

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.2003-2
(01/2018)

**Sistemas inalámbricos de múltiples gigabits
en frecuencias en torno a 60 GHz**

Serie M

**Servicios móviles, de radiodeterminación,
de aficionados y otros servicios
por satélite conexos**



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radioastronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2018

© UIT 2018

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R M.2003-2

**Sistemas inalámbricos de múltiples gigabits
en frecuencias en torno a 60 GHz**

(Cuestión UIT-R 212-3/5)

(2012-2015-2018)

Cometido

En esta Recomendación se recogen las características generales y las normas de la interfaz radioeléctrica para los sistemas inalámbricos de múltiples gigabits en frecuencias en torno a 60 GHz.

Palabras clave

Sistema inalámbrico de múltiples gigabits (MGWS), red de área local inalámbrica (WLAN), red radioeléctrica de área local (RLAN), redes de acceso local inalámbricas, redes radioeléctricas de área local, sistemas móviles de proximidad inmediata (CPMS)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que los sistemas inalámbricos de múltiples gigabits (MGWS) se utilizan ampliamente en los equipos informáticos fijos, semifijos (transportables) y portátiles para diversas aplicaciones de banda ancha;
- b) que es previsible que los sistemas MGWS incluyan aplicaciones para vídeo, audio y aplicaciones de control digital inalámbricas, así como redes de área local inalámbricas de múltiples gigabits (WLAN) y sistemas móviles de proximidad inmediata punto a punto;
- c) que las normas sobre MGWS se han elaborado para el funcionamiento en la gama de frecuencias de 60 GHz;
- d) que los MGWS deben implementarse teniendo muy presente la compatibilidad con otras aplicaciones radioeléctricas;
- e) que muchas administraciones permiten los sistemas MGWS, incluidos dispositivos de redes radioeléctricas de área local (RLAN) y redes inalámbricas de área personal (WPAN) que funcionan en el rango de frecuencias de 60 GHz en régimen exento de licencias;
- f) que las frecuencias armonizadas en la gama de frecuencias de 60 GHz para el servicio móvil facilitarían la introducción de los MGWS, incluyendo las RLAN,

reconociendo

- a) que tanto consumidores como fabricantes se beneficiarán de la armonización mundial del espectro en torno a 60 GHz para los MGWS;
- b) que aunque los MGWS se han utilizado sobre todo para aplicaciones en interiores, hay administraciones que permiten el uso de estos sistemas en exteriores,

observando

que existen varias normas con opciones para la implementación de sistemas MGWS,

recomienda

que se utilicen las normas sobre los MGWS y sus sistemas característicos que figuran en el Anexo 1.

Anexo 1

Características generales de los sistemas inalámbricos de múltiples gigabits en 60 GHz

1 Generalidades

Las redes de radiocomunicaciones basadas en sistemas inalámbricos de múltiples gigabits (MGWS) pueden utilizarse para aplicaciones de corto alcance y en situaciones de visibilidad directa y de no visibilidad directa con topologías WLAN tradicionales. Los sistemas MGWS también pueden utilizarse en comunicaciones de proximidad de alta velocidad de muy corto alcance en las que el alcance radioeléctrico es de unos pocos centímetros con dispositivos de emparejamiento punto a punto en estrecha proximidad entre sí.

Para las WLAN, la cobertura y la calidad de funcionamiento de la comunicación varían en función del diseño del sistema (por ejemplo, número de elementos de antena) y del entorno, pero el rendimiento de múltiples gigabits suele obtenerse en un rango de unos 10 m dentro de un recinto con dispositivos de unas pocas (≤ 3) docenas de elementos de antena y de hasta unos pocos cientos de metros en exteriores con dispositivos equipados de varias (≥ 6) docenas de elementos de antena. Estas redes pueden desplegarse con un punto de acceso, como en los despliegues de WLAN existentes, o sin dicha infraestructura, como las WLAN en modo ad hoc y las redes inalámbricas de área personal (WPAN).

En una topología de comunicación de estrecha proximidad con un par de dispositivos (también conocida como red de par) pueden obtenerse rendimientos de hasta 100 Gbits en un alcance de 10 cm o menos (dispositivos que casi se tocan) con conexiones transitorias (rápido establecimiento y terminación); los dispositivos en estrecha proximidad suelen utilizar un solo elemento de antena y una potencia de transmisión muy baja.

