ITUPublicaciones
Recomendaciones

Unión Internacional de Telecomunicaciones
Sector de Radiocomunicaciones

Recomendación UIT-R SM.1541-7

(09/2024)

Serie SM: Gestión del espectro

Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda

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 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 https://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 https://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, 2025

© UIT 2025

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 SM.1541-7*

Emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda**

(2001-2002-2006-01/2011-09/2011-2013-2015-2024)

Cometido

En la presente Recomendación se especifican los límites de emisiones en el dominio fuera de banda para transmisores en la gama de frecuencias de 9 kHz a 300 GHz.

Palabras clave

Emisiones no deseadas, dominio fuera de banda, límites de emisiones

Abreviaturas/Glosario

ABA	Ancho de banda autorizado
ABR	Ancho de banda de referencia
BR	Oficina de Radiocomunicaciones
CDR	Radiocomunicación digital convergente (*convergent digital radio)*
DRM	Digital Radio Mondiale
OoB	Fuera de banda (*out-of-band)*
PBA	Potencia de la banda adyacente
RPBA	Relación de potencia de la banda adyacente
RR	Reglamento de Radiocomunicaciones
SFS	Sistema fijo por satélite
SMS	Servicio móvil por satélite

Recomendaciones e Informes de la UIT conexos

Recomendación UIT-R SM.328 – Espectros y anchuras de banda de las emisiones

Recomendación UIT-R SM.329 – Emisiones no deseadas en el dominio no esencial

Recomendación UIT-R P.530 – Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa

Recomendación UIT-R F.746 – Disposiciones de radiocanales para sistemas del servicio fijo

Recomendación UIT-R F.748 – Disposición de radiocanales para sistemas del servicio fijo que funcionan en las bandas de 25, 26 y 28 GHz

Recomendación UIT-R F.749 – Disposición de radiocanales para sistemas del servicio fijo que funciona en subbandas en la banda 36-40,5 GHz

---

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de las Comisiones de Estudio 4, 5, 6, y 7 de Radiocomunicaciones.

** Aunque las emisiones fuera de banda predominan generalmente en el dominio fuera de banda, las emisiones no esenciales también pueden producirse en dicho dominio. Es importante señalar que los límites señalados en la presente Recomendación se aplican a todas las emisiones no deseadas en el dominio fuera de banda, tanto a las emisiones fuera de banda como a las no esenciales.

Recomendación UIT-R SM.853 – Ancho de banda necesario

Recomendación UIT-R BS.1114 – Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gana de frecuencias 30-3 000 MHz

Recomendación UIT-R SM.1138 – Determinación de las anchuras de banda necesarias, con inclusión de ejemplos de cálculo de las mismas y ejemplos conexos de denominación de emisiones

Recomendación UIT-R M.1177 – Técnicas para la medición de emisiones no deseadas en los sistemas de radar

Recomendación UIT-R BT.1306 – Métodos de corrección de errores, de configuración de trama de datos, de modulación y de emisión para la radiodifusión de televisión digital terrenal

Recomendación UIT-R F.1399 – Terminología del acceso inalámbrico

Recomendación UIT-R F.1488 – Disposiciones de bloques de frecuencias para sistemas de acceso inalámbrico fijo en la gama 3 400-3 800 MHz

Recomendación UIT-R SM.1539 – Variación del límite entre los dominios de emisión fuera de banda y no esencial requerida para la aplicación de las Recomendaciones UIT-R SM.1541 y UIT-R SM.329

Recomendación UIT-R SM.1540 – Emisiones no deseadas en el dominio de las emisiones fuera de banda que caen dentro de las bandas atribuidas adyacentes

Recomendación UIT-R BS.1615 – «Parámetros de planificación» para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz

Informe UIT-R SM.2048 – Utilización del criterio de anchura de banda a x dB para determinar las propiedades espectrales de un transmisor en el dominio fuera de banda

Recomendación UIT-T O.153 – Parámetros básicos para la medición de la característica de error a velocidades inferiores a la primaria

Véase también el Anexo 4.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

a) que las emisiones no deseadas tienen lugar cuando un transmisor se pone en funcionamiento, pudiendo reducirse mediante un adecuado diseño del sistema;

b) que los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda se han utilizado con éxito en la reglamentación nacional y regional para zonas de alta densidad de radiocomunicaciones; dichos límites están en general diseñados de acuerdo con necesidades locales específicas y detalladas destinadas a permitir la coexistencia con otros sistemas;

c) que los datos de emisiones fuera de banda, en forma de puntos de inflexión en los niveles −30, −40, −50 y −60 dB, para clases de emisión distintas a las enumeradas en los Anexos a esta Recomendación pueden encontrarse en el Informe UIT-R SM.2048 y utilizarse a título informativo;

d) que, no obstante, es necesario que el UIT-R establezca para cada servicio un número restringido de límites genéricos fuera de banda, basados en general en la envolvente de los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda menos restrictivos descritos en el *considerando b)*;

e) que de conformidad con el Apéndice **4** al Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), cuando se registra una asignación de frecuencia en la Oficina de Radiocomunicaciones (BR), la anchura de banda necesaria para emisiones de portadora única se incluye en la parte correspondiente a la anchura de banda de la clase de emisión;

f) que la anchura de banda a la que se hace referencia en el Apéndice **4** al RR, es la necesaria para una transmisión de portadora única, pudiendo no ser la adecuada para sistemas con portadoras múltiples,

reconociendo

a) que la Recomendación UIT-R SM.329 atañe a los efectos, mediciones y límites aplicables a las emisiones no deseadas en el dominio no esencial;

b) que las Recomendaciones UIT-R SM.329 y UIT-R SM.1539 ofrecen orientaciones para determinar el límite entre los dominios fuera de banda (OoB) y no esencial en un espectro de radiofrecuencias transmitidas;

c) que por necesidad se incluyen en la Recomendación UIT-R SM.328 consideraciones sobre el dominio OoB y el ancho de banda necesario;

d) que en la Recomendación UIT-R SM.1540 se contemplan además casos de emisiones no deseadas en el dominio OoB coincidentes con las bandas adyacentes atribuidas;

e) que los términos siguientes están definidos en el RR,

Emisiones no deseadas

1.146 *emisiones no deseadas*:* Conjunto de las *emisiones no esenciales* y de las *emisiones fuera de banda*.

Emisión no esencial

1.145 *emisión no esencial*: Emisión* en una o varias frecuencias situadas fuera de la *anchura de banda necesaria*, cuyo nivel puede reducirse sin influir en la transmisión de la información correspondiente. Las emisiones armónicas, las emisiones parásitas, los productos de intermodulación y los productos de conversión de frecuencia están comprendidos en las emisiones no esenciales, pero están excluidas las *emisiones fuera de banda*.

Dominio no esencial (de una emisión)

1.146B *dominio no esencial* (de una emisión): Gama de frecuencias más allá del *dominio fuera de banda* en la que generalmente predominan las *emisiones no esenciales*.

Emisión fuera de banda

1.144 *emisión fuera de banda*: Emisión* en una o varias frecuencias situadas inmediatamente fuera de la *anchura de banda necesaria*, resultante del proceso de modulación, excluyendo las *emisiones no esenciales*.

Dominio fuera de banda (de una emisión)

1.146A *dominio fuera de banda* (de una emisión): Gama de frecuencias externa e inmediatamente adyacente a la *anchura de banda necesaria* pero excluyendo el *dominio no esencial*, en la que generalmente predominan las *emisiones fuera de banda*. Las *emisiones fuera de banda*, definidas en función de su fuente, ocurren en el dominio fuera de banda y, en menor medida, en el *dominio no esencial*. Las *emisiones no esenciales* pueden asimismo ocurrir en el dominio fuera de banda así como en el *dominio no esencial*.

Anchura de banda ocupada

1.153 *anchura de banda ocupada:* Anchura de la banda de frecuencias tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior, se emitan *potencias medias* iguales cada una a un porcentaje especificado, $\beta/2$, de la *potencia media* total de una *emisión* dada.

En ausencia de especificaciones en una Recomendación UIT-R para la *clase de emisión* considerada, se tomará un valor β/2 igual a 0,5%.

Anchura de banda necesaria

1.152 *anchura de banda necesaria:* Para una *clase de emisión* dada, anchura de la banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad y con la calidad requeridas en condiciones especificadas.

Banda de frecuencias asignada

1.147 *banda de frecuencias asignada:* Banda de frecuencias en el interior de la cual se autoriza la *emisión* de una *estación* determinada; la anchura de esta banda es igual a la *anchura de banda necesaria* más el doble del valor absoluto de la *tolerancia de frecuencia*. Cuando se trata de *estaciones espaciales*, la banda de frecuencias asignada incluye el doble del desplazamiento máximo debido al efecto Doppler que puede ocurrir con relación a un punto cualquiera de la superficie de la Tierra.

Frecuencia asignada

1.148 *frecuencia asignada:* Centro de la *banda de frecuencias* asignada a una *estación*.

observando

que los estudios solicitados por la Cuestión UIT-R 222/1, aprobada por la Asamblea de Radiocomunicaciones de 2000, podrían tener un impacto formal y sustancial en las definiciones básicas utilizadas en esta Recomendación, pudiendo ser necesaria en el futuro la revisión de la misma para reflejar el resultado de dichos estudios,

recomienda

1 Terminología y definiciones

Que se deben utilizar los términos y definiciones siguientes:

1.1 dBsd y dBasd

dBsd: decibelios relativos al valor máximo de densidad espectral de potencia en el ancho de banda necesario. El valor máximo de la densidad espectral de potencia de una señal aleatoria se obtiene determinando la potencia media en el ancho de banda de referencia cuando dicho ancho de banda de referencia se sitúa en una frecuencia tal que maximiza el resultado. El ancho de banda de referencia debe ser la misma con independencia de la frecuencia a la que se encuentre centrada y su valor se especifica en el § 1.4.

dBasd: decibelios relativos al valor promedio de la densidad espectral de potencia en el ancho de banda necesaria. El valor promedio de la densidad espectral de potencia de una señal aleatoria se obtiene calculando la potencia media en el ancho de banda de referencia y promediando dicho resultado sobre el ancho de banda necesario. El ancho de banda de referencia se especifica en el § 1.4.

