reservada y utilizarla para la estación de abonado. La estación de abonado obtiene la información del UL\_MAP en la subtrama descendente y envía la ráfaga en el instante  $t_1$ . Obsérvese que puede darse la eventualidad de que se produzca un espera adicional ( $t_1 - t_0$ ). A continuación se calcula este tipo de tiempo de espera.

FIGURA 22  
Concesión VoIP



- Supongamos que se da servicio a  $(m - 1)$  flujos VoIP. El tiempo de espera medio adicional correspondiente al  $m$ -ésimo flujo VoIP  $\overline{D}_m$ , se calcula de modo aproximado mediante la siguiente expresión.

$$\overline{D}_m \approx (N - m + 1) \cdot \frac{(m-1)!}{N!} \cdot \sum_{j=1}^{m-1} \left\{ \sum_{i=1}^j d_i \cdot \frac{(N-j-1)!}{(m-j-1)!} \right\} \quad (13)$$

$$1 \leq j \leq m-1$$

siendo:

$N$ : El número máximo posible de concesiones VoIP dentro del periodo de 20 ms (= 40)

$d_i$ : La diferencia de tiempo entre las concesiones  $(i - 1)$ -ésimo e  $i$ -ésimo.

Además, para simplificar los cálculos se tomarán los siguientes valores:

$$d_{impar} = 0,08 \text{ ms}, d_{par} = 0,92 \text{ ms}$$

## 5 Resultados de los ejemplos de cálculo

En la Fig. 23 se muestran los resultados del cálculo de  $\overline{D}_m$  mediante la ecuación (13) y una simulación de estos resultados. El tiempo de espera varía en función del número de flujos VoIP existentes. En la Fig. 24 se representa el porcentaje acumulado de tiempo de espera calculado mediante la ecuación (13). De vez en cuando, el tiempo de espera puede llegar a los 20 ms.

Se calculó el posible tiempo de espera adicional que pudieran experimentar los paquetes VoIP cuando existen múltiples flujos VoIP, en ciertas circunstancias. En el caso de la TDMA, el algoritmo de planificación se erige como un factor esencial para mejorar la característica de retardo, pero queda fuera del alcance de la norma IEEE802.16-2004. Además de este algoritmo, otros factores que pueden contribuir a la degradación del IPTD son, por ejemplo la estructura de trama, el volumen de tráfico y la capacidad.

FIGURA 23

Ejemplo de tiempo de espera medio adicional que experimenta el  $m$ -ésimo flujo VoIP

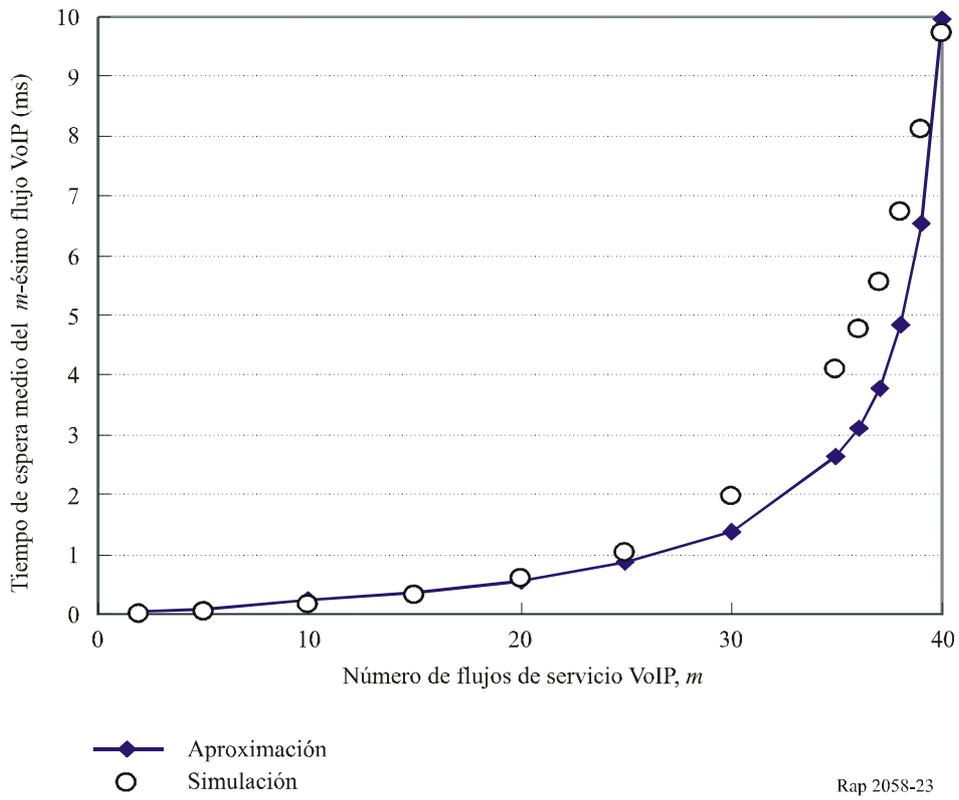
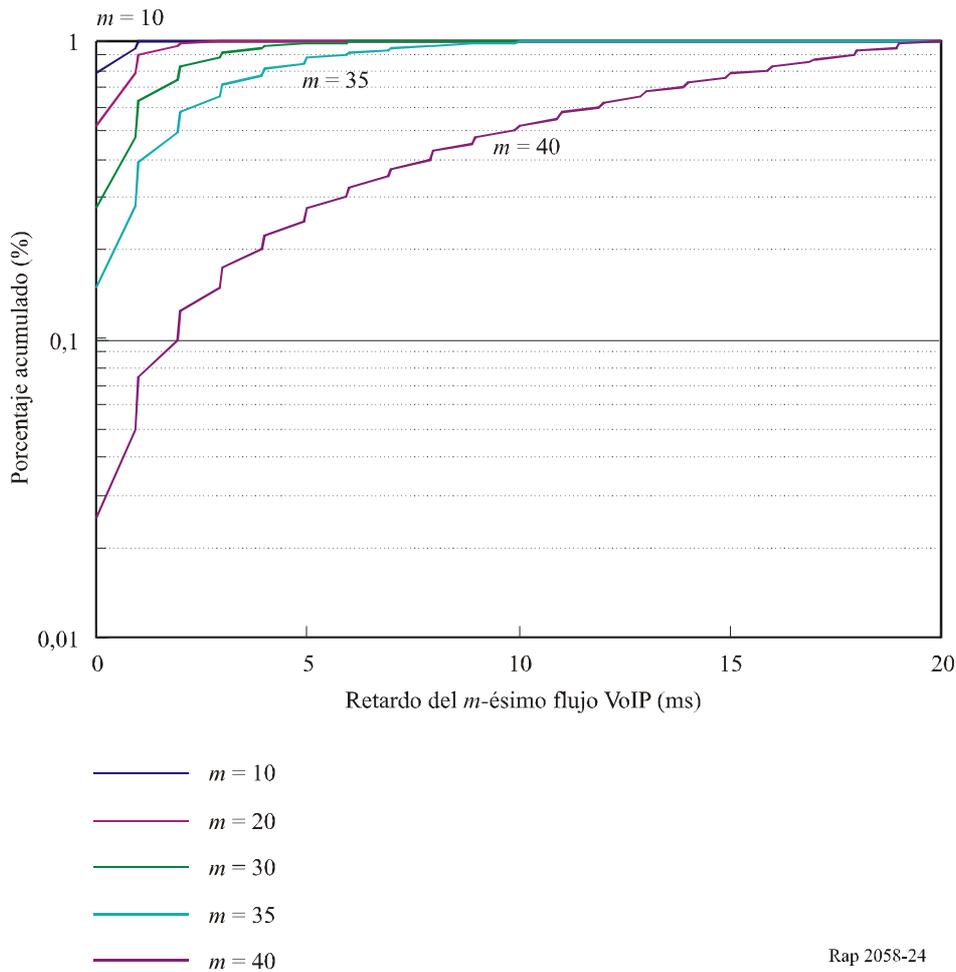


FIGURA 24

Ejemplo de porcentaje acumulado de tiempo de espera adicional que experimenta el  $m$ -ésimo flujo VoIP



## Anexo 4

### Ejemplo de cálculos del retardo de red para la clase 0 de QoS

El presente Anexo contiene ejemplos de cálculo del IPTD para cualquier parte de trayecto por el que circule flujo de clase 0 de QoS con arreglo a la metodología descrita en el Apéndice III a la Recomendación UIT-T Y.1541.

#### 1 Cálculo del retardo en redes de acceso que integran sistemas FWA

A continuación se describe el concepto de cálculos de retardo en redes de acceso que contienen sistemas FWA. En la Fig. 25 se muestra la configuración de una red de acceso que integra un sistema FWA. El IPTD y la IPDV en la red de acceso,  $D(AN)$  y  $DV(AN)$ , se calculan mediante las siguientes ecuaciones.

$$\begin{aligned}
 D(AN) &= D(FWA) + D(BH) \\
 &= D(s) + D(air) + D(b) + D(BH) \\
 DV(AN) &\leq DV(FWA) + DV(BH) \\
 &= DV(s) + DV(air) + DV(b) + DV(BH)
 \end{aligned}$$

Como puede verse en la Fig. 25, el enlace entre la estación de base y la pasarela de acceso se denomina red de retroceso. Esta red de retroceso es la parte de la red de acceso que está constituida por fibra óptica, cable coaxial o de cobre, u otro sistema radioeléctrico, por ejemplo un sistema inalámbrico fijo P-P o P-MP. Por regla general, la red de retroceso se diseña con capacidad suficiente para intercambiar tráfico con el sistema FWA en los dos sentidos de la transmisión. Así pues, el IPTD y la IPDV,  $D(BH)$  y  $DV(BH)$ , suelen ser pequeños en la red de retroceso. Habida cuenta de lo anterior, las ecuaciones pueden simplificarse del modo siguiente:

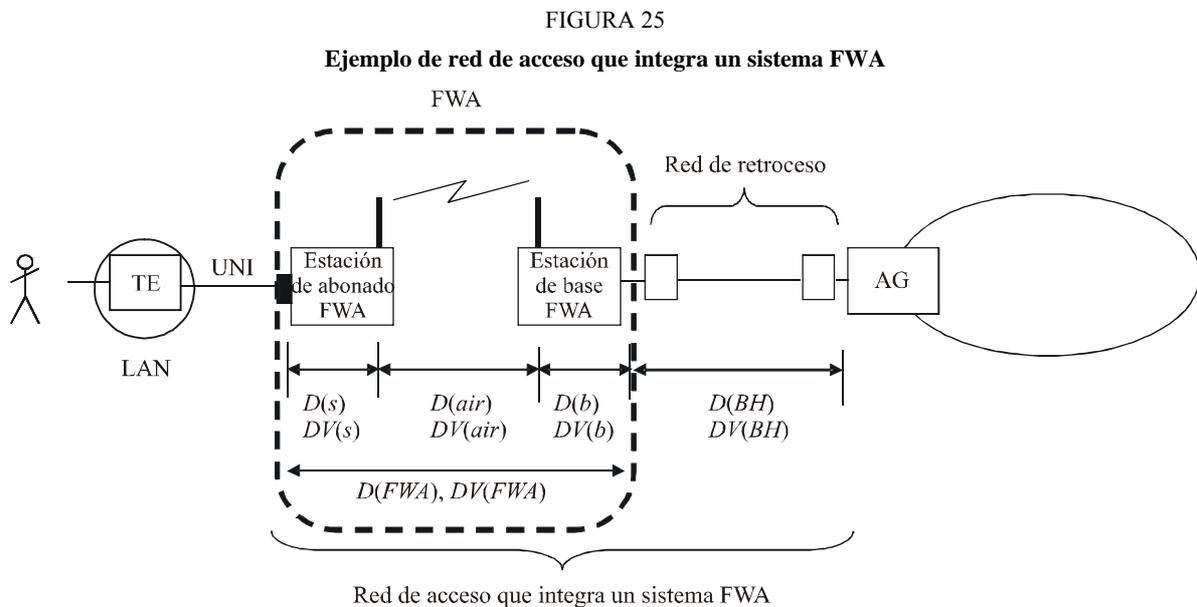
$$D(AN) \approx D(FWA)$$

$$= D(s) + D(air) + D(b)$$

$$DV(AN) \leq DV(FWA)$$

$$= DV(s) + DV(air) + DV(b)$$

Ahora bien, si se parte de la hipótesis de que el factor dominante del  $D(FWA)$  y la  $DV(FWA)$  es el protocolo de acceso y se desdennan otras causas, puede tomarse como aproximación que  $D(AN) \approx D(air)$  y  $DV(AN) \approx DV(air)$ .



TE: Equipo terminal  
AG: Pasarela de acceso  
FWA: Acceso inalámbrico fijo  
UNI: Interfaz usuario-red

$D(FWA)$ : Retardo introducido en la sección FWA  
 $D(s)$ : Retardo introducido en la estación de abonado FWA  
 $D(air)$ : Retardo que depende del protocolo de acceso  
 $D(b)$ : Retardo introducido en la estación de base FWA  
 $D(BH)$ : Retardo introducido en la red de retroceso

$DV(FWA)$ : Variación del retardo en la sección FWA  
 $DV(s)$ : Variación del retardo en la estación de abonado FWA  
 $DV(air)$ : Variación del retardo que depende del protocolo de acceso  
 $DV(b)$ : Variación del retardo en la estación de base FWA  
 $DV(BH)$ : Variación del retardo en la red de retroceso

## 2 Ejemplos de cálculo del retardo de red para la clase 0 de QoS en la interfaz UNI-UNI

Según la Recomendación UIT-T Y.1541, el valor teórico del IPTD en la parte de IP viene dado por la expresión:

$$IPTD \text{ (ms)} \leq (R_{km} * 0,005) + (N_A * D_A) + (N_D * D_D) + (N_C * D_C) + (N_I * D_I)$$

$$R_{km} = 1,25 * D_{km}$$

siendo:

- $D_{km}$  la distancia de la ruta inalámbrica en los dos encaminadores que acotan este trayecto.
- $R_{km}$  la longitud de la ruta adoptada como hipótesis.
- $N_A, N_D, N_C,$  y  $N_I$  el número de encaminadores de pasarelas de acceso IP, de distribución, del núcleo y de pasarelas de interfuncionamiento, respectivamente; corresponden al ejemplo de sección de red representado en la Fig. III.1 del Apéndice III a la Recomendación UIT-T Y.1541.
- $D_A, D_D, D_C,$  y  $D_I,$  representa el retardo introducido por los encaminadores de pasarelas de acceso IP, de distribución, del núcleo y de pasarelas de interfuncionamiento, respectivamente; corresponden al ejemplo de sección de red representado en el Cuadro III.1 del Apéndice III a la Recomendación UIT-T Y.1541.

La IPDV máxima puede calcularse de manera análoga.

Como ejemplo de cálculo del retardo UNI-UNI, se toma el trayecto de referencia hipotético (HRP) que ilustra la Fig. 26. Se parte de los siguientes supuestos.

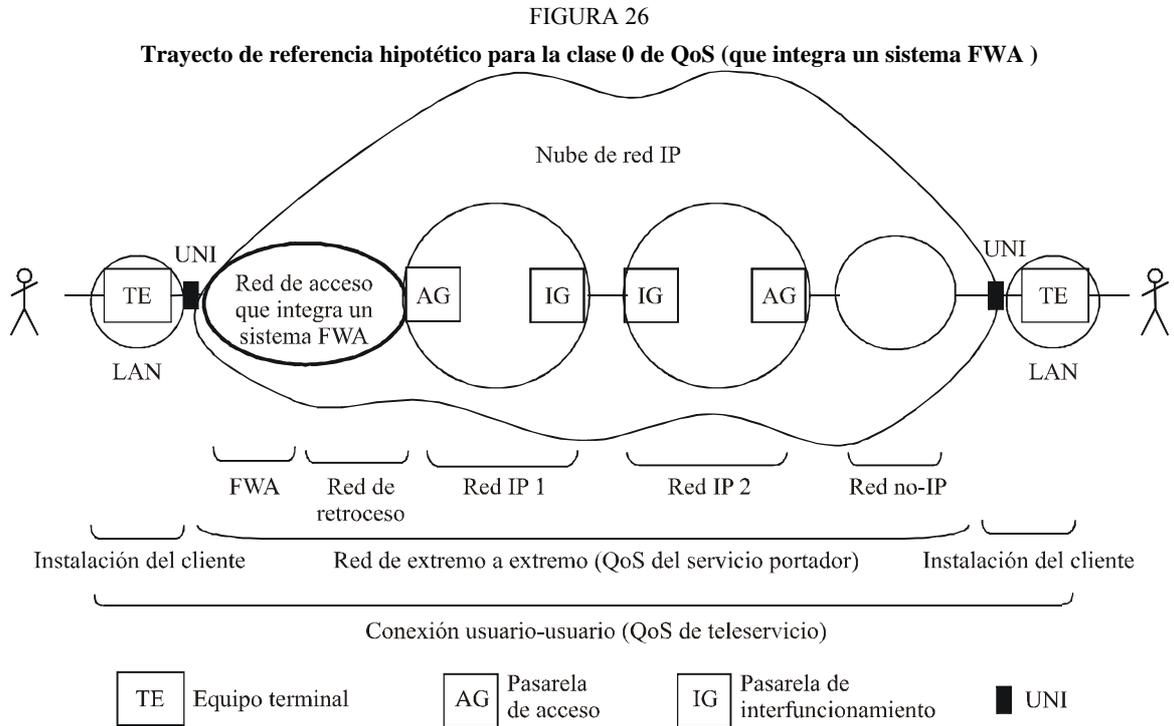
- En las dos partes del acceso, una parte consta del FWA y el enlace de retroceso.
- Las partes restantes, por ejemplo las dos redes IP y la red no IP que consiste en otra parte de acceso, corresponden al HRP ilustrado en la Fig. III.3 del Apéndice III a la Recomendación UIT-T Y.1541.
- La capacidad de la red no IP es T1.
- El tamaño del paquete más grande es de 1 500 bytes y el tamaño del paquete VoIP es 200 bytes.
- la distancia total y la longitud de la ruta son, respectivamente 4 070 km y 5 087,5 km, lo que cumple la hipótesis adoptada en el Apéndice III a la Recomendación UIT-T Y.1541.

En el Cuadro 11 figura la configuración del trayecto de referencia hipotético (HRP) en cuanto al número y tipo de encaminadores, distancia y contribución de todos los componentes en el HRP al IPTD y a la IPDV en UNI-UNI. Salvo para los valores relacionados con la parte de acceso que incluye el sistema FWA, el valor de cada componente incluido en la red IP 1, la red IP 2 y la red no IP está en consonancia con el Cuadro III.2 del Apéndice III a la Recomendación UIT-T Y.1541.

El IPTD y la IPDV de la red de acceso que integra el sistema FWA,  $D(AN)$  y  $DV(AN)$ , dependen del protocolo de acceso, como se describe en el § 1 del presente Anexo y, con arreglo a lo estipulado en el § 6.3, varían sobremanera en función de las condiciones, por ejemplo el volumen de total de tráfico. Por consiguiente, es difícil establecer sus valores.

En el Anexo 2 al presente Informe figuran algunos ejemplos del retardo que introduce el protocolo de acceso en el caso en que el acceso inalámbrico del sistema FWA esté basado en CSMA/CA. De conformidad con este Anexo, se supone que el  $D(AN)$  varía entre varios milisegundos o varias decenas de ms. En este análisis se adopta como ejemplo un valor de 10 ms. También se toma este valor (10 ms) para el objetivo de calidad de funcionamiento de ETSI HIPERACCESS (véase ETSI TR 101 177 V1.1.1[1]). En el Anexo 2 también figuran ejemplos del cuantil  $1 \times 10^{-3}$  del retardo introducido por el protocolo de acceso. Si bien el cuantil de retardo  $1 \times 10^{-3}$  también varía según las

condiciones, en este ejemplo se toma el valor de 16 ms en el caso de CSMA/CA (modo 54M,  $m = 5$ ).