Cuando se utilizan puntos de acceso, se instalan en interiores con cobertura del hogar o de una oficina con un terminal de usuario nomádico típicamente también en interior, es decir, todo el sistema WLAN se utiliza en un entorno de interior. Para obtener un alcance mayor y mejor capacidad, el punto de acceso suele equiparse con un mayor número de elementos de antena que los terminales de usuario.

Cuando no se utilizan puntos de acceso, los dispositivos MGWS pueden comunicarse mediante enlaces directos para intercambiar datos entre dispositivos/equipos. Las aplicaciones típicas incluyen comunicaciones de equipo a equipo (por ejemplo, de un PC a un proyector) y entre dispositivos de electrónica de consumo y un quiosco¹, y puede asumirse que dicho uso será predominantemente en interiores. En algunas aplicaciones, los dispositivos nómadas se conectan a dispositivos fijos (por ejemplo, quiosco, puerta de entrada, torniquete, máquina expendedora) muy brevemente para transferir una gran cantidad de datos, por ejemplo la descarga dos horas de vídeo HD en 250 ms al pasar por un torniquete de entrada en una estación ferroviaria o en un aeropuerto. En las aplicaciones de estrecha proximidad, puede que se concentre una alta densidad de dispositivos y usuarios en un

¹ En este contexto, un quiosco en una cabina que ofrece la distribución y acceso a contenidos electrónicos tales como películas, música, vídeos, libros electrónicos, etc.

espacio pequeño, por ejemplo personas que pasan por la puerta de control² en una estación ferroviaria o en un aeropuerto.

2 Características técnicas de los MGWS

2.1 Espectro

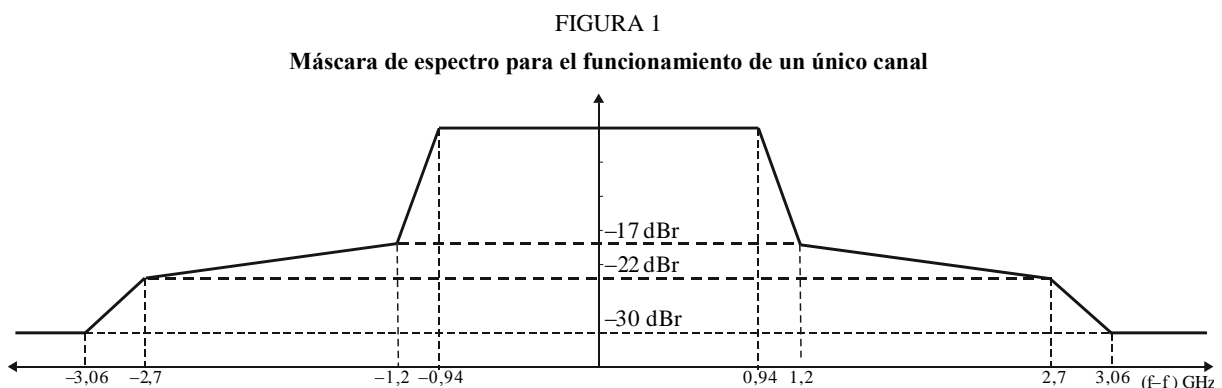
Se necesita un mínimo de 7 GHz de espectro continuo en el rango de 57-71 GHz para satisfacer los requisitos³ de las aplicaciones que se prevén utilizar en ese espectro de frecuencias, tales como vídeo no comprimido (por ejemplo, a través de la interfaz multimedia de alta definición (HDMI) a 3 Gbit/s), acoplamiento inalámbrico, conexión inalámbrica y carga/descarga de alta velocidad. Ello permitiría disponer de hasta seis canales que ofrecen flexibilidad y una conectividad mejorada. Además, para canales únicos, un ancho de banda de canal de 2 160 MHz permite utilizar esquemas de modulación más sencillos para conseguir velocidades de datos de varios Gbit/s, que son adecuadas para dispositivos de baja potencia, como teléfonos inteligentes, tabletas y ordenadores en red de baja capacidad. Si se agrupan canales únicos para obtener una mayor capacidad, el ancho de banda se define como un múltiplo entero de 2 160 MHz para permitir la coexistencia con sistemas de esa frecuencia.