1.2 dBc

Decibelios relativos a la potencia de la portadora no modulada de la emisión. En los casos en que no se dispone de portadora, por ejemplo, en algunas modulaciones digitales en las que no es posible acceder a la portadora para realizar mediciones, el nivel de referencia equivalente a dBc es el de decibelios relativos a la potencia media *P*.

1.3 dBpp

Decibelios relativos al valor máximo de la potencia de cresta, medidos en el ancho de banda de referencia dentro del ancho de banda ocupado. La potencia de cresta dentro de banda corresponde a la misma anchura de banda de referencia que la potencia de cresta fuera de banda. Tanto las emisiones dentro de banda como las emisiones no deseadas deben evaluarse en términos de valores de cresta. Para los sistemas de radar, el ancho de banda de referencia debe seleccionarse conforme a la Recomendación UIT-R M.1177.

FIGURA 1

Referencia de 0 dBsd, a) valor máximo de la densidad espectral de potencia
Referencia de 0 dBasd, b) valor promedio de la densidad espectral de potencia

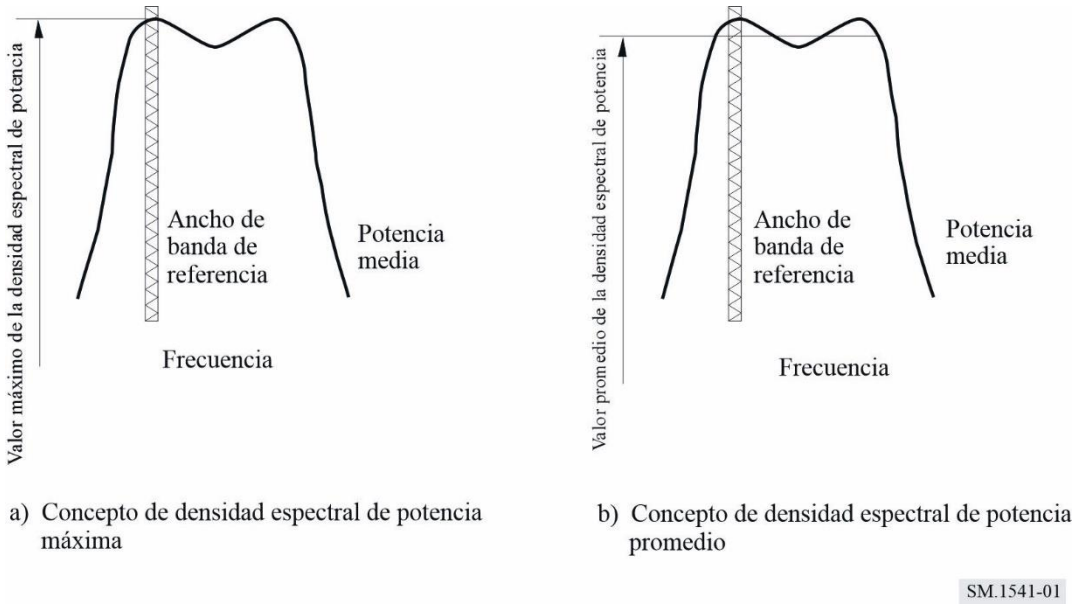
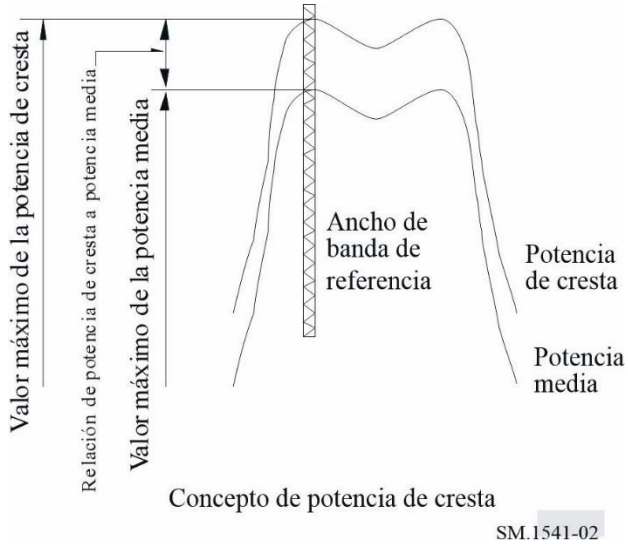


FIGURA 2

Referencia de 0 dBpp, valor máximo de la potencia de cresta



1.4 Ancho de banda de referencia

Ancho de banda necesario para definir unívocamente los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda. Si no se define explícitamente junto con el límite de las emisiones en el dominio fuera de banda, el ancho de banda de referencia debe ser el 1% del ancho de banda necesario. Para los sistemas de radar, el ancho de banda de referencia debe seleccionarse conforme a lo indicado en la Recomendación UIT-R M.1177.

1.5 Ancho de banda de medición

Ancho de banda técnicamente adecuado para realizar mediciones en un sistema específico. En los analizadores de espectro comunes, habitualmente se hace referencia a él como un ancho de banda de resolución.

NOTA 1 – El ancho de banda de la medición puede diferir del ancho de banda de referencia, siempre que los resultados puedan convertirse en los correspondientes al ancho de banda de referencia requerido.

1.6 Densidad espectral de potencia

Para los fines de esta Recomendación, la densidad espectral de potencia es la potencia media en el ancho de banda de referencia.

1.7 Potencia media

Potencia integrada sobre una banda de frecuencias especificada utilizando mediciones de la densidad espectral de potencia o un método equivalente.

1.8 Potencia media del canal adyacente

Potencia integrada sobre el ancho de banda de un canal adyacente a un canal ocupado utilizando mediciones de la densidad espectral de potencia o un método equivalente.

1.9 Potencia de cresta

Potencia medida con el detector de cresta utilizando un filtro cuya anchura y forma es suficiente para aceptar el ancho de banda de la señal.

1.10 Potencia de cresta del canal adyacente

Potencia de cresta medida en el ancho de banda de un canal adyacente a un canal ocupado utilizando un filtro de canal especificado.

1.11 Banda total asignada

Suma de las bandas contiguas asignadas de un sistema que es consistente con los datos del Apéndice 4 del RR proporcionados a la BR, tal como han sido autorizadas por una administración.

NOTA 1 – Para los servicios espaciales, y cuando se trata de un sistema con varios transpondedores/transmisores que funcionan en bandas de frecuencias adyacentes separadas por una banda de guarda, la banda total asignada incluye las bandas de guarda. En tales casos, las bandas de guarda deben ser un porcentaje pequeño del ancho de banda del transpondedor/transmisor.

1.12 Ancho de banda total asignado

Ancho de la banda total asignado.

2 Aplicación de las definiciones

Que, cuando se aplique esta Recomendación, se deberán tener en cuenta las directrices que se recogen en los puntos siguientes:

2.1 Emisiones en el dominio fuera de banda

Cualquier emisión fuera del ancho de banda necesario que se produzca en una gama de frecuencias que disten de la frecuencia de emisión menos del 250% del ancho de banda necesario será, en general, considerada como una emisión en el dominio fuera de banda. No obstante, esta separación de frecuencia puede ser función del tipo de modulación, de la máxima velocidad de símbolos en el caso de modulación digital, del tipo de transmisor y de factores asociados a la coordinación de frecuencias. Así por ejemplo, en el caso de algunos sistemas digitales de banda ancha o con modulación de impulsos, la separación de frecuencia puede diferir del factor del 250%.

Las no linealidades del transmisor pueden hacer también que aparezcan componentes de la señal dentro de banda en la gama de frecuencias fuera de banda del § 1.3 del Anexo 1. Además, el ruido de banda lateral del oscilador del transmisor puede también aparecer en las gamas de frecuencias descritas en el § 1.3 del Anexo 1. Debido a que puede no ser práctico aislar estas emisiones, es habitual que sus niveles se incluyan durante las mediciones de potencia fuera de banda.

2.2 Emisiones en el dominio no esencial

Para los fines de esta Recomendación, se consideran emisiones en el dominio no esencial, en general, a todas aquellas emisiones, incluidos los productos de intermodulación, los productos de conversión y las emisiones parásitas, que se producen a frecuencias separadas de la frecuencia central de emisión en el 250% o más del ancho de banda necesario de la emisión. Sin embargo, esta separación de frecuencia puede ser función del tipo de modulación, de la máxima velocidad de símbolos en el caso de modulación digital, del tipo de transmisor y de factores asociados a la coordinación de frecuencias. Por ejemplo, en el caso de algunos sistemas digitales de banda ancha o con modulación de impulsos, puede ser necesario que la separación de frecuencia difiera del factor del 250%.

En el caso de transmisores o transpondedores multicanal o multiportadora, en los que se pueden transmitir simultáneamente varias portadoras desde un amplificador final de salida, o desde una antena activa, la frecuencia central de la emisión es el centro del ancho de banda asignado de la estación o bien del ancho de banda a –3 dB del transmisor/transpondedor, tomando el menor de las dos anchuras de banda.