Rap 2058-26

CUADRO 11

**Análisis del retardo en un trayecto de ejemplo de clase 0 de QoS  
(en el caso de que el protocolo de acceso FWA sea CSMA/CA)**

Elemento	Unidad	IPTD/ Unidad (ms)	IPTD medio (ms)	IPDV/ Unidad (ms)	IPDV máxima (ms)
Distancia	4 070 km				
Longitud de la ruta	5 087,5 km		25		
Red de acceso que integra un sistema FWA	1	1	<b>10</b>	1	<b>16</b>
Red IP 1			20		28
Acceso, $N_A$	1	10	10	16	16
Distribución, $N_D$	1	3	3	3	3
Núcleo, $N_C$	2	2	4	3	6
Pasarela de interfun., $N_I$	1	3	3	3	3
Red IP 2			24		34
Acceso, $N_A$	1	10	10	16	16
Distribución, $N_D$	1	3	3	3	3
Núcleo, $N_C$	4	2	8	3	12
Pasarela de interfun., $N_I$	1	3	3	3	3
Red no IP			15		0

CUADRO 11 (*Fin*)

Elemento	Unidad	IPTD/ Unidad (ms)	IPTD medio (ms)	IPDV/ Unidad (ms)	IPDV máxima (ms)
Red no IP			15		0
<b>Total UNI-UNI (ms)</b>			<b>94</b>		<b>78</b>
Especificado en la Recomendación UIT-T Y.1541			100		50

El valor calculado del IPTD entre UNI-UNI es de 94 ms y, por tanto, inferior al valor máximo especificado para la clase 0, a saber, 100 ms. Por otra parte, el valor del IPDV calculado entre UNI-UNI es de 78 ms, es decir, mayor que el valor especificado en la Recomendación UIT-T Y.1541 (50 ms). A este respecto, es necesario seguir estudiando el caso. No obstante, cabe observar que:

- 78 ms es el resultado de sumar 16 ms (DV(AN)) y 62 ms (IPDV debido a otras partes);
- Los 62 ms debido a otras partes coincide con el valor utilizado como ejemplo al calcular el IPDV UNI-UNI en el Cuadro III.2 del Apéndice III a la Recomendación UIT-T Y.1541; y
- En la Recomendación UIT-T Y.1541 afirma que 62 ms es un valor muy pesimista, que corresponde a sumar el valor más desfavorable de cada encaminador.

El Cuadro 11 muestra además un ejemplo de retardo UNI-UNI en el caso de que el protocolo de acceso del sistema FWA sea CSMA/CA. Los valores del IPTD y la IPDV serían menores si el sistema FWA utilizase TDMA.

## Anexo 5

### Características técnicas de los sistemas FWA de banda ancha para VoIP

#### 1 Introducción

En los últimos años, el servicio VoIP se ha convertido en una de las aplicaciones más atractivas para los proveedores de servicio Internet de banda ancha e incluso para los operadores de telecomunicaciones convencionales. El UIT-T ha efectuado la normalización de diversos aspectos de VoIP, tales como los protocolos y la calidad de la transmisión y de la voz. En varias Recomendaciones del UIT-T se definen los objetivos de calidad de funcionamiento de extremo a extremo para redes IP. Cuando el servicio VoIP se presta a través de un sistema FWA, los objetivos de calidad de funcionamiento para la sección inalámbrica deben definirse de tal modo que correspondan con los objetivos de calidad de funcionamiento de extremo a extremo. En el presente Anexo se describen aspectos que se han de considerar para cumplir los parámetros de calidad de funcionamiento de VoIP a través de sistemas FWA.

## 2 Parámetros necesarios para VoIP en relación con los objetivos de calidad de funcionamiento de extremo a extremo

Los objetivos de calidad de funcionamiento para la transmisión de paquetes IP figuran en las Recomendaciones UIT-T Y.1540 y Y.1541. En la Recomendación UIT-T Y.1540 se definen los parámetros de la calidad de disponibilidad y en la Y.1541 se especifican seis clases de QoS y los parámetros de calidad de transferencia de paquetes IP. Las dos Recomendaciones se aplican al servicio internacional de comunicación de datos IP de extremo a extremo y admiten una gran variedad de aplicaciones IP tales como VoIP, conferencias multimedios o transferencias de datos interactivos. Por consiguiente, algunos de los objetivos de calidad de funcionamiento son suficientes para transmitir voz.

Existen dos métodos para medir la calidad de la voz en telefonía, uno subjetivo y otro objetivo. En las pruebas subjetivas se suele utilizar la nota media de opinión (MOS), cuyos valores se promedian para obtener un indicador cuantitativo de la calidad de funcionamiento de la red. En la Recomendación UIT-T P.800 se describe en detalle el procedimiento de medición de la MOS. Una de las pruebas objetivas representativas es la evaluación de la calidad vocal por percepción (PESQ), que consiste en medir la claridad mediante la comparación de una señal de prueba a la entrada de la red con la señal resultante después de atravesar dicha red. El procedimiento de medición de la PESQ se especifica en la Recomendación UIT-T P.862.

La PESQ por sí misma no garantiza una evaluación exhaustiva de la calidad vocal. Para evaluarla completamente se utiliza el modelo E descrito en la Recomendación UIT-T G.107. Este modelo sirve para calcular el factor de determinación de índices de la transmisión  $R$ . El factor  $R$  se calcula del modo siguiente:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_{e, \text{eff}} + A \quad (14)$$

siendo:

- $R_0$ : la relación señal-ruido básica,
- $I_s$ : la combinación de todas las degradaciones simultáneas que sufre la señal vocal,
- $I_d$ : la degradación debida al retardo,
- $I_{e, \text{eff}}$ : la degradación debida a la codificación de baja velocidad binaria y la pérdida de paquetes.

El factor ventaja  $A$  permite compensar factores de degradación tales como la comunicación móvil.

En la norma JJ-201.01 del TTC se indican estos parámetros, que se utilizan junto con  $R$ , así como su método de evaluación.

## 3 Consideraciones relativas a los parámetros de calidad de funcionamiento para la transmisión de VoIP por sistemas FWA

Los parámetros de calidad de funcionamiento que afectan a la calidad de la voz evaluada mediante el factor  $R$  son el retardo y el eco. La pérdida de paquetes, característica de las redes por paquetes, también afecta a la calidad de la voz. El valor de estos parámetros de calidad de funcionamiento dependerá del sistema inalámbrico.

### 3.1 Retardo y ecos

En los sistemas inalámbricos es preciso tomar debidamente en consideración los parámetros retardo y eco. El modelo E describe los tres parámetros relacionados con el retardo que se indican en el Cuadro 12.

CUADRO 12

**Parámetros relacionados con el retardo en el modelo E**

Parámetro	Abreviatura	Unidad	Intervalo
Retardo absoluto en conexiones sin ecos	$T_a$	ms	<500 ms
Retardo de ida y vuelta del trayecto de eco	$T_r$	ms	<1 000 ms
Retardo medio unidireccional del trayecto de eco	$T_a$	ms	<500 ms

$T_a$  es un retardo absoluto demasiado largo, que se produce aun cuando la compensación de ecos sea perfecta.  $T_r$  y  $T$  causan ecos para el oyente y el hablante, respectivamente. Cuando el sistema FWA ofrece el servicio VoIP, el retardo en la transferencia de paquetes en la sección de acceso inalámbrico debe ser inferior a 500 ms menos el retardo del terminal estándar, contando los codificadores, la red principal y la red de acceso alámbrica en el lado opuesto. Cuando se utiliza un sistema inalámbrico en las dos redes de acceso o una red de acceso multisalto, el retardo en cada sección de acceso inalámbrico debe diseñarse de modo que el retardo total de todas las secciones inalámbricas cumpla el objetivo estipulado. Este objetivo es un valor provisional, dado que será el retardo máximo que se utilice en el modelo E. Es necesario seguir estudiando este asunto para definir un objetivo más preciso.

**3.2 Pérdida de paquetes**

Para evaluar la calidad de la voz es necesario conocer la pérdida de paquetes. Esta pérdida de paquetes será tanto mayor cuando las condiciones de la red, por ejemplo el tráfico, excedan la capacidad para la cual fue diseñada. Se produce tanto en los sistemas alámbricos como en los inalámbricos. La probabilidad de pérdida de paquetes ( $P_{pl}$ ) es mayor en los sistemas inalámbricos que en los alámbricos, dado que la calidad de funcionamiento de los primeros suele ser inferior a la de los segundos. La velocidad de transmisión de datos en los sistemas inalámbricos es menor que en los sistemas (ópticos) alámbricos y a veces la señal se degrada debido a la interferencia, al efecto de pantalla o a la atenuación debida a la lluvia.

La probabilidad de pérdida de paquetes ( $P_{pl}$ ) está compuesta por la probabilidad de pérdida de paquetes en la red ( $P_{plN}$ ) y la probabilidad de pérdida de paquetes en la memoria tampón de compensación de la fluctuación de fase ( $P_{plB}$ ). La  $P_{plN}$  es la relación entre el número de paquetes recibidos y el número de paquetes transmitidos. La  $P_{plB}$  es la tasa de paquetes perdidos debido al desbordamiento de la memoria tampón de compensación de la fluctuación de fase. La tasa de pérdida de paquetes en el servicio VoIP prestado por un sistema FWA debe ser inferior al 20% menos  $P_{plB}$  y  $P_{plN}$  del correspondiente a una red alámbrica como se indica en el Cuadro 13. Al igual que en el caso del objetivo de retardo, cuando la red de acceso y la red de acceso inalámbrica multisalto utilizan sistemas inalámbricos la probabilidad de pérdida de paquetes en cada red inalámbrica debe diseñarse de modo que la contribución total cumpla el objetivo estipulado. Este valor también es provisional, dado que será el valor máximo de la probabilidad de pérdida aleatoria de paquetes que se utilice en el modelo E. Es necesario seguir estudiando este asunto para definir un objetivo más preciso.

CUADRO 13

**Parámetro de pérdida de paquetes**

Parámetro	Abreviatura	Unidad	Intervalo
Probabilidad de pérdida aleatoria de paquetes	$P_{pl}$	%	<20

El modelo y el método de cálculo de la  $P_{\text{plB}}$  se describen, respectivamente, en la norma JJ-201.01 de TTC y en «Network performance metrics in estimating the speech quality of VoIP» (MASUDA, M. y ORI, K. [Noviembre, 2001] IEICE APSITT2001, p. 333-337).