2.2 Ancho de banda del canal y frecuencias centrales

Se necesita un ancho de banda del canal de 2 160 MHz para canales únicos y se permite la agrupación de esos canales. Es importante que todas las normas sobre MGWS utilicen la misma canalización con el fin de promover la coexistencia. Se recomienda que las frecuencias centrales de los canales únicos sean 58,32; 60,48; 62,64; 64,80; 66,96 y 69,12 GHz. Para los canales agrupados, las frecuencias centrales dependen de cuántos canales únicos se han agrupado, pero deben estar uniformemente espaciados con respecto de las frecuencias centrales de canal único.

2.3 Máscara de transmisión

La máscara siguiente es aplicable al funcionamiento con un único canal.



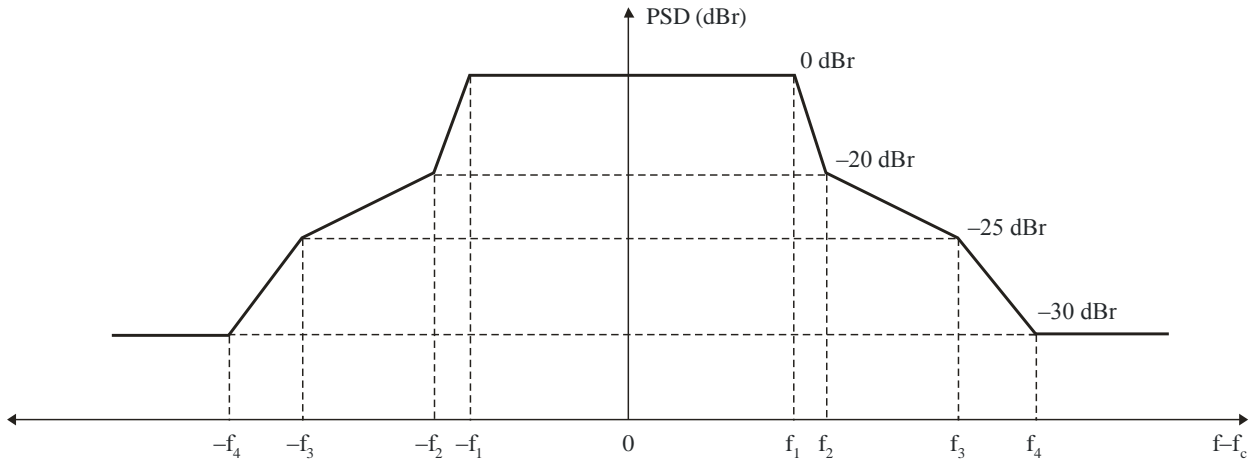
² En este contexto, una puerta de control con funciones de pago de entrada y descarga de archivos de gran tamaño que se utiliza en estaciones ferroviarias y aeropuertos. El contenido de esos archivos puede ser vídeos, películas, etc.

³ Los requerimientos del sistema los proporcionan las normas incluidas en el Anexo 1.

En la Figura 1 anterior, f_c es la frecuencia central portadora.

La máscara siguiente (Figura 2 y Cuadro 1) es aplicable cuando se utiliza una agrupación de canales con más de un canal contiguo.

FIGURA 2
Máscara de espectro para más de un canal contiguo en una agrupación de canales



M.2003-02

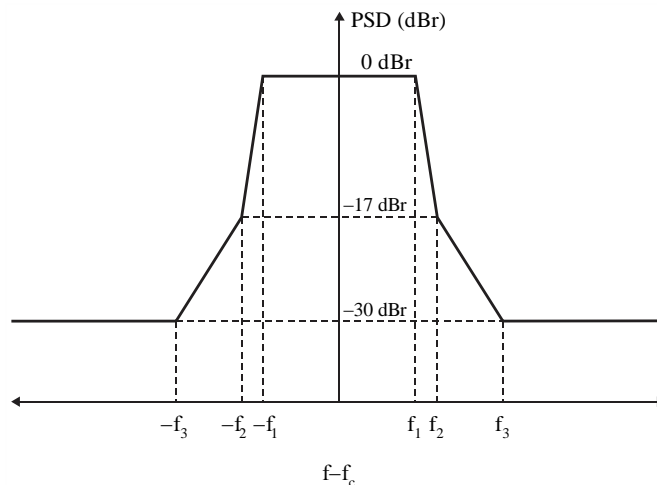
CUADRO 1

Parámetros de la máscara espectral de transmisión

Agrupación de canales	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	f_3 (GHz)	f_4 (GHz)
Transmisión de dos canales agrupados	2,100	2,160	3,000	4,000
Transmisión de tres canales agrupados	3,150	32,40	4,500	6,000
Transmisión de cuatro canales agrupados	4,200	4,320	6,000	8,000

Se puede aplicar una máscara espectral alternativa (Fig. 3 y Cuadros 2 y 3) cuando se utiliza una agrupación de canales de más de un canal contiguo.