2.3 Ancho de banda necesario y dominio fuera de banda

En el caso de emisiones de banda estrecha o de banda ancha (tal como se definen en la Recomendación UIT-R SM.1539), la amplitud del dominio de fuera de banda se determina según se indica en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Extremos de comienzo y final del dominio fuera de banda

Tipo de emisión	Si el ancho de banda necesario, B_N, es:	La separación (±) desde el centro del ancho de banda necesario hasta el comienzo del dominio fuera de banda	Separación de frecuencia entre la frecuencia central y el límite de no esenciales
Banda estrecha	$< B_L$ (véase la Nota 1)	0,5 B_N	2,5 B_L
Normal	B_L a B_U	0,5 B_N	2,5 B_N
Banda ancha	$> B_U$	0,5 B_N	B_U + (1,5 B_N)

NOTA 1 – Cuando $B_N < B_L$, no se recomienda la atenuación de las emisiones no deseadas para separaciones de frecuencia entre 0,5 B_N y 0,5 B_L.

NOTA 2 – B_L y B_U figuran en la Recomendación UIT-R SM.1539.

2.3.1 Emisiones de portadora única

El valor del ancho de banda necesario que se debería utilizar para verificar si una emisión de portadora única cumple los límites en el dominio fuera de banda, debe coincidir con el valor que se refleja en la denominación de la emisión facilitada a la BR de conformidad con el Apéndice 4 del RR.

Algunos sistemas especifican la máscara fuera de banda en términos de anchura de banda de canales o de separación de canales. Ambos pueden utilizarse como sustitutos del ancho de banda necesario siempre que estén recogidos en las Recomendaciones UIT-R o en la reglamentación regional y nacional.

2.3.2 Emisiones multiportadora

Los transmisores o transpondedores multiportadora son aquellos que pueden transmitir simultáneamente varias portadoras desde un amplificador final o desde una única antena activa.

En sistemas multiportadora, el dominio fuera de banda debe comenzar en los bordes del ancho de banda total asignado. En los sistemas por satélite, el ancho de banda necesario empleada en las máscaras fuera de banda del Anexo 5 a esta Recomendación y utilizadas para determinar el ancho del dominio fuera de banda, debe ser el valor menor de entre dos valores, a saber, el ancho de banda a 3 dB del transpondedor y el ancho de banda total asignado (el Anexo 2 presenta dos ejemplos de cálculo de dónde comienza y finaliza el dominio fuera de banda en sistemas multiportadora con un único o varios transpondedores por satélite).

Para los servicios espaciales, las definiciones anteriores de anchura de banda necesaria se aplican cuando se transmiten simultáneamente todas o algunas de las portadoras.

2.4 Consideraciones sobre dBsd, dBc y dBpp

2.4.1 Signo positivo y negativo de dBsd, dBc y dBpp

Debido a que dBsd se define como un valor relativo respecto a una densidad espectral de potencia de referencia, el valor de dBsd fuera de banda se expresa mediante un número negativo (para el caso normal en el que la densidad espectral de potencia fuera de banda es inferior a la densidad espectral de potencia de referencia). Sin embargo, si se utiliza un término tal como «dBsd por debajo de» o «atenuación (dBsd)», el valor de la emisión en el dominio fuera de banda se expresa utilizando un número positivo.

Debido a que dBc se define como un valor relativo respecto a una potencia de referencia, el valor de dBc fuera de banda se expresa mediante un número negativo. Sin embargo, si se utiliza un término tal como «dBc por debajo de» o «atenuación (dBc)», el valor de la emisión en el dominio fuera de banda se expresa utilizando un número positivo.

Debido a que dBpp se define como un valor relativo respecto a una potencia de cresta de referencia, el valor de dBpp fuera de banda se expresa mediante un número negativo. Sin embargo, si se utiliza un término tal como «dBpp por debajo de» o «atenuación (dBpp)», el valor de la emisión en el dominio fuera de banda se expresa utilizando un número positivo.

En el Anexo 3 se presenta la forma preferida de jalonar y etiquetar los ejes X e Y en las máscaras de dBc y dBsd.

2.4.2 Comparación entre dBsd y dBc

Dado que dBsd y dBc no tienen la misma referencia para expresar el valor de 0 dB, el mismo valor numérico en dB puede hacer que los límites de emisión expresadas en dBsd sean más estrictos que los límites de emisión expresados en dBc. El ancho de banda de referencia elegido influye sobre el valor de esta diferencia. Por lo tanto, el tipo de máscara, el ancho de banda de referencia y los valores de la máscara deben establecerse conjuntamente.

2.4.3 Aplicación práctica de los límites de dBsd, dBc y dBpp

La utilización de dBsd puede resultar más práctica en los casos siguientes:

– modulación digital;

– formatos de modulación en los que no resulta práctica la medición de la portadora.

La utilización de dBc puede resultar más práctica en los casos siguientes:

– modulación analógica;

– sistemas de modulaciones digitales específicas;

– límites subsidiarios para emisiones discretas contenidas en el dominio fuera de banda cuando la densidad espectral se especifica en términos de dBsd.

La utilización de dBpp puede resultar más práctica en los casos siguientes:

– sistemas con modulación de impulsos, por ejemplo, radar, y determinados sistemas de transmisión analógicos.

3 Métodos para determinar la conformidad con los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda

Que, para establecer la conformidad con los requisitos de las emisiones en el dominio fuera de banda, se debe utilizar el método de la potencia en el canal adyacente o en el canal adyacente alterno, o bien, el método de la máscara espectral fuera de banda descrita en el Anexo 1.

4 Límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para los transmisores en la gama de 9 kHz a 300 GHz[1]

Que los límites espectrales especificados en esta Recomendación deben considerarse límites genéricos, que generalmente constituyen los límites de las emisiones fuera de banda menos

[1] Los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda se aplican a las emisiones no deseadas (tanto emisiones fuera de banda como emisiones no esenciales) en el dominio fuera de banda.

restrictivos utilizados satisfactoriamente en las reglamentaciones nacionales o regionales. A veces se denominan límites de red de seguridad. Su utilización está prevista en las bandas en las que no son necesarios límites más estrictos para proteger aplicaciones específicas (por ejemplo, en áreas en las que existe una elevada densidad de sistemas radioeléctricos).

Por todo ello, las emisiones en el dominio fuera de banda aplicables a transmisores en la gama comprendida entre 9 kHz y 300 GHz deben limitarse tal como se indica en el Cuadro 2.

En el Anexo 14 se describe la aplicabilidad de las Recomendaciones UIT-R SM.1541 y UIT-R SM.1540.

Se insta a las administraciones para que promuevan el desarrollo de límites de las emisiones en el dominio fuera de banda más específicos adecuados a cada sistema y cada banda de frecuencias. Dichos límites deberán tener en cuenta las aplicaciones reales, la modulación, las capacidades de filtrado del sistema y los sistemas que funcionen en las mismas frecuencias o en bandas adyacentes con el objeto de mejorar la compatibilidad con otros servicios radioeléctricos.

En el Anexo 4 se presentan ejemplos de Recomendaciones UIT-R que proporcionan dichos límites de emisiones fuera de banda más específicos para algunos sistemas en determinadas bandas de frecuencias.

CUADRO 2

Curvas de los límites espectrales de las emisiones en el dominio fuera de banda

Categoría de servicio acorde con el Artículo 1 del RR, o tipo de equipo	Máscara de la emisión
Servicios espaciales (estaciones terrenas y espaciales)	Véase el Anexo 5
Servicio de radiodifusión de televisión	Véase el Anexo 6
Servicio de radiodifusión sonora	Véase el Anexo 7
Servicio de radar	Véase el Anexo 8
Servicios de aficionados	Véase el Anexo 9
Servicio móvil terrestre	Véase el Anexo 10
Servicios móviles marítimo y aeronáutico	Véase el Anexo 11
Servicio fijo	Véase el Anexo 12

El cumplimiento de los límites de emisión de esta Recomendación puede no evitar que se produzcan interferencias. Por lo tanto, el cumplimiento de la norma no obvia la necesidad de cooperar para resolver e implementar soluciones de ingeniería a problemas de interferencia perjudicial.

5 Adaptación de las máscaras fuera de banda proporcionadas en los Anexos 5 a 12 en casos de sistemas de banda estrecha y de banda ancha

a) cuando el ancho de banda necesario B_N sea menor que B_L tal como se define en la Recomendación UIT-R SM.1539, debe escalarse la máscara fuera de banda. Ello puede realizarse sustituyendo B_N por B_L;

b) cuando el ancho de banda necesario B_N sea mayor que B_U tal como se define en la Recomendación UIT-R SM.1539, el valor de B_N no se modifica en la aplicación de la máscara fuera de banda, pero la máscara debe truncarse. En consecuencia, la máscara fuera de banda sólo será aplicable desde el 50% de B_N hasta el $(150 + 100\ B_U/B_N)$% de B_N.

6 Métodos de medición

Que deben utilizarse los métodos de medición fuera de banda descritos con detalle en el Anexo 13. El Informe UIT-R SM.2048 contiene información adicional sobre las medidas OoB que indican las señales de prueba y los niveles de 0dB de referencia.

Anexo 1

Métodos para determinar la conformidad con los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda

Se pueden utilizar dos métodos para cuantificar la energía de las emisiones fuera de banda. En el § 1 se proporciona un método mediante el cual se mide la potencia en un canal adyacente. En el § 2 se analiza un método de evaluación basado en la determinación de la densidad espectral de potencia en el dominio fuera de banda.

1 Método de la potencia en el canal adyacente y en el canal adyacente alterno

Esta metodología se basa en el concepto definido en el § 1.12 de la Recomendación UIT-R SM.328, Espectros y anchos de banda de las emisiones, y que se ha extendido ampliamente a partir de la disponibilidad comercial de analizadores de espectro con capacidad de procesado digital de la señal que pueden realizar la integración numérica en un ancho de banda especificado.

A partir de los límites impuestos por la máscara de espectro fuera de banda admisible puede obtenerse un límite de la potencia admisible en el dominio fuera de banda integrando la expresión matemática de la curva sobre una banda de frecuencias especificada. En el Apéndice 1 a este Anexo se muestra un ejemplo de tal conversión para un caso de máscara de emisión utilizada en el servicio móvil terrestre, que es el principal usuario de este método. La comparación entre los límites así obtenidos y los límites reales aplicados en la normalización del servicio móvil revelan que la práctica de la industria de radiocomunicaciones móviles ha sido adoptar límites significativamente más restrictivos que los obtenidos de las máscaras fuera de banda a fin de conseguir eficiencia espectral.