#### 4 Ejemplo de calidad vocal para trayectos hipotéticos con FWA

A continuación se da una estimación del retardo que introduce el procesamiento del codificador de voz conforme con la Recomendación UIT-T G.711. A partir del retardo boca oído, incluido el retardo UNI-UNI y el análisis del retardo introducido por el codificador, se describen los resultados del cálculo del valor R definido en la Recomendación UIT-T G.107 para la evaluación de la calidad vocal.

##### 4.1 Retardo introducido por el codificador

En VoIP se están utilizando últimamente varios tipos de codificadores, tales como los definidos en las Recomendaciones UIT-T G.711, G.729 y G.723.1. En estos codificadores, la técnica de codificación de voz más popular es la Recomendación UIT-T G.711. Los datos codificados no se comprimen, y la velocidad de codificación es 64 kbit/s. En el Cuadro 14 figuran los valores adoptados para los componentes que contribuyen al retardo.

CUADRO 14

#### Ejemplo de retardo introducido por un codificador conforme con la Recomendación UIT-T G.711

		Retardo (ms)	Notas
Formación de paquetes		40	2 veces el tamaño de la trama
Memoria tampón antifluctuación, en promedio		40	Para el caso de una memoria tampón de 80 ms
Ocultación de la pérdida de paquetes	Apéndice I/G.711	10	Una «trama» PLC
	Ninguna	0	
Total		80 ó 90	80 ms (sin PLC), 90 ms (con PLC)

Se supone que la longitud del paquete VoIP es 200 bytes, formado por 40 bytes de encabezamiento TCP/IP y 160 bytes de cabida útil. Así pues, la duración de la trama del codificador será, según los cálculos, de 20 ms. De conformidad con la Recomendación UIT-T G.113, el retardo debido a la formación de paquetes será el doble de 20 ms, esto es 40 ms. Se utiliza una memoria tampón antifluctuación para compensar la fluctuación de fase entre los paquetes recibidos. El tamaño ideal de esta memoria se determina con arreglo a la IPDV máxima. Por ejemplo, si la IPDV es de 78 ms calculada en el Cuadro 11 del Anexo 4, se tomará un tamaño de la memoria de 80 ms. En la Recomendación UIT-T Y.1541 se indica que la contribución de la memoria tampón antifluctuación viene dada por el tiempo que permanecen los paquetes en la misma y puede estimarse que es igual a la mitad del tamaño de la memoria. Por consiguiente, en este caso dicha contribución asciende a 40 ms. Por otra parte, si se recurre a la técnica de ocultación de la pérdida de paquetes (PLC), hay que añadir 10 ms. Como resultado de lo anterior, el retardo total introducido por el codificador se estima en 80 ms o 90 ms.

Es posible disminuir el retardo total introducido por el codificador si se reduce el retardo correspondiente a la formación de paquetes y/o el tamaño de la memoria tampón antifluctuación de fase. El retardo debido a la formación de paquetes depende del tamaño de la trama y cuanto menor

sea ésta menor será aquél. Ahora bien, cuanto mayor sea la relación entre la longitud del encabezamiento VoIP y la longitud total del paquete VoIP, mayor será la degradación de la eficiencia de la transmisión por el enlace. Por otra parte, el retardo introducido por el codificador puede reducirse con una memoria antifluctuación más pequeña. Sin embargo, al reducir el tamaño de esta memoria aumenta la llegada de paquetes desordenados, los cuales se descartan.

## 4.2 Retardo boca oído

En la Recomendación UIT-T G.114 se recomienda que el retardo boca oído sea inferior a 150 ms. A continuación se muestra un ejemplo de cálculo del retardo boca oído. Este retardo depende de  $D(AN)$  y la  $DV(AN)$ , que pueden variar según las condiciones, por ejemplo el protocolo de acceso FWA y el número de estaciones de abonado.

Se parte de los siguientes supuestos:

- Las contribuciones al IPTD y la IPDV (UNI-UNI) son las indicadas en el Cuadro 7 del Anexo 2, salvo las correspondientes a las partes de acceso que integran el sistema FWA, a saber el  $D(AN)$  y la  $DV(AN)$ .
- El factor dominante del  $D(AN)$  y la  $DV(AN)$  es el retardo introducido por el protocolo de acceso del sistema FWA, y se considera que los demás factores no influyen.
- El sistema FWA utiliza un protocolo de acceso basado únicamente en CSMA/CA.
- Se supone el caso en que  $m-1$  estaciones, de la primera a la  $(m-1)$ -ésima estación, tratan de enviar paquetes largos (1 500 bytes) como los del FTP, y que *una* estación (la  $m$ -ésima) trata de enviar un paquete corto (200 bytes) para VoIP.
- Las contribuciones al retardo del procesamiento en el codificador son las que figuran en el Cuadro 9, excepto la contribución de la memoria tampón antifluctuación, la cual depende del IPDV total UNI-UNI. (El tamaño de la memoria se toma igual a la IPDV UNI-UNI, y la contribución de esta memoria antifluctuación es en promedio la mitad del tamaño de la misma.)

Habida cuenta de las hipótesis mencionadas, el retardo boca oído  $D(total)$  que se produce en la transmisión de un paquete corto puede calcularse de manera aproximada mediante la siguiente expresión:

$$Retardo\_Codificador = Formación\_paquetes + Memoria\_antifluctuación + PLC$$

$$Formación\_paquetes = 40 \text{ ms}$$

$$Memoria\_Antifluct. \approx \frac{DV(AN) + DV(IP\ Net\ 1) + DV(IP\ Net\ 2)}{2}$$

$$DV(AN) \approx DV(FWA) = A_{(s)} - B_{(L)} \left( \frac{3}{\log p_m} + 1 \right) \quad (15)$$

$$DV(IP\ Net\ 1) = 28 \text{ ms}$$

$$DV(IP\ Net\ 2) = 34 \text{ ms}$$

$$PLC = \begin{cases} 10 \text{ ms} & (\text{con } PLC) \\ 0 & (\text{sin } PLC) \end{cases}$$

$$\begin{aligned} D(total) &= IPTD(UNI \cdot UNI) + Retardo\_Codificador \\ &= D(AN) + D(Ruta) + D(Red\ IP\ 1) + D(Red\ IP\ 2) + D(Red\ no\ IP) + Retardo\_Codificador \end{aligned}$$

siendo:

$$D(AN) \approx D(FWA) \approx A_{(S)} + B_{(L)} \frac{P_m}{1-p_m} \quad (16)$$

$$D(Ruta) = 25 \text{ ms}$$

$$D(Red \text{ IP } 1) = 20 \text{ ms}$$

$$D(Red \text{ IP } 2) = 24 \text{ ms}$$

$$D(Red \text{ no IP}) = 15 \text{ ms}$$

$A_{(S)}$ ,  $B_{(L)}$ , y las ecuaciones (13) y (14) se indican en el Anexo 5.

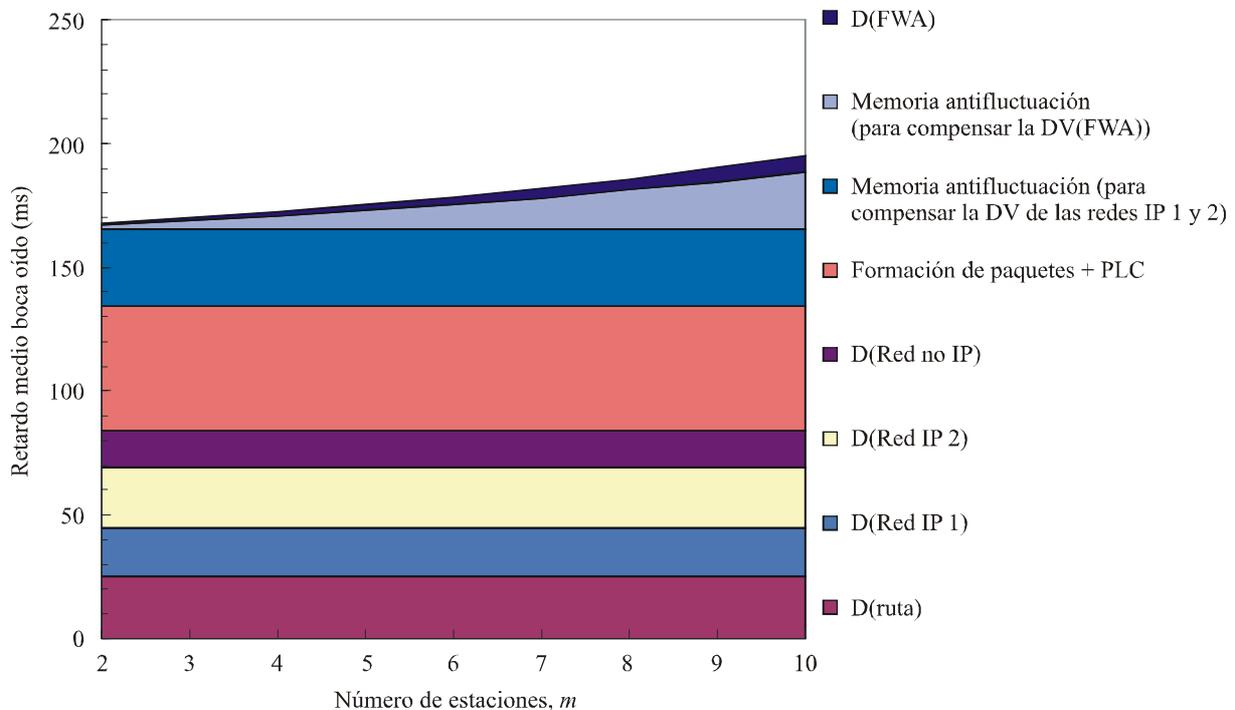
Por consiguiente, el  $D(total)$  viene dado por la siguiente expresión:

$$D(total) \approx \frac{3}{2} A_{(S)} + \frac{B_{(L)}}{2} \left( \frac{2p_m}{1-p_m} - \frac{3}{\log p_m} - 1 \right) + 165 \text{ (o } 155)$$

En la Fig. 27 se muestra un ejemplo de los resultados del cálculo del retardo boca oído que experimenta un paquete corto procedente de la estación  $m$ -ésima. En los cálculos se ha utilizado el modo de transmisión 54M de CSMA/CA. Cuando el número de estaciones que tratan de enviar paquetes largos es igual a nueve, el paquete VoIP de la 10ª estación experimenta un retardo de 200 ms aproximadamente.