FIGURA 3
Máscara de densidad espectral de potencia alternativa para operación de canales agrupados



M.200303

CUADRO 2

Valor límite relativo de máscara de densidad espectral de potencia de transmisión para operación de agrupación de canales

Frecuencia	Límite relativo (dBr)
$ f - f_c < f_1$	0
$f_2 \leq f - f_c < f_1$	$-17(f - f_c - f_1)/(f_2 - f_1)$
$f_3 \leq f - f_c < f_2$	$-17 - 13(f - f_c - f_2)/(f_3 - f_2)$
$f_3 \leq f - f_c $	-30

CUADRO 3

Parámetros de máscara de densidad espectral de potencia de transmisión

Agrupación de canales	f_1 (GHz)	f_2 (GHz)	f_3 (GHz)
Dos canales agrupados	1,880	2,400	4,000
Tres canales agrupados	2,820	3,600	6,000
Cuatro canales agrupados	3,760	4,800	8,000

2.4 Características comunes

2.4.1 Rango de la temperatura de funcionamiento de transmisión y recepción

El rango de temperaturas de funcionamiento es conforme con IEEE Std 802.11-2016.

2.4.2 Tolerancia de la frecuencia central

La tolerancia de la frecuencia central del transmisor debe ser como máximo de ± 20 ppm en la banda de 60 GHz.

2.4.3 Tolerancia del reloj de símbolos

La tolerancia de la frecuencia del reloj de símbolos debe ser como máximo de ± 20 ppm para la banda de 60 GHz. La frecuencia central del transmisor y la frecuencia del reloj de símbolos se obtienen del mismo oscilador de referencia.

2.4.4 Pérdida a la frecuencia central de transmisión

La pérdida a la frecuencia central del transmisor no debe superar -23 dB en relación con la potencia transmitida total o, de forma equivalente, 2,5 dB en relación con la energía media del resto de las subportadoras (en caso de multiplexación por división de frecuencias ortogonales, OFDM).

2.4.5 Flanco ascendente y descendente de transmisión

El flanco de encendido del transmisor se define como el tiempo que tarda un transmisor en pasar de menos del 10% a más del 90% de la potencia media de transmisión de la trama.

El flanco de encendido del transmisor debe de ser de unos 10 ns.

El flanco de apagado del transmisor se define como el tiempo que tarda un transmisor en pasar de más del 90% a menos del 10% de la potencia máxima de transmisión de la trama.

El flanco de apagado del transmisor debe de ser de unos 10 ns.

2.4.6 Nivel de entrada máximo

El máximo nivel de entrada del receptor es el nivel de potencia máximo de la señal de entrada, en dBm, presente a la entrada del receptor para la cual se cumple el criterio de la tasa de error (definido en la cláusula sobre sensibilidad del receptor). Un receptor que lo cumpla tiene un nivel de entrada máximo en la(s) antena(s) receptora(s) de al menos 10 microvatios/cm² para cada uno de los esquemas de modulación que soporte el receptor.

2.4.7 Características del sistema

Para explotar todo el potencial que ofrecen los MGWS, incluido el soporte de aplicaciones y servicios aquí descritos, el sistema debe cumplir determinadas características:

- 1) **Caudal:** todos los dispositivos MGWS que no soportan más de una operación de canal único deben permitir un caudal máximo, medido en la capa superior de control de acceso al medio, de una velocidad mínima de 1 Gbit/s. Si el dispositivo MGWS soporta la operación de agrupación de canales, el caudal de tráfico debería escalar linealmente con el número de canales agrupados.
- 2) **Alcance:** los sistemas WLAN deben ofrecer un alcance de al menos 10 m a 1 Gbit/s, medido en la parte superior de la capa de control de acceso al medio en condiciones de canal físico (PHY) sin visibilidad directa. Para WPAN y CPMS, el alcance de los sistemas debería ser inferior a 10 cm para obtener una reutilización del espectro alta.

Además de las características mencionadas, cuando el sistema soporte flujos de vídeo no comprimido, deben cumplirse las características adicionales descritas en el Cuadro 4.