Una ventaja muy importante de este método de limitación de potencia en un ancho de banda definido, es que en la Recomendación UIT-R SM.329 se define el mismo esquema para los límites de potencia de emisiones en el dominio no esencial desplazadas relativamente lejos en el espectro respecto a la banda de frecuencias asignada al transmisor (es decir, del canal).

Otra ventaja de este método es que facilita la gestión de frecuencias si el ancho de banda de referencia elegido es comparable al de los receptores utilizados en las bandas de frecuencias asignadas adyacentes a la del transmisor, ya que ello permite una utilización más eficiente del espectro electromagnético. Esto puede ser especialmente significativo en entornos en los que se reacondiciona la banda de frecuencias para nuevas utilizaciones (*refarming*) de tal forma que se modifica la separación entre canales, dando lugar a que el empaquetamiento de canales en una banda de frecuencias atribuida necesite la coordinación entre asignaciones de frecuencia sobre la base de consideraciones relativas al canal adyacente, además de las habituales consideraciones cocanal. También proporciona un método conveniente para evaluar la interferencia potencial entre dos métodos de modulación distintos empleados en canales o bandas adyacentes. Su utilidad ha quedado demostrada en la planificación de atribuciones espectrales en diversos países a fin de determinar la compatibilidad entre tecnologías utilizadas con una cierta proximidad y entre las direcciones de los enlaces radioeléctricos utilizados.

1.1 Parámetros que deben medirse

Los parámetros que deben medirse son el ancho de banda ocupado de una emisión y la potencia media en varias bandas de frecuencias definidas. En todas las bandas en las que se realizan las mediciones se utiliza la misma modulación.

El valor máximo del ancho de banda ocupado por el 99% de la potencia que permite una máscara de emisión concreta, puede determinarse calculando la diferencia de frecuencia entre los niveles de atenuación de 23 dB para cualquier máscara de emisión.

1.2 Unidades de medida

Las unidades de medida son las mismas que se utilizan para medir las emisiones en el dominio no esencial, tal como se muestra en el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SM.329 (para la mayoría de las mediciones se especifica la potencia media). Deben utilizarse los factores de conversión adecuados (según se analiza con más detalle en los § 1.1.1 y 1.1.2 del Anexo 13) a fin de corregir las diferencias entre:

– el método de detección empleado en el analizador de señal utilizado para realizar una medición y el método de detección especificado para los límites, así como

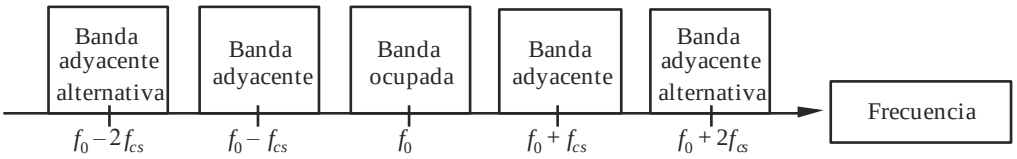
– el ancho de banda de resolución del filtro incluido en el analizador de señal utilizado para realizar una medición y el método de detección especificado para los límites.

1.3 Bandas de medición

En la Fig. 3 se representan gráficamente las diversas bandas de frecuencias.

FIGURA 3

Bandas para la medición de potencia



f_{cs}: separación entre las frecuencias asignadas

SM.1541-03

1.3.1 Banda adyacente

A continuación se describen las propiedades de esta banda, que proporcionan diversas formas de evaluar la potencia interferente que puede interceptar un receptor en el canal adyacente. La potencia en estas bandas se denomina potencia de la banda adyacente.

1.3.1.1 Ubicación de la banda adyacente

Esta banda se centra en la banda de frecuencias asignada adyacente dentro de la banda atribuida en la cual funciona el transmisor.

Para tener en cuenta el caso peor, esta banda está situada más cerca del transmisor en una magnitud igual al desplazamiento de frecuencia admisible del transmisor más una diferencia de frecuencia debida al efecto Doppler.

1.3.1.2 Ancho de banda de la banda adyacente

Su ancho es igual al ancho de banda del ruido equivalente del receptor del canal adyacente. Si no se conoce, el valor por defecto debe ser igual al ancho de banda ocupado del transmisor.

1.3.2 Banda adyacente alternativa

Esta banda está centrada en relación con la banda adyacente de la misma forma que esta última lo está en relación con la banda de frecuencias asignada. Su ancho es igual a la de la banda adyacente.

En algunos servicios (por ejemplo, en la difusión con modulación de frecuencia (MF)), los canales se asignan alternando dos conjuntos entrelazados de planes de bandas de frecuencias asignadas, de forma que ello permite evaluar la potencia de interferencia que puede ser interceptada por un receptor en un canal autorizado adyacente. La potencia en esta banda se denomina potencia de la banda adyacente alternativa.

Para tener en cuenta el caso peor, el centro de esta banda está más cerca del transmisor en una magnitud igual al desplazamiento de frecuencia admisible del transmisor, más el desplazamiento de un receptor típico utilizado en el canal adyacente, más una diferencia de frecuencia debida al efecto Doppler.

1.4 Relación de potencia de la banda adyacente (RPBA)

La RPBA se calcula de la forma siguiente:

– en potencia, $RPBA = P/P_{ad}$

– en decibelios, $RPBA = P - P_{ad}$ (dB)

donde:

P : potencia media del transmisor

P_{ad} : potencia media en la banda de frecuencias adyacente.

Este cálculo se realiza como una operación de rutina de forma automática en muchos analizadores de espectro modernos que disponen de capacidad de procesado digital de la señal.

El concepto de medición de la potencia en el ancho de banda de un canal adyacente puede extenderse a bandas vecinas a una banda atribuida que se encuentren desplazadas N veces más allá que la banda adyacente, donde N es un múltiplo entero de la banda de frecuencias asignada. La denominación $RPBA_N$ debe utilizarse para denotar la potencia de la emisión fuera de banda en el N-ésimo canal adyacente.

2 Método de la máscara fuera de banda

Esta metodología está basada en el concepto definido en el § 1.10 de la Recomendación UIT-R SM.328.

2.1 Parámetros que deben medirse

El espectro del transmisor debe medirse utilizando un ancho de banda de medición que sea conforme con el *recomienda* 1.5 y debe caracterizarse en términos de dBsd, dBc o dBpp.

2.2 Gama de mediciones

Las mediciones deben realizarse en el dominio fuera de banda que se encuentra entre el límite de la banda de frecuencias asignada y el límite entre el dominio fuera de banda y el dominio no esencial.

2.3 Máscara fuera de banda

De conformidad con la Nota 1 del § 1.10 de la Recomendación UIT-R SM.328, la máscara no limita las emisiones en el ancho de banda necesario pues es aplicable al dominio fuera de banda del espectro.

NOTA 1 – En el dominio fuera de banda pueden existir líneas espectrales con niveles superiores a lo establecido en la máscara fuera de banda. Una máscara que permita la existencia de tales líneas puede no ser lo suficientemente exigente. Por lo tanto, para algunas emisiones puede ser necesario utilizar un esquema que permita un número limitado de tales líneas espectrales a niveles superiores a los de la máscara; dichos límites específicos se delimitan, cuando son necesarios, en los Anexos a esta Recomendación correspondientes a los distintos servicios de radiocomunicación.

Adjunto 1
del Anexo 1

Ejemplo de cálculo de la relación de potencia fuera de banda admisible y de los límites de potencia para una máscara fuera de banda admisible

1 Introducción

La integración de una máscara fuera de banda sobre una gama de frecuencias específica permite calcular la potencia máxima permitida en el dominio fuera de banda por dicha máscara, y sirve para relacionar los dos métodos utilizados para limitar las emisiones en el dominio fuera de banda. Esta relación puede calcularse utilizando un método discreto o un método continuo. El primer método emula la forma en la que funciona un analizador de espectro o un analizador de señal vector con capacidad para medir digitalmente la potencia, mientras que el segundo constituye un enfoque puramente matemático. Debido a los avances de la tecnología digital, esta capacidad está disponible en numerosas familias de analizadores de espectro. Ambos métodos son válidos y conducen al mismo resultado con una diferencia despreciable, tal como se demuestra en los ejemplos siguientes.

En ambos ejemplos se utiliza la fórmula de la máscara de emisión digital descrita en el Cuadro 3 y que se utiliza en muchos países, a la que a veces se hace referencia como máscara de emisión G. En este ejemplo, se calcula la potencia total en una banda adyacente de 25 kHz. Un ajuste sencillo de los límites de la gama de integración permite realizar el cálculo para otros anchos de banda.

CUADRO 3

Ecuaciones de la atenuación para la máscara de emisión G
(Utilizada en algunos países para transmisores no vocales
con separación entre canales de 25 kHz
(para una ABR = 300 Hz))

Gama de frecuencias	Límites de la atenuación (dB)
5 kHz < | *fd* | < 10 kHz	83 log (*fd*/5)
10 kHz < | *fd* | < 2,5 × ABA	El valor menor de entre 116 log (*fd*/6,1) dB, o 50 + 10 log (*P*) dB, o 70 dB

ABA: ancho de banda autorizado (el valor mayor de entre el ancho de banda ocupado y el ancho de banda necesario).

fd : separación de frecuencia respecto a la frecuencia portadora (kHz).

ABR : ancho de banda de referencia para la que se especifica la potencia de las emisiones en el dominio fuera de banda.