FIGURA 27

Ejemplo de retardo medio boca oído



En la Fig. 27 también se muestra cada contribución al retardo boca oído. Los 165 ms de contribución al retardo no dependen de las características del sistema FWA. Cuando  $m$  es pequeño, estos 165 ms son la contribución dominante al retardo boca oído. En cambio, a medida que  $m$  aumenta, la contribución relacionada con el sistema FWA crece drásticamente. La contribución del sistema FWA está constituida por:

- D(FWA): el IPTD que se produce en la parte FWA, y
- D(Memoria): el retardo que introduce la memoria tampón antirfluctuación para compensar la DV(FWA).

En este ejemplo, D(Memoria) es mayor que D(FWA).

### 4.3 Ejemplo de cálculo del valor R

Según se describe en el § 4.2, el retardo boca oído depende del número de estaciones  $m$  en ciertas condiciones, y no cabe duda de que el valor  $R$  definido en la Recomendación UIT-T G.107 depende del retardo boca oído. Así pues, puede suponerse que el valor  $R$  depende de  $m$ . Partiendo de las hipótesis descritas en el § 4.2, se muestra un ejemplo de la relación entre  $m$  y el valor  $R$  para los casos en que la probabilidad de pérdida aleatoria de paquetes ( $Ppl$ ) sea 0, 0,1, 1,0 y 3,0%, respectivamente. La pérdida de paquetes depende del factor efectivo de degradación del equipo  $Ie-eff$ , que viene dado por el factor de degradación del equipo  $Ie$ , el factor de robustez respecto a la pérdida de paquetes  $Bpl$  y la  $Ppl$  que figura en el Cuadro 15.

Los valores de los demás parámetros necesarios para calcular el valor  $R$  son los valores por omisión indicados en la Recomendación UIT-T G.107. En este cálculo se supone que:

$$\text{Retardo medio unidireccional } (T) = \text{Retardo absoluto } (Ta) = \text{Retardo de ida y vuelta } (Tr)/2.$$

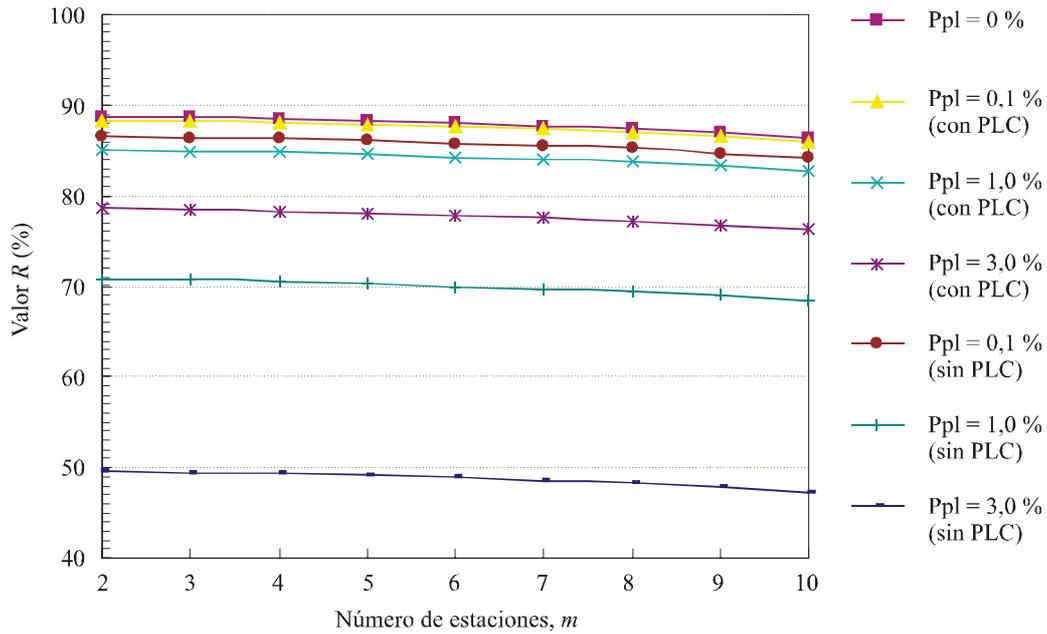
Los resultados de estos ejemplos de cálculo se muestran en la Fig. 28 (modo 54M) y la Fig. 29 (modo 24M). Cuando  $m$  es pequeño, la degradación del valor  $R$  es prácticamente la misma en los dos modos. Ahora bien, a medida que  $m$  aumenta, el valor  $R$  del modo 24M se degrada considerablemente.

CUADRO 15  
Factor de degradación del equipo

Codificador	PLC	$Ie$	$Bpl$	$Ppl$ (%)	$Ie-eff$
G.711	Apéndice I a la G.711	0	25,1	0	0
				0,1	0,4
				1,0	3,6
				3,0	10,1
G.711	Ninguna	0	4,3	0	0
				0,1	2,2
				1,0	17,9
				3,0	39,0

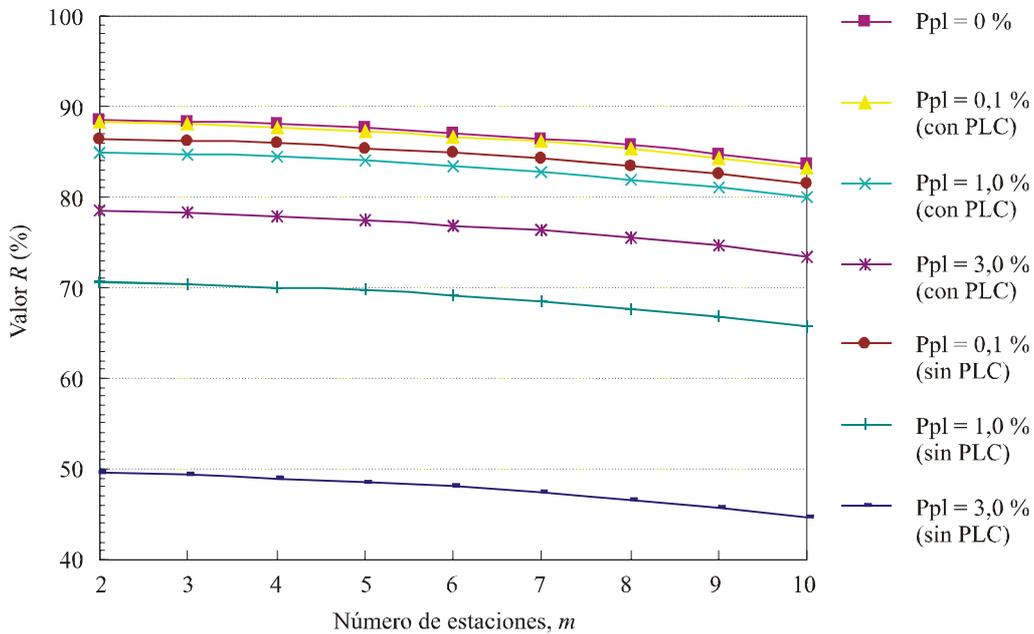
Cuando  $Ppl$  es menor que 0,1%, resulta posible utilizar en las comunicaciones de voz un codificador conforme con la Recomendación UIT-T G.711 sin PLC. Ahora bien, cuando la pérdida de paquetes es elevada, será necesario utilizar PLC para mejorar la degradación del valor  $R$  y mantenerlo por encima del 70%.

FIGURA 28  
Ejemplos de cálculo del valor  $R$  (CSMA/CA, modo 54M)



Rap 2058-28

FIGURA 29  
Ejemplos de cálculo del valor  $R$  (CSMA/CA, modo 24M)



Rap 2058-29

## Anexo 6

### Técnicas para mejorar la eficiencia en la utilización del espectro

#### 1 Introducción

En los sistemas ATM las células se generan de manera asíncrona. Cuando el tren de células se transmite por líneas de banda ancha, se insertan células vacías como ilustra la Fig. 30. En este caso, se mantienen los intervalos de células válidas y la variación del retardo de célula (CDV). Ahora bien, este método no resulta adecuado para sistemas inalámbricos desde el punto de vista de la utilización eficiente del espectro. Lo eficaz sería suprimir las células vacías para utilizar el espectro de manera más eficiente. A continuación se describen varios métodos posibles para mantener el CDV sin insertar células vacías.

Suprimir las células vacías es fundamental para garantizar una utilización eficaz del espectro. Las células vacías deben considerarse como un relleno que se introduce en la capa física y que se transmite cuando no hay otra información útil que transmitir. Suprimir las células vacías no implica en modo alguno que las células ATM se hayan de transmitir en ráfagas más largas que una célula, dado que ello daría lugar a un retardo inaceptable. Cada vez que se precisa formar ráfagas (como en el canal ascendente de un sistema P-MP), la longitud de éstas debe ser igual a la de una sola célula.

Dos posibles formas de evitar la transmisión de células vacías en el canal de radiocomunicaciones son:

- La multiplexación estadística (cuando la velocidad binaria del canal de radiocomunicaciones sea comparable a la de la interfaz con la banda de base).
- La asignación al canal de radiocomunicaciones de una velocidad binaria mucho menor.

#### 2 Multiplexación estadística

Cuando la velocidad binaria del canal de radiocomunicaciones es comparable (o no mucho menor) a la velocidad de la interfaz con la banda de base, la multiplexación estadística (que consiste en que varias conexiones/estaciones comparten el mismo medio físico) permite reducir el espectro desperdiciado por las células vacías sin introducir una variación del retardo de célula. La segunda conexión/estación empleará los intervalos de tiempo que no ocupa la primera, etc. En la Fig. 30 se muestra un ejemplo de una conexión en la que los intervalos de tiempo que quedan libres al eliminar las células vacías (marcados con un «\*») pueden utilizarlos otras conexiones/estaciones en el canal de radiocomunicaciones.