CUADRO 4

Características del sistema

Parámetro	Valor	Descripción
Velocidad	3 Gbit/s	Vídeo no comprimido, 1 080 p (RGB): 1 920 × 1 080 píxeles, 24 bits/píxeles, 60 tramas/s
Tasa de pérdida de paquetes (carga útil de 8 Kbyte)	1e-8	
Retardo ⁴	10 ms	

2.4.8 Esquemas de acceso al canal

El esquema básico de acceso al canal es el acceso múltiple por división de tiempo (AMDT), que resulta necesario a la vista del reto que supone el funcionamiento a 60 GHz, la naturaleza direccional de la comunicación y las aplicaciones utilizadas, como la transmisión inalámbrica de vídeo. El acceso AMDT permite garantizar el ancho de banda necesario para aplicaciones sensibles a la calidad de servicio, dado que permite reserva de capacidad al tiempo que es energéticamente eficiente, ya que los dispositivos no precisan estar activos mientras no están en comunicación.

Además, dado que el sistema AMDT tiene una secuencia de utilización del recurso preestablecida, las estaciones saben exactamente con qué estación se comunican y en qué momento, y por tanto pueden dirigir el lóbulo principal hacia el destino deseado y evitar tener que utilizar comunicaciones omnidireccionales para el acceso con contención.

⁴ Representa el retardo desde la parte superior de la capa MAC en un extremo hasta la parte superior de la capa MAC en el otro extremo.

El acceso con contención, como el que existe en redes Wi-Fi, también debería ser soportado para otros usos como la navegación web y la transferencia de ficheros. Sin embargo, en lugar de ser el esquema básico de acceso, el acceso con contención debería utilizarse en los periodos de tiempo asignados en la infraestructura de acceso al canal AMDT.

2.5 Parámetros para la coexistencia

Para una coexistencia mejorada, es importante que todos los MGWS utilicen la misma canalización.

Ejemplos de canalización:

- 1) IEEE:
 - a) IEEE Std 802.11-2016⁵ define un ancho de banda del canal de 2 160 MHz.
 - b) IEEE Std 802.15.3-2016⁶ define un ancho de banda del canal de 2 160 MHz.
 - c) IEEE Std 802.15.3e-2017⁷ define un ancho de banda del canal de 2 160 MHz con agrupación de cuatro canales.

Antes de empezar a utilizar un canal, el MGWS debe explorar dicho canal para garantizar que su funcionamiento no causará interferencia en otro MGWS que esté utilizando dicho canal.

Los siguientes son ejemplos de técnicas para la mitigación de interferencias:

- 1) IEEE:
 - a) El punto de acceso IEEE Std 802.11-2016 no debe iniciar el funcionamiento de una red en un canal cuyo nivel de señal sea igual o superior a -48 dBm o cuando detecte un preámbulo válido de señalización en modo común (CMS) IEEE Std 802.15.3c-2009 con un nivel de recepción igual o mayor que -60 dBm. Se han definido otras técnicas de mitigación tales como la conmutación de canal, el control de la potencia de transmisión y la conformación de haces, por nombrar algunas de ellas.
 - b) IEEE Std 802.15.3c-2009 no permite que un controlador de picored inicie una nueva picored en un canal ocupado por otro controlador de picored. Se ha definido un método de señalización en modo común (CMS) para permitir que varios controladores de picoredes compartan el acceso a un canal utilizando intervalos de tiempo AMDT asignados a picoredes bástagos.
 - c) IEEE Std 802.15.3e-2017 limita el alcance de comunicación a 10 cm o menos y establece un nivel p.i.r.e. muy bajo. Si la distancia entre los dispositivos supera los 10 cm, estos se desacoplan y la potencia de emisión se limita a un baliza periódica.

2.6 Niveles de sensibilidad de recepción

Los niveles de sensibilidad de recepción están comprendidos típicamente entre -48 y -78 dBm.

⁵ IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Diciembre de 2016.

⁶ IEEE Standard for High Data Rate Wireless Multi-Media Networks.

⁷ IEEE Standard for High Data Rate Wireless Multi-Media Networks Amendment: High-Rate Close Proximity Point-to-Point Communications.

Ejemplos de niveles de sensibilidad de recepción:

- 1) IEEE: En la norma IEEE Std 802.11, la PER es menor del 1% (5% para el esquema de modulación y codificación MCS0) para una longitud de PSDU de 4 096 octetos (256 octetos para el MCS0).