Tal como se pone de manifiesto en el Cuadro 4 y en la Fig. 4, la fórmula de la máscara de un transmisor de $P = 1$ W presenta discontinuidades (en lo sucesivo denominados puntos de discontinuidad), siendo necesario realizar la integración sobre varias gamas de frecuencias.

CUADRO 4

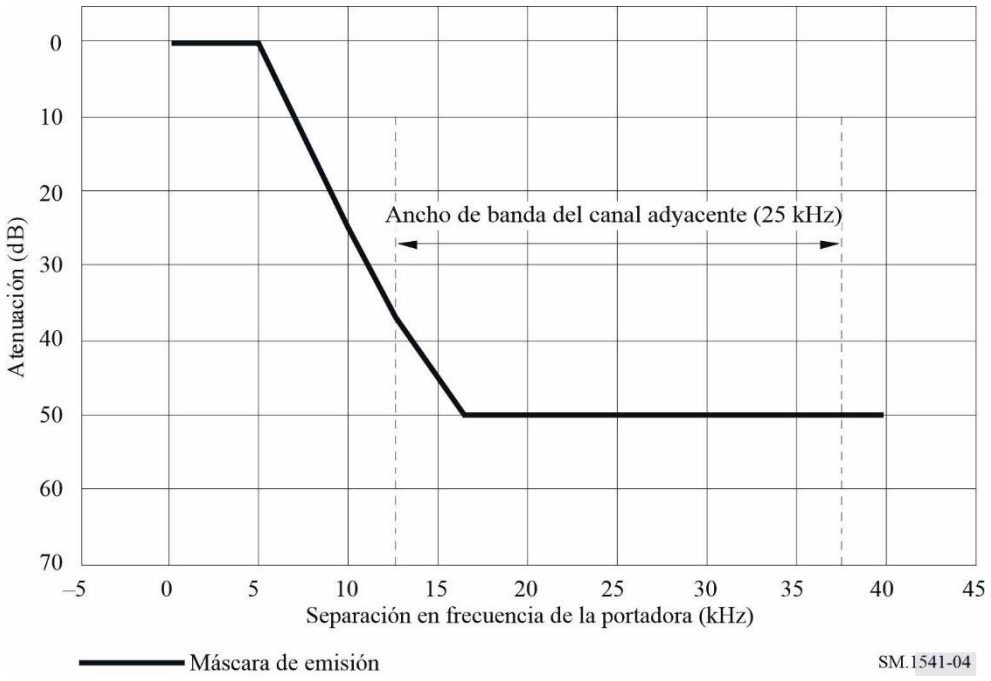
Puntos de discontinuidad de la máscara G (para una ABR de 300 Hz)

Separación de la frecuencia portadora (kHz)	Atenuación (dB)
12,5	36,14
16,46	50

La máscara G se representa en la Fig. 4.

FIGURA 4

Máscara de emisión G (para una ABR de 300 Hz)



2 Método discreto

En este ejemplo se utiliza un transmisor de 1 W y la notación de un programa informático que calcula los resultados. La máscara presenta una zona de transición en el centro de la banda de frecuencias adyacente, debiendo determinarse la separación en frecuencia desde el centro de la emisión hasta dos puntos de discontinuidad que la definen. El primero corresponde a la frecuencia de una discontinuidad que es función del nivel de potencia del transmisor, y en el que la atenuación es 50 + 10 log (P) dB, siendo P la potencia del transmisor en vatios. El segundo es un punto de discontinuidad para el que la atenuación es 70 dB. En la parte de la banda de frecuencias adyacente más próxima a la emisión, la ecuación (1) representa la atenuación independiente del nivel de potencia de la máscara de atenuación de la densidad espectral de potencia del ejemplo, mientras que la ecuación (11) representa una fórmula que es función del nivel de potencia aplicable a la gama de frecuencias de la parte lejana

de la frecuencia del correspondiente punto de discontinuidad. Para determinar la potencia total de la banda adyacente debe sumarse la potencia de ambas regiones.

En las ecuaciones siguientes, la notación «:=» significa «definido como» y «[ ]», cuando se utiliza en ecuaciones matemáticas, no significa texto temporal sino texto acordado.

En este Adjunto la fórmula de la atenuación en la parte cercana se representa mediante:

$$AN(fd) := 116 \log(fd/6{,}1) \quad \text{dB} \tag{1}$$

donde *fd* es la separación de frecuencia (kHz) desde el centro de la emisión.

Para determinar la potencia en la banda adyacente es necesario convertir esta representación logarítmica del límite de la densidad espectral admisible de la emisión en una representación lineal, de tal manera que la atenuación pueda ser integrada o sumada en la gama de frecuencias de la banda adyacente utilizando la expresión siguiente:

$$an(fd) := 10^{-AN(fd)/10} \tag{2}$$

Para determinar la potencia limitada por la máscara, la atenuación debe sumarse en intervalos idénticos entre sí e iguales al ancho de banda de resolución especificado para las mediciones de la máscara de emisión (es decir, una integración numérica) sobre toda la banda de frecuencias que se evalúa. Para esta máscara, la ABR, es:

$$RBW := 0{,}3 \quad \text{kHz} \tag{3}$$

asignando a la banda adyacente un ancho de banda de 25 kHz. La banda adyacente está centrada a una frecuencia separada de 25 kHz, de forma que la banda asignada comienza a una frecuencia desplazada de 25 – 25/2 = 12,5 kHz y termina a 37,5 kHz. Sin embargo, para evitar que la energía se extienda fuera de la banda adyacente es necesario un ajuste igual a la mitad del ancho de banda del filtro de resolución, de forma que la operación de suma de potencia comience a 12,5 + 0,3/2 = 12,65 kHz. La frecuencia del punto de discontinuidad dependiente del nivel de potencia, *fb*, se calcula a partir de la ecuación (1), de forma que:

$$fb := 6{,}1 \times 10^{\left[(50 + 10 \log(P)/116)\right]} \tag{4}$$

Para un transmisor de *P* = 1 W, el punto de discontinuidad de 50 dB se produce a 16,46 kHz. El punto de discontinuidad de 70 dB, que también se aplica a todos los transmisores con una potencia de 100 W o superior, tiene lugar a 24,48 kHz.

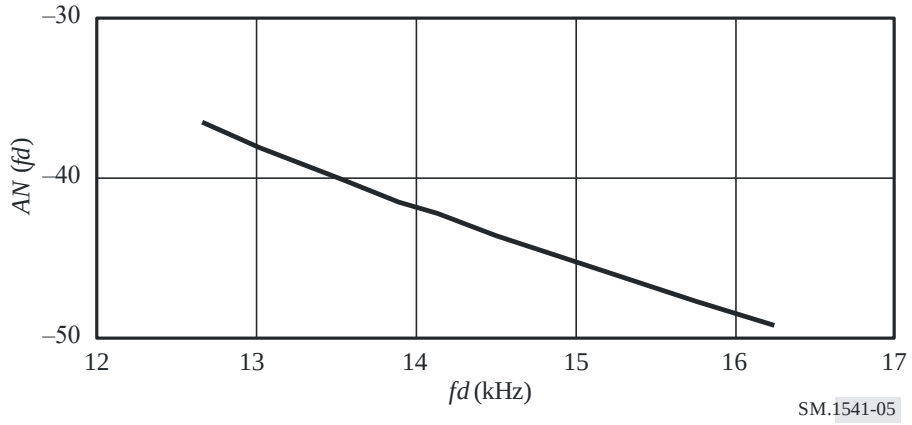
La atenuación de potencia en la región más cercana de la banda adyacente puede determinarse realizando la suma sobre el rango de frecuencias que va desde 12,65 kHz hasta 16,46 kHz y que, tras el ajuste, está representado por:

$$fd := 12{,}65; 12{,}95, \ldots, 16{,}31 \quad \text{kHz} \tag{5}$$

En la Fig. 5 se muestra la representación logarítmica de la máscara de atenuación de la emisión del lado cercano de la banda adyacente.

FIGURA 5

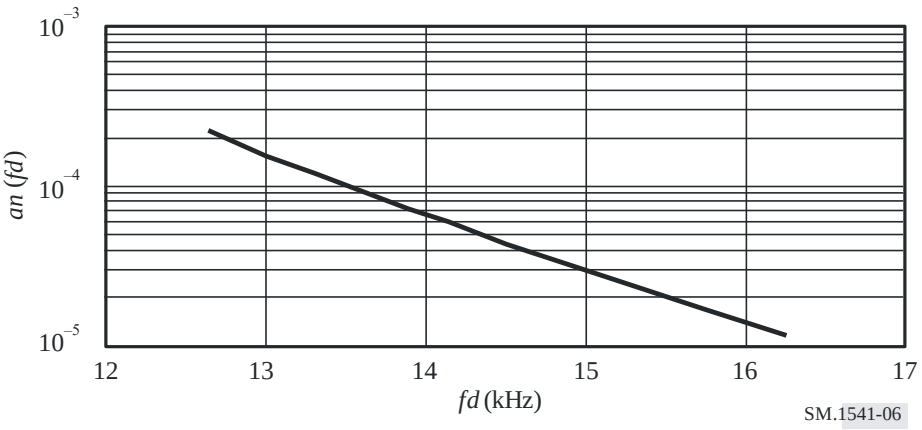
Máscara de atenuación de la emisión en el lado cercano de la banda adyacente (dBc)



y en la Fig. 6 se muestra la representación lineal de esta máscara.