#### 3 Reducción de la velocidad binaria en el canal de radiocomunicaciones

Si la velocidad binaria del canal radioeléctrico es muy inferior a la velocidad binaria de la interfaz de la banda de base en cada estación terminal, se producirá una pérdida de la granularidad en la información posicional de las células. Para recuperar esa información puede recurrirse a una técnica como la que se describe a continuación, aunque probablemente sólo sea necesario si la reducción de la velocidad binaria es grande (> 10 veces) y la conexión se caracteriza por «ráfagas» (ráfagas largas a la velocidad máxima de célula (PCR) seguidas de periodos de silencio prolongados). Cabe observar que la PCR negociada no debe exceder la velocidad del canal radioeléctrico (lo cual es prerrogativa del control y admisión de la conexión), en cuyo caso no se plantea este problema. Si se desea que la PCR pueda superar la velocidad de la interfaz radioeléctrica es posible recurrir a una de las técnicas que se describen a continuación a título de ejemplo.

Si la velocidad binaria del canal radioeléctrico es muy inferior a la de la interfaz de la banda de base, las células vacías se eliminarán en el lado de transmisión pero deberán reinsertarse en el receptor. Existen dos métodos para regenerar las células vacías en el lado receptor.

**a) Intervalo regular**

En este método se mantiene en el lado receptor el intervalo de células válidas, como se muestra en la Fig. 31. Este método resulta conveniente para CBR con un intervalo entre células constante y una velocidad binaria no especificada (UBR) que funciona independientemente de la CDV. La ventaja de este método es que la función de control es sencilla. En cambio, tiene el inconveniente de que se degrada la calidad de funcionamiento debido a la CDV en el servicio VBR.

**b) Sello de tiempo**

Este método consisten en generar información sobre temporización con arreglo a cada intervalo de tiempo de la célula, información que se escribe en la célula en el lado transmisión, como se indica en la Fig. 32. En el lado receptor, los intervalos entre células se controlan con precisión de acuerdo con los sellos de tiempo. La ventaja de este método es que se mantiene la CDV. El inconveniente es que disminuye la eficiencia de la transmisión debido a los bytes adicionales que se necesitan para transmitir los sellos de tiempo y el retardo adicional que produce la gestión de las fluctuaciones de la CDV (el retardo adicional resultante depende de las fluctuaciones de la CDV y de la longitud máxima de la ráfaga en la interfaz de la banda de base, por lo que no resulta fácil determinar su valor).

FIGURA 30

**Conexión inalámbrica a alta velocidad con una ráfaga de longitud igual a una célula y multiplexación estadística**

\* = Células vacías. Los intervalos de tiempo no utilizados por esta conexión inalámbrica se utilizan para otras conexiones (multiplexación estadística)

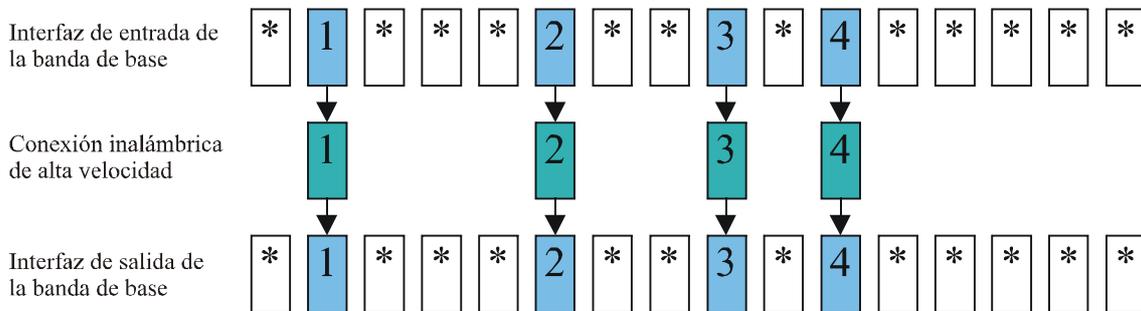
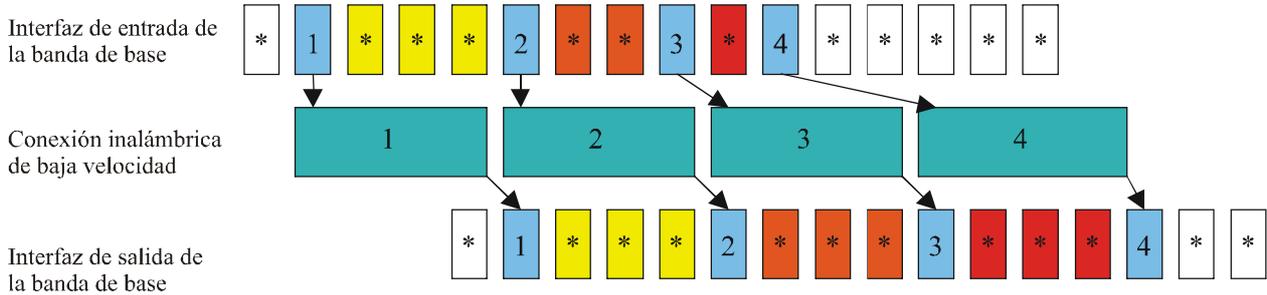


FIGURA 31

**Conexión inalámbrica a baja velocidad con una ráfaga de longitud igual a una célula y sin sello de tiempo (no se mantiene la CDV)**

\* = Células vacías.

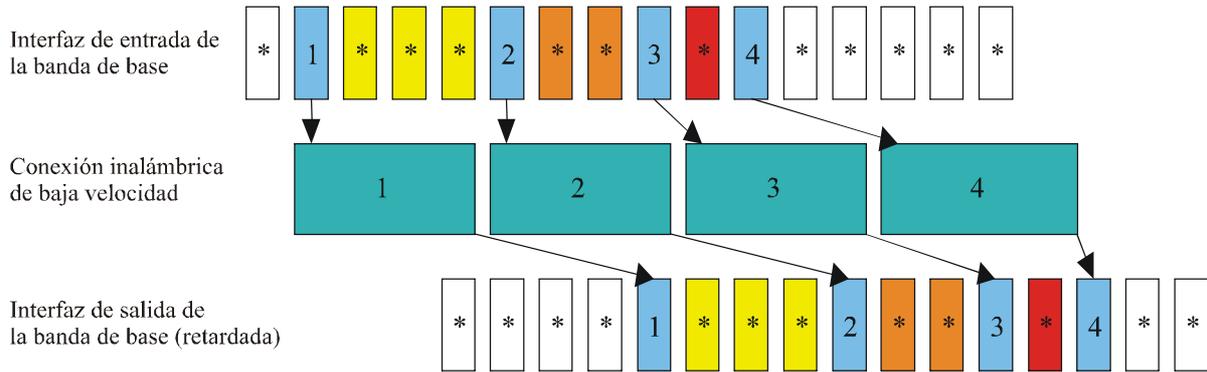


Rap 2058-31

FIGURA 32

**Conexión inalámbrica a baja velocidad con una ráfaga de longitud igual a una célula y con sello de tiempo (se mantiene la CDV)**

\* = Células vacías.



Rap 2058-32

## Anexo 7

### Técnicas de corrección de errores en sistemas FWA basados en ATM

#### 1 ARQ en los sistemas FWA basados en ATM

##### 1.1 Introducción

La petición automática de repetición (ARQ) es una técnica de control de errores. La ARQ requiere un código de detección de errores y un número de secuencia para cada célula. Los números de secuencia se generan con arreglo al orden de las células y se añaden a cada célula válida en el lado de transmisión. Cuando se pierde una célula válida, el receptor solicita la retransmisión de la misma al lado de transmisión. Una vez retransmitida, la célula se coloca en la posición correcta de acuerdo con el número de secuencia.

La ARQ es una técnica eficaz para servicios que no son en tiempo real. Sin embargo, el retardo que introduce se convierte en un problema en los servicios en tiempo real. Una solución consiste en

limitar la aplicación de la ARQ exclusivamente a los servicios que no son en tiempo real. No obstante, en los sistemas en tiempo real es posible aplicar una estrategia ARQ rápida con un número limitado de intentos.

Conviene comparar la ARQ con la FEC e incluso considerar la posibilidad de combinar las dos técnicas.

El principal inconveniente de la ARQ con ATM es el retardo. Para evitar la CDV, en el receptor debe añadirse un retardo constante igual al tiempo máximo de retransmisión (o tiempo para retransmitir el número máximo de veces).

En los sistemas ATM suelen haber servicios con requisitos estrictos en cuanto al retardo y otros servicios más flexibles en este aspecto. También deben tomarse en consideración los requisitos de pérdida de células.

El grupo de trabajo sobre ATM inalámbrico del Foro ATM propone que los requisitos más estrictos sean los siguientes<sup>1</sup>:

	Servicios en tiempo real	Servicios en tiempo no real
CLR	$10^{-7}$	$10^{-9}$
Retardo	10 ms	500 ms o más

Existen dos opciones, a saber, definir una estrategia de ARQ rápida para todo el tráfico o aplicar la ARQ exclusivamente a los servicios en tiempo no real.

Si se opta por restringir la ARQ a los servicios en tiempo no real, el canal radioeléctrico tendrá que dimensionarse (potencia transmitida y capacidad FEC) para garantizar que la tasa de pérdida de células sea inferior a  $10^{-7}$  sin ARQ. La utilización de la ARQ para servicios en tiempo no real permite reducir la CLR de estos servicios al valor obligatorio  $10^{-9}$  que corresponde a una ganancia de 0,5-1 dB (en un canal Gaussiano). Por consiguiente, la ventaja es mínima (puede obtenerse la misma ganancia con un pequeño aumento de la potencia o de la longitud de FEC) y además resulta complicado.

La ARQ restringida podría dar lugar a situaciones en las que el sistema esté fuera de servicio para CBR y operativo para UBR. Ésta es una razón de peso para plantearse la cuestión de si resulta útil una retransmisión lenta y selectiva según el tipo de servicio.