NOTA – En las mediciones de la potencia de radiofrecuencia basadas en la densidad de potencia recibida, el nivel de entrada se corrige para compensar la ganancia real de la antena. Esta ganancia de la antena es la ganancia máxima estimada por el fabricante. En caso de una antena con matriz de elementos en fase, la ganancia de dicha antena es la suma máxima de la ganancia estimada de los elementos a – 3 dB de pérdidas de implementación.

2.7 Reglas de evaluación de canal despejado (CCA)

Los MGWS pueden aplicar las reglas de evaluación de canal despejado (CCA, *clear channel assessment*) para mitigar la interferencia causada por otros MGWS.

Por ejemplo, en el caso de IEEE Std 802.11-2016 existen tres conjuntos definidos de esquema de modulación y codificación (MCS) con reglas específicas de CCA para cada conjunto de MCS. Los tres conjuntos de MCS son:

- a) MCS0: conocido como MCS de control, que se basa en modulación de portadora única (SC).
- b) MCS1 a MCS12.6 y MCS25 a MCS31: el conjunto de MCS con portadora única (SC).
- c) MCS13 a MCS24: conjunto de MCS con multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM).

La norma IEEE Std 802.11-2016 define reglas de CCA aplicables a cada conjunto de MCS, de la forma siguiente:

- a) MCS de control: el comienzo de una transmisión válida de un MCS de control con un nivel de recepción mayor que la sensibilidad mínima del MCS de control (–78 dBm) hará que la CCA indique ocupado con una probabilidad > 90% en 3 μ s.
- b) Conjunto MCS con SC: el comienzo de una transmisión válida de un MCS con SC con un nivel de recepción mayor que la sensibilidad mínima del MCS1 (–68 dBm) hará que la CCA indique ocupado con una probabilidad > 90% en 1 μ s. El receptor mantendrá en modo ocupado la señal de detección de portadora para cualquier señal con un nivel 20 dB superior a la sensibilidad mínima de MCS1.
- c) Conjunto MCS con OFDM: el comienzo de una transmisión válida de un MCS con OFDM o de un MCS con SC con un nivel de recepción mayor que la sensibilidad mínima de MCS13 (–66 dBm) hará que CCA indique ocupado con una probabilidad > 90% en 1 μ s.

3 Normas aplicables a los sistemas inalámbricos de múltiples gigabits

A continuación se presenta una lista de normas que incluyen especificaciones de MGWS:

- 1) IEEE Std 802.11-2016, IEEE Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems – Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Diciembre 2016.
- 2) IEEE Std 802.15.3TM-2016, IEEE Standard for High Data Rate Wireless Multi-Media Networks.
- 3) IEEE Std 802.15.3eTM-2017, IEEE Standard for High Data Rate Wireless Multi-Media Networks Amendment: High-Rate Close Proximity Point-to-Point Communications.

- 4) ETSI EN 302 567 v2.1.1 (2017-07), Multiple-Gigabit/s radio equipment operating in the 60 GHz band; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU.
- 5) Especificaciones de capa de adaptación de protocolo (PAL) de la Wi-Fi Alliance (WFA):
 - WiGig® Display Extension Technical Specification Version 2.0, marzo de 2015.
 - WiGig® Bus Extension Specification v1.2, octubre de 2014.
 - WiGig® SD (WSD) Extension Specification v1.1, enero de 2015.
- 6) ISO/IEC 13156, Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – High rate 60 GHz PHY, MAC and PALs.

4 Acrónimos y abreviaturas

CCA	Evaluación de canal despejado (<i>clear channel assessment</i>)
CE	Electrónica de consumo (<i>consumer electronics</i>)
HDMI	Interfaz multimedios de alta definición (<i>high definition multimedia interface</i>)
MGWS	Sistemas inalámbricos de múltiples gigabits (<i>multiple gigabit wireless systems</i>)
MCS	Esquema de modulación y codificación (<i>modulation and coding scheme</i>)
OFDM	Multiplexación por división de frecuencias ortogonales (<i>orthogonal frequency division multiplexing</i>)
PER	Tasa de errores en los paquetes (<i>packet error rate</i>)
RLAN	Red de área local radioeléctrica (<i>radio local area network</i>)
SC	Portadora única (<i>single carrier</i>)
TDMA	Acceso múltiple por división en el tiempo (<i>time division multiple access</i>)
WLAN	Red de área local inalámbrica (<i>wireless local area network</i>)
WPAN	Red de área personal inalámbrica (<i>wireless personal area network</i>)