FIGURA 6

Distribución de la potencia de emisión en el lado cercano de la banda adyacente



La relación entre la potencia total en la banda adyacente y la potencia total de la emisión se calcula sumando la potencia en el ancho de banda de la banda adyacente que se muestra en la Fig. 6 mediante la siguiente ecuación:

$$abprn := \sum_{fd} an(fd) \tag{6}$$

que es igual a:

$$abprn = 8.99 \times 10^{-4} \tag{7}$$

Este valor puede convertirse de nuevo en atenuación para el límite de potencia de la banda adyacente (dB) utilizando:

$$ABPRN := 10 \log (abprn) \tag{8}$$

cuyo valor es:

$$ABPRN = -30{,}46 \quad \text{dB} \tag{9}$$

La fórmula de la máscara de atenuación de la densidad espectral de potencia en la parte lejana de la banda de frecuencias adyacente para una potencia de 1 W es:

$$AF(fd) := 50 + 10 \log (1) \qquad \text{dB} \tag{10}$$

donde *fd* es la separación de frecuencia (kHz) desde el centro de la emisión.

Para determinar la potencia en la banda adyacente es necesario convertir la representación logarítmica de la densidad espectral de potencia de la emisión en una representación lineal, de tal forma que la potencia pueda integrarse o sumarse sobre la gama de frecuencias de la banda adyacente utilizando:

$$af(fd) := 10^{\frac{-AF(fd)}{10}} \tag{11}$$

Para determinar la potencia limitada por la máscara la potencia debe sumarse a intervalos idénticos entre sí e iguales al ancho de banda de resolución especificado para las mediciones de la máscara de emisión (es decir, una integración numérica) sobre la banda que se evalúa. Para esta máscara:

$$RBW := 0{,}3 \qquad \text{kHz} \tag{12}$$

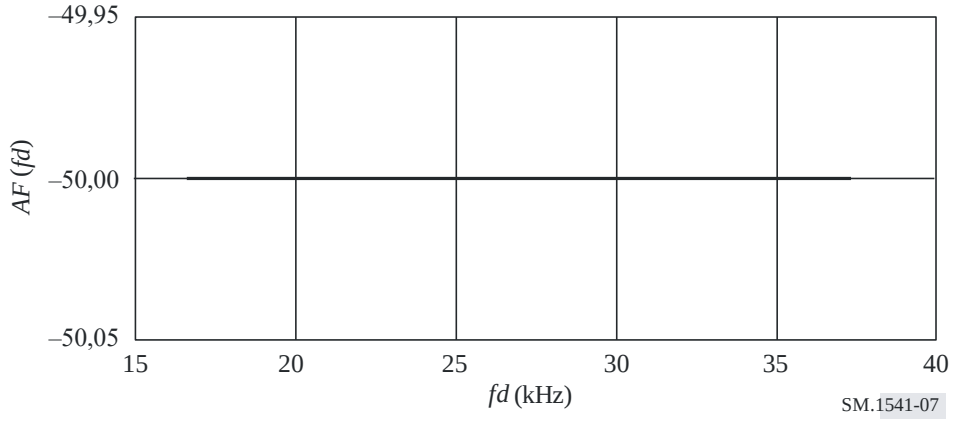
El límite de potencia en la banda adyacente en relación con la potencia de emisión total puede calcularse entonces sumando la atenuación sobre la gama de frecuencias que va desde 16,46 kHz a 37,5 kHz la cual, tras el ajuste, se representa en este Adjunto mediante:

$$fd := 16{,}61; 16{,}91; ...; 37{,}35 \qquad \text{kHz} \tag{13}$$

En la Fig. 7 se muestra la representación logarítmica de la máscara de emisión del lado lejano de la banda adyacente.

FIGURA 7

Máscara de atenuación de la emisión en el lado lejano de la banda adyacente (dBc)



La relación entre la potencia total de la banda adyacente y la potencia total de la emisión se calcula sumando la potencia en el ancho de banda de la banda adyacente mediante la fórmula siguiente:

$$abprf := \sum_{fd} af(fd) \tag{14}$$

que es igual a:

$$abprf = 7 \times 10^{-4} \tag{15}$$

cuyo valor es:

$$ABPRF = -31{,}55 \quad \text{dB} \tag{16}$$

La potencia total es la suma de las ecuaciones (6) y (14):

$$abpr = abprn + abprf \tag{17}$$

cuyo valor es:

$$abpr = 15{,}99 \times 10^{-4} \tag{18}$$

Ello se convierte en:

$$ABPR = -10 \log (abpr) \quad \text{dB} \tag{19}$$

cuyo valor es:

$$ABPR = 27{,}96 \quad \text{dB} \tag{20}$$

Esta atenuación determina que $RPBA_1$ = +30 dBm – 27,96 dB, es decir, 2,04 dBm.

3 Método continuo

En general, las curvas de la máscara de emisión tienen varios segmentos lineales y la densidad espectral de potencia puede representarse para cada segmento mediante una ecuación lineal.

$$S_{\text{dB}}(f) = af + b \tag{21}$$

Para calcular los niveles de potencia no deseada en la banda adyacente, es necesario establecer una relación entre el espectro medido en un ancho de banda de 300 Hz, que se identifica como *G*, y la verdadera densidad espectral de potencia, que se denomina *S*. Si se supone que los niveles de potencia *G* también se representan mediante una ecuación lineal $G = a'f + b'$, el problema reside en relacionar los coeficientes de lineales *a'* a *b'* de la función de comportamiento *G* con los coeficientes *a* y *b* de la función *S*. La relación entre $G(f_c)$ y $S(f_c)$ puede representarse mediante:

$$G(f_c) = \int_{f_c - B/2}^{f_c + B/2} S(f)\, \text{d}f$$

$$= \int_{f_c - B/2}^{f_c + B/2} 10^{[s_{\text{dB}}(f)/10]} \text{d}f = \int_{f_c - B/2}^{f_c + B/2} 10^{[(af+b)/10]} \text{d}f = \int_{f_c - B/2}^{f_c + B/2} \text{e}^{\ln 10[(af+b)/10]} \text{d}f$$

$$= \int_{f_c - B/2}^{f_c + B/2} \exp\left(k(af + b)\right) \text{d}f = \frac{1}{ka} \text{e}_{kb} [\text{e}_{kaf}]_{f_c - B/2}^{f_c + B/2}$$

$$= \exp\left(k(af_c + b)\right) \frac{\text{senh}(\alpha B)}{\alpha} \tag{22}$$

donde k = ln(10)/10, $\alpha = ka/2$ y f_c es la frecuencia central del ancho de banda B de resolución. Asimismo, la densidad espectral de potencia, medida en decibelios, sobre la base del ancho de banda de resolución se calcula mediante la ecuación (23), e igualando los coeficientes se obtienen las ecuaciones (24) y (25).

$$G_{\mathrm{dB}}(f_c) = 10 \log\left(G(f_c)\right) = \frac{1}{k}\ln\left(G(f_c)\right) = a' f_c + b' \tag{23}$$

$$a = a' \tag{24}$$

$$b = b' - \frac{1}{k}\ln\left(\frac{\operatorname{senh}(\alpha B)}{\alpha}\right) \tag{25}$$

Si a' tiende a cero, la ecuación de b se convierte en:

$$b = b' - \frac{1}{k}\ln\left(B\right) \tag{26}$$

Para calcular la potencia admisible en el dominio fuera de banda utilizando el procedimiento anterior, se debe obtener en primer lugar la ecuación $S_{\mathrm{dB}}(f) = af + b$, e integrarla sobre el ancho de banda del canal adyacente.

$$\text{Potencia admisible en el dominio fuera de banda} = \int_W 10^{[S_{\mathrm{dB}}(f)/10]}\mathrm{d}f$$

donde W es el ancho de banda del canal adyacente.

Utilizando un transmisor de potencia P = 1 W en un sistema cuyo ancho de banda sea 25 kHz, y sobre la base de un ancho de banda de resolución de 300 Hz, la máscara de la emisión es la que se muestra en la Fig. 5. Asimismo, los niveles de referencia de los puntos de discontinuidad de la máscara de emisión son los incluidos en el Cuadro 4, de tal forma que el intervalo de cálculo en el ancho de banda del canal adyacente puede dividirse en dos subintervalos de acuerdo con la forma de la curva de la emisión, es decir, (12,5 kHz a 16,46 kHz) y (16,46 kHz a 37,5 kHz). A partir del Cuadro 3, y en base a los puntos de discontinuidad del Cuadro 4 (12,5 kHz, –36,14 dB) y (16,46 kHz, –50 dB), puede obtenerse la ecuación de una función lineal (27). En el rango de frecuencias superior a 16,46 kHz, el resultado es un nivel constante de –50 dB, tal como se indica en la ecuación (28).

$$\text{Para } 12{,}5\ \text{kHz} \le f \le 16{,}46\ \text{kHz} \qquad G_{\mathrm{dB}}(f) = 7{,}61 - 3{,}5\, f \tag{27}$$

$$\text{Para } 12{,}46\ \text{kHz} \le f \le 37{,}5\ \text{kHz} \qquad G_{\mathrm{dB}}(f) = -50 \tag{28}$$

Las ecuaciones (27) y (28) pueden convertirse en las ecuaciones siguientes utilizando las ecuaciones (24), (25) y (26).

$$\text{Para } 12{,}5\ \text{kHz} \le f \le 16{,}46\ \text{kHz} \qquad S_{\mathrm{dB}}(f) = 12{,}84 - 3{,}5\, f \tag{29}$$

$$\text{Para } 12{,}46\ \text{kHz} \le f \le 37{,}5\ \text{kHz} \qquad S_{\mathrm{dB}}(f) = -44{,}77 \tag{30}$$

El nivel total de potencia en el ancho de banda del canal adyacente es la suma del resultado de las dos integraciones sobre los respectivos subintervalos.

Atenuación admisible de la emisión fuera de banda:

$$= \int_{12,5}^{16,46} 10^{[(12,84-3,5f)/10]}\,df + \int_{16,46}^{37,5} 10^{[-44,77/10]}\,df$$

$$= 0,00095 + 0,0007 = 0,00165 \qquad (31)$$

Expresado en decibelios, el requisito anterior de atenuación es el siguiente:

$$10 \log (0,00165) = -27,8 \quad \text{dB} \qquad (32)$$

Esta atenuación establece que la potencia de la banda adyacente (PBA) es: PBA1 = +30 dBm − 27,8 dB, es decir 2,2 dBm, un resultado muy próximo al obtenido utilizando el método discreto.