Una opción que se recomienda considerar es la ARQ de repetición rápida y selectiva con posibilidad de retransmitir todo tipo de tráfico, especialmente para sobrellevar canales afectados por ráfagas de errores (aquellos en los que predomina el desvanecimiento y la interferencia). Para poder gestionar conexiones de requisitos diferentes puede establecerse un número máximo de retransmisiones y un retardo máximo de retransmisión (que, en principio, puede variar de una conexión a otra e incluso valer 0 para el caso en que no hay retransmisión).

Debe tratarse por todos los medios que la retransmisión sea lo más rápida posible para que la ARQ pueda tratar el mayor número de conexiones.

Puede demostrarse que, si el canal es Gaussiano, la ventaja de la ARQ es limitada en comparación con la FEC con una tara de igual longitud (o una FEC más larga si se utilizan a la vez). La ARQ resulta muy eficaz en un entorno propenso a ráfagas de errores. A bajas frecuencias (en particular en el acceso móvil aunque también en el fijo) predomina el ruido artificial, la interferencia y el

<sup>1</sup> ATM Forum Baseline Text for Wireless ATM specification, February, 1998 (ATM Forum BTD-WATM-01.06).

desvanecimiento por trayectos, así que son bastante frecuentes las ráfagas de errores. A frecuencias más altas estos tipos de ruido se producen en menor grado y, por consiguiente, se suelen considerar como entornos de ruido blanco Gaussiano.

Se recomienda (a título facultativo) aplicar la ARQ a bajas frecuencias pero no a altas (por encima de 18 GHz).

Debe ponerse especial cuidado al aplicar la ARQ a sistemas TDD (ya sea P-MP o P-P), debido al gran retardo que introduce (habrá tramas en sentido ascendente y descendente de longitud mayor a una sola célula ATM, por lo que el acuse de recibo y la retransmisión sufrirán siempre una demora igual a la duración de trama). Se recomienda considerar la posibilidad de aplicar la ARQ en sistemas TDD tan sólo cuando sea necesaria.

## 1.2 Comparación entre los diferentes métodos ARQ

En general, existen dos métodos de aplicar la ARQ, a saber, el método de reenvío desde  $n$  (GBN) y el método de repetición selectiva (SR). En la Fig. 33 a) y b) se muestran, respectivamente, los métodos GBN y SR. En GBN, el receptor envía un acuse de recibo negativo (NAK) al transmisor con el número de secuencia de la primera célula errónea, y luego el transmisor reenvía el tren de células a partir de la célula marcada con NAK. En el método de SR, el receptor retransmite únicamente la célula errónea al recibir un NAK.

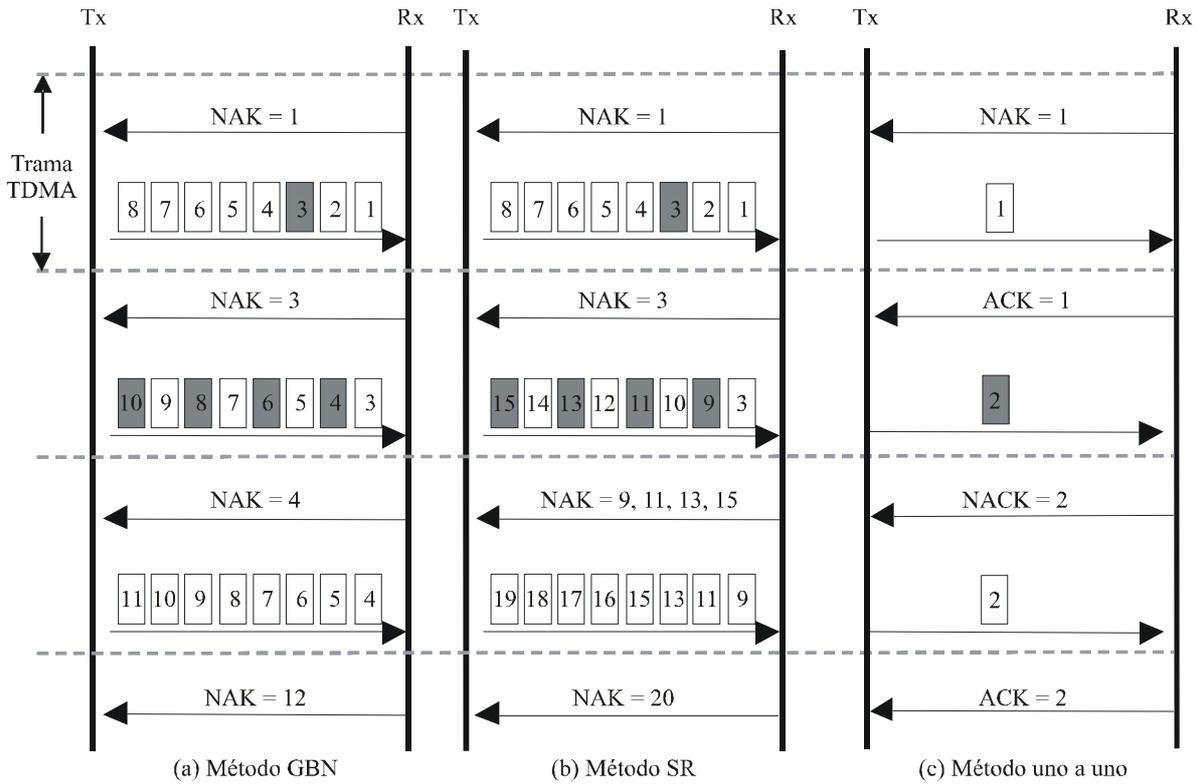
Además de estos dos métodos, existe también el método en el que el transmisor recibe confirmación del receptor para cada célula recibida correctamente y no retransmite la siguiente hasta que la anterior no haya llegado al receptor (véase la Fig. 33 c)). Sin embargo, desde el punto de vista de la utilización de frecuencias este método no resulta aceptable para los sistemas FWA que utilizan ATM.

El método SR requiere un control de la ARQ más complejo que el GBN, pero es más eficiente. En la Fig. 34 se muestran las características de la eficiencia de transmisión del método GBN para el caso de un formato de trama basado en TDMA y suponiendo errores aleatorios. El caudal del método SR es igual al del GBN cuando  $N_{salida} = 1$  y es independiente de  $N_{salida}$ , siendo éste el número de células transmitidas durante el periodo ARQ (es decir, la trama TDMA). En este cálculo, no hay límite respecto al número de repeticiones. Se supone que la capacidad de la memoria también es ilimitada y, en aras de la sencillez, se hace caso omiso del volumen de transmisión de la información ACK. Ahora bien, si en lugar de errores aleatorios, el sistema es propenso a ráfagas de errores, la diferencia entre estos dos métodos es menor. Como puede observarse en la Fig. 34, cuando la BER es elevada las características de la transmisión en el caso del método GBN están notablemente degradadas en comparación con el método SR. Por consiguiente, el método ARQ más conveniente será el SR.

## 1.3 Métodos de notificar de errores desde el receptor hacia el transmisor

En el método SR es corriente que el receptor acuse recibo (ACK) al transmisor de los números de secuencia de los datos (en este caso, células) que ha recibido. Ahora bien, el volumen de la información ACK de todas las células transmitidas puede ser enorme en los sistemas ATM objeto del presente documento, por cuanto el ARQ gestiona un número de células elevado. En este caso, la información ACK siempre ocupa gran parte de la anchura de banda del canal. Así pues, desde el punto de vista de eficiencia espectral, resulta conveniente recurrir al método en que el receptor indica al transmisor mediante NAK las células que no ha recibido (suponiendo que el índice de retransmisiones sea inferior al 1%, es decir, que se sólo se envía un NAK cada 100 células transmitidas).

FIGURA 33  
Métodos ARQ básicos

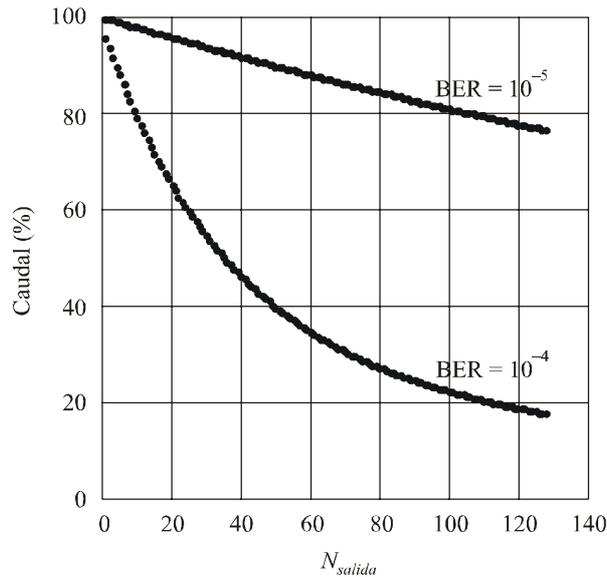


■ Célula con errores

Rap 2058-33

FIGURE 34

Relación entre  $N_{salida}$  y caudal en el método GBN<sup>2</sup>



Rap 2058-34

<sup>2</sup> OHTA, A. *et al.* [May 1998] PRIME ARQ: A Novel ARQ Scheme for High-speed Wireless ATM – Design, implementation and performance evaluation, VTC'98, p. 1128-1134.

Al utilizar los NAK (sin ACK) para reducir el tráfico de acuses de recibo se requiere más información, por ejemplo, el NAK para la célula 2 se envía sólo después de haber recibido la célula 3; si el NAK o la primera retransmisión se pierde, el receptor debe reenviarlo una vez transcurrido un determinado periodo. Este periodo puede ser breve si se asigna la mayor prioridad a los NAK y las retransmisiones.

Otro problema que debe solucionarse al optar por utilizar sólo NAK es que el transmisor debe mantener la célula en la memoria tampón hasta tanto esté seguro de que no se recibirá un NAK para la misma. Lamentablemente, al considerar la posibilidad de que los NAK puedan perderse, la célula debe mantenerse hasta que expire el periodo estipulado (periodo largo). Este periodo debe ser mayor que el tiempo máximo de retransmisión o el tiempo necesario para el número máximo de retransmisiones. En el receptor debe incorporarse una memoria tampón del mismo tamaño (y, por tanto, un retardo fijo) para permitir la reconstrucción sin que se produzca una CDV.