Anexo 2

Cálculo del inicio y del final del dominio fuera de banda para sistemas multiportadora con uno y con varios transpondedores por satélite

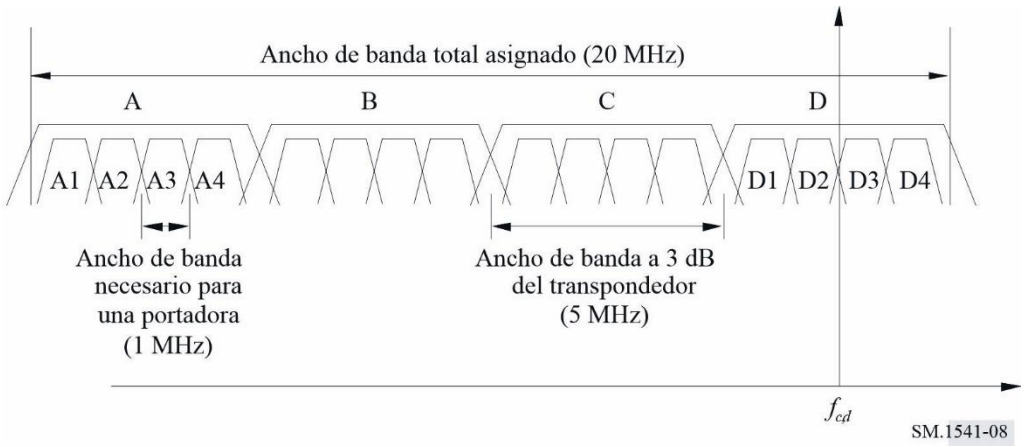
En este Anexo se presentan dos ejemplos que muestran cómo determinar el comienzo y el final del dominio fuera de banda para sistemas multiportadora con uno y con varios transpondedores por satélite.

1 Ejemplo 1: Varios transpondedores por satélite que cubren la misma zona de servicio

En la Fig. 8 se muestra el ejemplo de un satélite con varios transpondedores. En este ejemplo, el ancho de la banda para la que el satélite tiene licencia o autorización de funcionamiento es de 20 MHz, siendo 5 MHz el ancho de banda a 3 dB del transpondedor y 1 MHz el ancho de banda necesario para la transmisión de una sola portadora.

FIGURA 8

Transmisión multiportadora con un ancho de banda a 3 dB del transpondedor inferior al ancho de banda total asignado

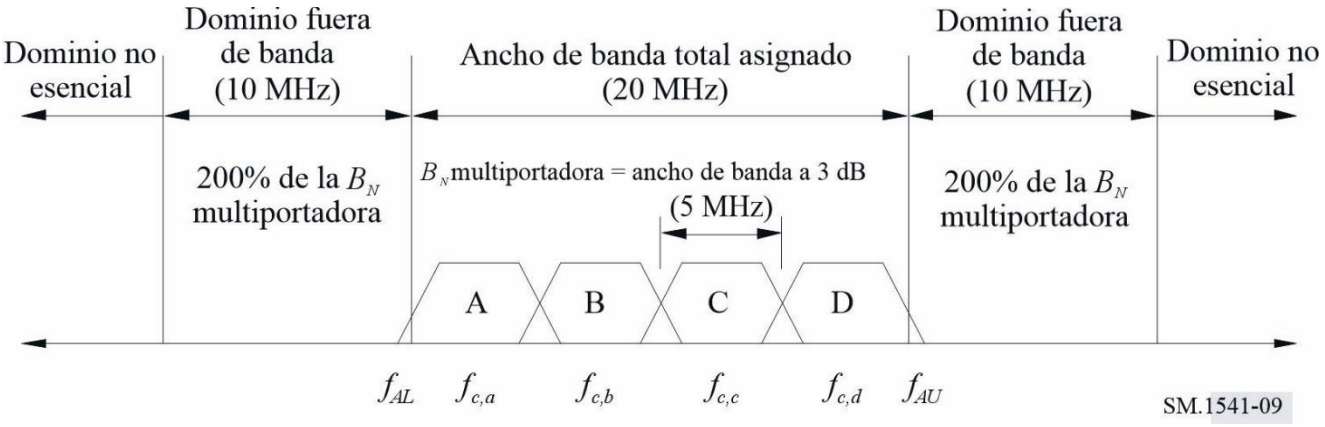


En esta Recomendación se considera que el ancho de banda necesario, B_N, para una transmisión multiportadora es el valor más pequeño de entre dos valores, a saber, el ancho de banda a −3 dB del transpondedor o el ancho de banda total asignado. Por tanto, el ancho de banda necesario del ejemplo anterior sería de 5 MHz. El dominio fuera de banda comienza en cada uno de los bordes el ancho de banda total asignado para la que dispone de autorización.

El dominio fuera de banda incluye las frecuencias situadas a una distancia de la frecuencia central de más del 50% del ancho de banda necesario y a menos del 250% de la misma (el ancho de banda de los transpondedores A y D). En consecuencia, el ancho del dominio fuera de banda es el 200% del ancho de banda necesario. Por lo tanto, en el ejemplo de la Fig. 9, el ancho del dominio fuera de banda por encima de f_{AU} y por debajo de f_{AL} es 10 MHz. En la Fig. 9 se muestra el dominio de la emisión fuera de banda y el domino de la emisión no esencial.

FIGURA 9

Dominios de la emisión fuera de banda y de la no esencial del sistema multiportadora de la Fig. 8



2 Ejemplo 2: Un solo transpondedor por satélite

Cuando todas las portadoras de la Fig. 8, desde A1 hasta D4, se transmiten en un único transpondedor, el dominio fuera de banda debe comenzar en los bordes del ancho de banda total asignado, siendo el ancho del dominio fuera de banda el 200% del ancho de banda necesario, y el ancho de banda necesario el valor más pequeño de entre dos valores, a saber, el ancho de banda asignado o el ancho de banda a 3 dB del transpondedor.

Anexo 3

Etiquetado de las gráficas de las máscaras expresadas en dBc y dBsd

En este Anexo se muestra la forma en la que se deben etiquetar los ejes de las máscaras espectrales expresadas en dBc y dBsd.

1 Etiquetado del eje Y de las máscaras fuera de banda

La Fig. 10 muestra la forma preferida de etiquetar el eje Y de las máscaras espectrales expresadas en dBc y dBsd, en las que se utilizan valores de nivel relativo negativos. La Fig. 11 muestra una forma alternativa que utiliza valores positivos de atenuación. Nótese que las máscaras para límites simétricos se representan de igual forma en las Figs. 10 y 11; solamente difieren en el eje Y. Para los gráficos expresados en dBsd, el ancho de banda de referencia debe incluirse en la etiqueta que acompaña al eje, por ejemplo, dBsd (BW = 50 kHz).

La utilización del valor cero en la parte superior del eje Y es conforme con la práctica habitual de la industria para la especificación de máscaras de límites y con la representación que normalmente se hace en analizadores de espectro y en otros equipos de prueba.

FIGURA 10

Ejemplos de etiquetado preferidos del eje Y para máscaras fuera de banda utilizando niveles relativos

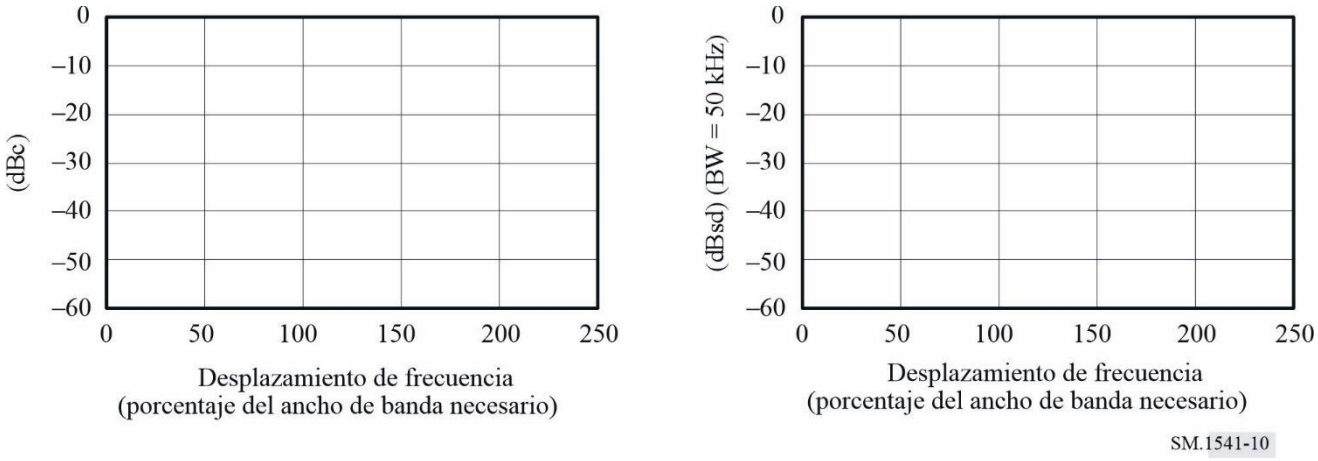
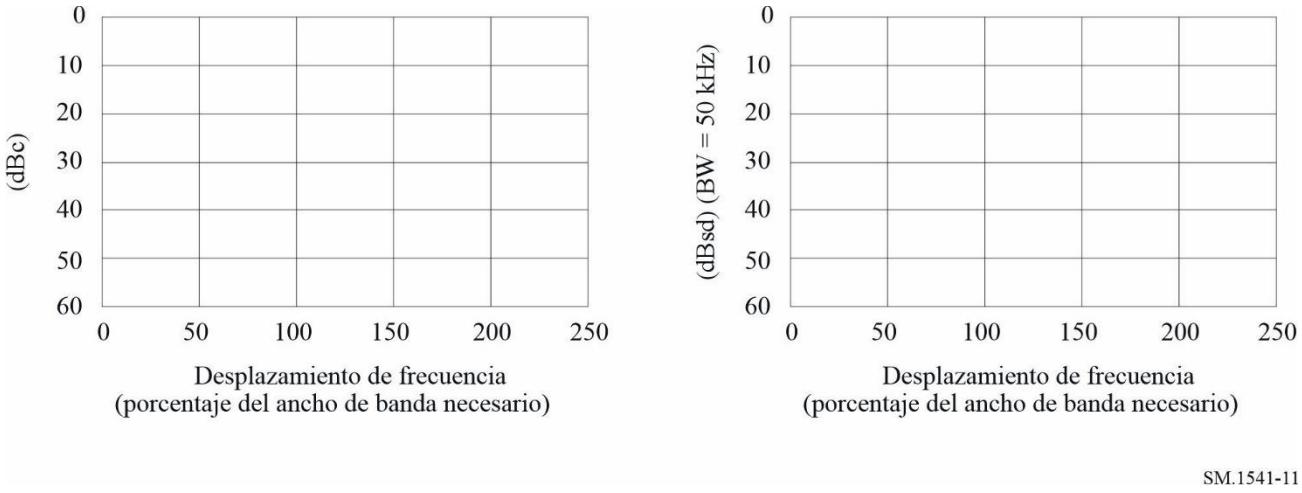