No obstante lo anterior, el problema del tráfico de acuses de recibo en el sentido ascendente de P-MP es muy grave y, a pesar de sus inconvenientes, los NAK ofrecen una buena solución a este respecto. Otra posibilidad es adoptar la técnica de acuse de recibo acumulativo, con lo que se obtiene una calidad de funcionamiento intermedia entre el método de reenvío desde  $n$  y el de repetición selectiva, por cuanto combina la ventaja de un tráfico de acuses de recibo pequeño y un menor tamaño de las memorias tampón.

#### **1.4 Evitación de repetición excesiva**

En los sistemas ATM inalámbricos, se transmiten diversos tipos de servicios, cada uno con requisitos de QoS distintos. La calidad necesaria en los servicios en tiempo real tales como CBR y rt-VBR (VBR en tiempo real) en sistemas ATM inalámbricos se encuentra en fase de normalización en algunas organizaciones. En el Foro ATM se considera que los valores necesarios del CTD y la CLR en el caso más desfavorable de CBR o rt-VBR son, respectivamente 10 ms y  $10^{-7}$ . Por otra parte, de conformidad con la Recomendación UIT-T I.356, la CLR debe ser inferior a  $10^{-8}$  para la clase más exigente. Para mejorar la adaptación a la zona de FWA, conviene que la CLR adopte técnicas de corrección de errores mediante FEC y/o ARQ para cumplir las calidades de servicio mencionadas en entornos inalámbricos propensos a muchos errores.

En los servicios en tiempo real, el retardo máximo admisible es tan pequeño como el mencionado. Los excesivos intentos de ARQ durante el retardo admisible deja de tener sentido. Por consiguiente, el receptor debe supervisar el número de repeticiones o el retardo y dejar de enviar los NAK cuando detecte que uno u otro sobrepasan el valor permitido (el transmisor, por su parte, descartará la célula que se encuentre en la memoria intermedia una vez haya expirado el periodo estipulado).

## **2 Corrección de errores en la transmisión de células ATM**

### **2.1 Consideraciones generales**

En los sistemas FWA que transportan células ATM, deben cumplirse los requisitos de calidad de funcionamiento de la capa ATM y los de la capa física. La relación entre los parámetros de calidad de funcionamiento de estas dos capas se están estudiando en el marco de la Cuestión UIT-R 210/9. En particular, los sistemas deben diseñarse para cumplir el objetivo SESR especificado en la Recomendación UIT-T G.826 y, además, cumplir los objetivos CLR o CER estipulados en la Recomendación UIT-T I.356.

## 2.2 Comparación entre HEC y FEC y efectos de la codificación diferencial

En el transporte de células ATM, el HEC se aplica normalmente al encabezamiento. Por consiguiente, es posible corregir un error en los bits del encabezamiento, lo que se traduce en un menor número de células erróneas (LOC) y de células mal insertadas.

Sin embargo, cabe observar que HEC no resulta eficaz cuando el sistema FWA utiliza codificación diferencial, por cuanto en tal caso un error en el código causa dos errores de bit contiguos. Esta situación puede dar lugar a que el HEC resulte ineficaz y se vean afectadas la CLR y la CMR del sistema. Cabe observar que la HEC probablemente no resulte suficiente para la mayoría de las aplicaciones inalámbricas y sea necesario añadir un mecanismo de FEC más potente a toda la célula ATM.

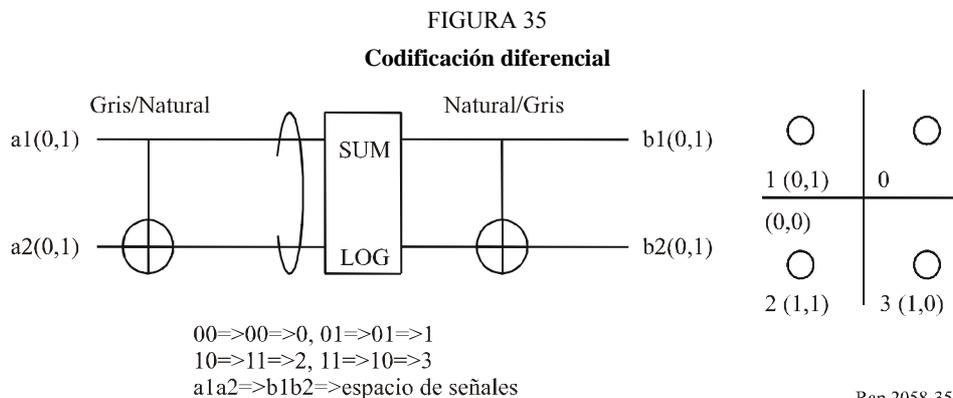
La FEC es un método de corrección que se aplica a toda la célula ATM, lo que normalmente permite corregir errores múltiples. Además, soluciona el problema de la codificación diferencial. Por otra parte, al utilizar la FEC, la HEC resulta redundante y puede prescindirse de la misma. Es fácil comprobar que una FEC de un byte más larga resulta más eficaz que la combinación FEC+HEC.

Se propone utilizar la FEC y eliminar la HEC siempre que sea posible. A continuación se describe un método para utilizar la HEC en un entorno con codificación diferencial cuando no se recurre a la FEC.

## 2.3 Ejemplo de método para evitar los efectos de la codificación diferencial cuando se utiliza HEC sin FEC

Si bien hay trayectos digitales en los que no se necesita la codificación diferencial, en muchos otros casos sí se precisa esta codificación. Para evitar la propagación de errores dentro de una sola célula, será necesario adoptar algún tipo de procesamiento de la señal a nivel de bit para los trenes de células ATM recibidos. A continuación se describe un ejemplo de método posible.

La codificación diferencial se utiliza generalmente para eliminar la incertidumbre de la fase de la portadora recuperada. En este sistema, la señal de modulación se hace corresponder con el espacio de la señal de acuerdo con la suma de dos señales contiguas. En el lado receptor, se calcula la diferencia entre la señal recibida y la anterior. Para sumar y restar se utiliza el algoritmo lógico de módulo 4. Aun cuando exista una incertidumbre de  $90^\circ$ , ésta se anula debido a que las portadoras recuperadas de dos señales adyacentes tienen idéntica fase. Estas relaciones se muestran en la Fig. 35.



Sin embargo, al utilizar la codificación diferencial, cuando se produce un error de bit en la señal recibida puede propagarse a dos intervalos de tiempo consecutivos, como se indica en la Fig. 36.

FIGURA 36

**Error consecutivo debido a la codificación diferencial**

b1 000X000=>a1 000X000 o 000XX00 o 0000X00 o 0000000  
 b2 0000000=>a2 0000X00 o 0000000 o 000X000 o 000XX00

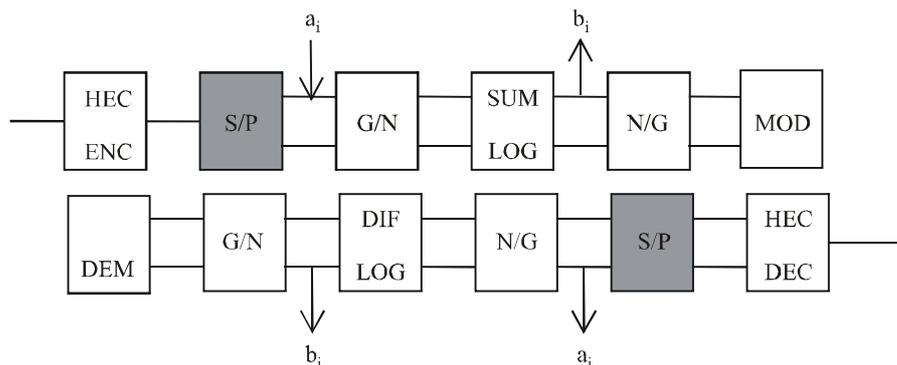
X: error, O: no error

Rap 2058-36

Por otra parte, el control HEC se aplica al encabezamiento de la célula ATM. La HEC se aplica fuera del proceso de codificación diferencial, como se indica en la Fig. 37 y se ve afectada por el error consecutivo descrito anteriormente que es consecuencia de la codificación diferencial. Dado que HEC utiliza esta función de corrección de errores para errores de un bit y la detección de errores para más de un bit erróneo, el efecto de la corrección de errores se deteriorará considerablemente si se producen los errores consecutivos mencionados como consecuencia de la codificación diferencial.

FIGURA 37

**Proceso HEC de una célula ATM**

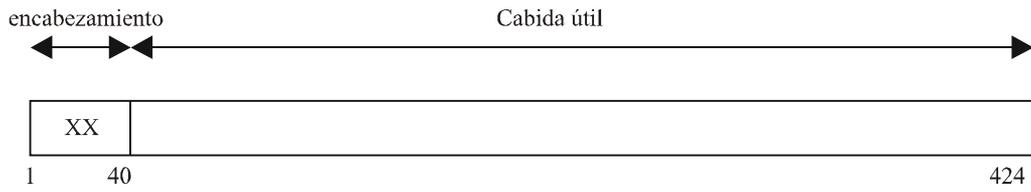


HEC ENC: Codificador de control de errores de encabezamiento	S/P: Convertor serie-paralelo
G/N: Convertor gris-natural	SUM LOG: Suma lógica
N/G: Convertor natural-gris	DIF LOG: Resta lógica

Rap 2058-37

Para evitar que se deteriore la HEC, una técnica eficaz es el entrelazado de bits que se muestra en la Fig. 38. Este proceso consiste en separar los bits consecutivos en el encabezamiento y en la cabida útil dentro de la célula, de modo que también se separan los bits erróneos consecutivos que figuran en el encabezamiento y en la cabida útil. Así pues, se obtienen errores de un bit en el encabezamiento y se mejora así la probabilidad de corregirlos. En la Fig. 38, la célula se divide en cuatro, en el caso de una codificación diferencial MDP-4.

FIGURA 38  
Entrelazado de bits dentro de la célula ATM



Secuencia de la señal 1, 107, 213, 319, 2, 108, 214, 320



\_\_\_\_\_