FIGURA 11

Ejemplos de etiquetado alternativo del eje Y para máscaras fuera de banda simétricas utilizando valores de atenuación



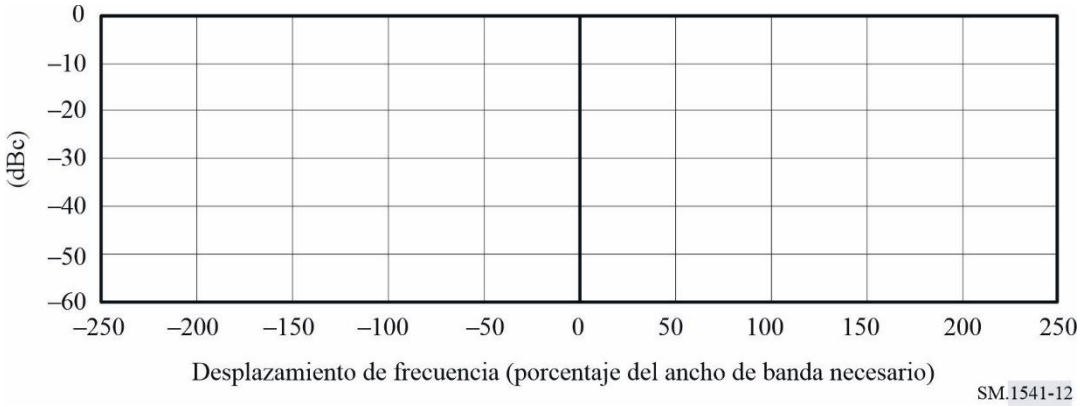
2 Etiquetado del eje X de las máscaras fuera de banda

El desplazamiento de frecuencia se expresa normalmente como un porcentaje del ancho de banda necesario pero, en ocasiones, puede resultar más conveniente expresarlo como un porcentaje del ancho de banda del canal. El desplazamiento de frecuencia puede también expresarse en unidades absolutas, kHz o MHz.

Normalmente, los límites de la máscara son simétricos alrededor de la frecuencia central, y sólo se muestran valores positivos del desplazamiento; dichos valores deben interpretarse como valores absolutos que representan desplazamientos de frecuencia positivos y negativos. En este caso, sólo se muestran valores positivos de desplazamientos. No obstante, en el caso de límites asimétricos alrededor de la frecuencia central, el eje X debe incluir desplazamientos de frecuencia positivos y negativos. La Fig. 12 muestra un ejemplo de gráfico que puede utilizarse para límites simétricos y para límites asimétricos.

FIGURA 12

Ejemplo de etiquetado para máscaras fuera de banda simétricas o asimétricas



Anexo 4

Lista de los textos del UIT-R que hacen referencia a las emisiones en el dominio fuera de banda para ciertos servicios concretos

Recomendación ITU-R F.1191 – Anchuras de banda necesarias y ocupadas y emisiones no deseadas de los sistemas digitales del servicio fijo

Recomendación UIT-R M.478 – Características técnicas de los equipos y principios para la asignación de canales a las estaciones del servicio móvil terrestre con modulación de frecuencia entre 25 y 3 000 MHz

Recomendación UIT-R M.1580 – Características genéricas de las emisiones no deseadas procedentes de estaciones de base que utilizan las interfaces radioeléctricas terrenales de las IMT-2000

Recomendación UIT-R M.1581 – Características genéricas de las emisiones no deseadas procedentes de estaciones móviles que utilizan las interfaces radioeléctricas terrenales de las IMT-2000

Informe UIT-R M.2014 – Sistemas móviles digitales terrestres para el despacho de tráfico

Recomendación UIT-R BS.1114 – Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz

Recomendación UIT-R BT.1206-1 – Plantillas de los límites del espectro para la radiodifusión de televisión digital terrenal

Recomendación UIT-R M.1480 – Requisitos técnicos fundamentales de las estaciones terrenas móviles de los sistemas móviles con satélites geoestacionarios que aplican las disposiciones del memorándum de entendimiento sobre las comunicaciones personales móviles mundiales por satélite (GMPCS) en partes de la banda de frecuencias 1-3 GHz

Recomendación UIT-R M.1343 – Requisitos técnicos fundamentales de las estaciones terrenas móviles que funcionan con sistemas mundiales del servicio móvil por satélite con satélites no geoestacionarios en la banda 1-3 GHz

NOTA 1 – Aunque el título de la Recomendación UIT-R M.1343 hace referencia a sistemas mundiales, también puede aplicarse a terminales de sistemas regionales con satélites no geoestacionarios.

Anexo 5

Límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para los servicios espaciales (estaciones terrenas y espaciales)

1 Introducción

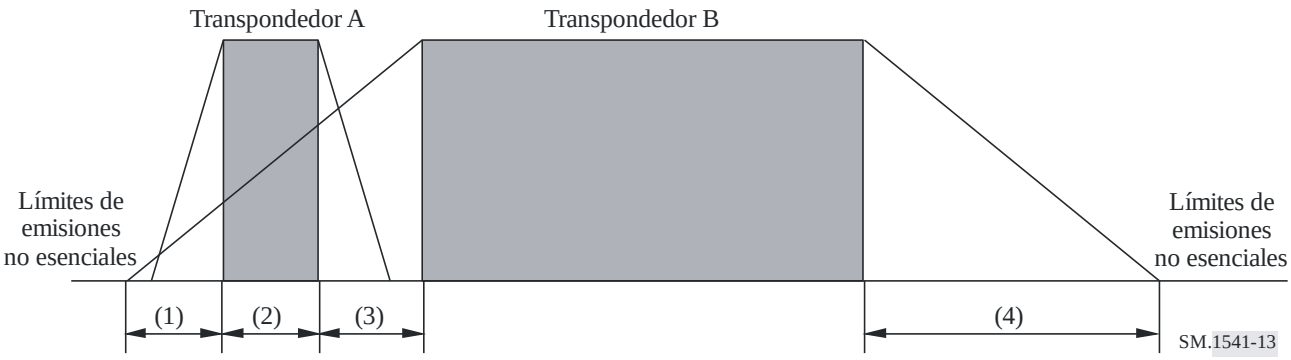
En determinados casos se considera que no son de aplicación las máscaras fuera de banda (de los § 2 a 4).

En el caso de un satélite con más de un transpondedor funcionando en la misma zona de servicio y en relación con los límites de las emisiones fuera de banda descritas a continuación, las emisiones fuera de banda de un transpondedor pueden solaparse con la frecuencia a la que transmite un segundo transpondedor. En estas situaciones, el nivel de las emisiones fuera de banda procedentes del primer transpondedor son notablemente inferiores a las emisiones fundamentales del segundo transpondedor. Por lo tanto, los límites que se indican a continuación no deben aplicarse a las emisiones fuera de banda de un transpondedor de satélite que caen en el ancho de banda necesario de otro transpondedor del mismo satélite que opera sobre la misma zona de servicio.

FIGURA 13

Ejemplo de la aplicación de los límites fuera de banda a un transpondedor de satélite

(Figura no dibujada a escala)



Los transpondedores A y B pertenecen al mismo satélite y operan sobre la misma zona de servicio. No se exige que el transpondedor B cumpla los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda en la gama de frecuencias (2), pero sí debe cumplirlos en las gamas (1), (3) y (4). Si la gama de frecuencias (3) es una banda de guarda, no se aplican los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda.

2 Máscaras fuera de banda para estaciones terrenales y espaciales del servicio fijo por satélite (SFS)

Las emisiones en el dominio fuera de banda de una estación que funcione en las bandas atribuidas al SFS, deben estar atenuadas por debajo de la densidad espectral de potencia máxima en una ABR de 4 kHz dentro del ancho de banda necesario (en el caso de sistemas que funcionen por encima de 15 GHz puede utilizarse un ancho de banda de referencia de 1 MHz en lugar de 4 kHz), de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$40 \log \left(\frac{F}{50} + 1 \right) \qquad \text{dBsd}$$

donde F es el desplazamiento en frecuencia desde el borde de la banda total asignada, expresado en términos de porcentaje del ancho de banda necesario. Nótese que el dominio de emisión fuera de banda comienza en los bordes de la banda total asignada.

FIGURA 14

Ejemplo 1: máscara fuera de banda para un límite de no esenciales equivalente a 25 dBsd

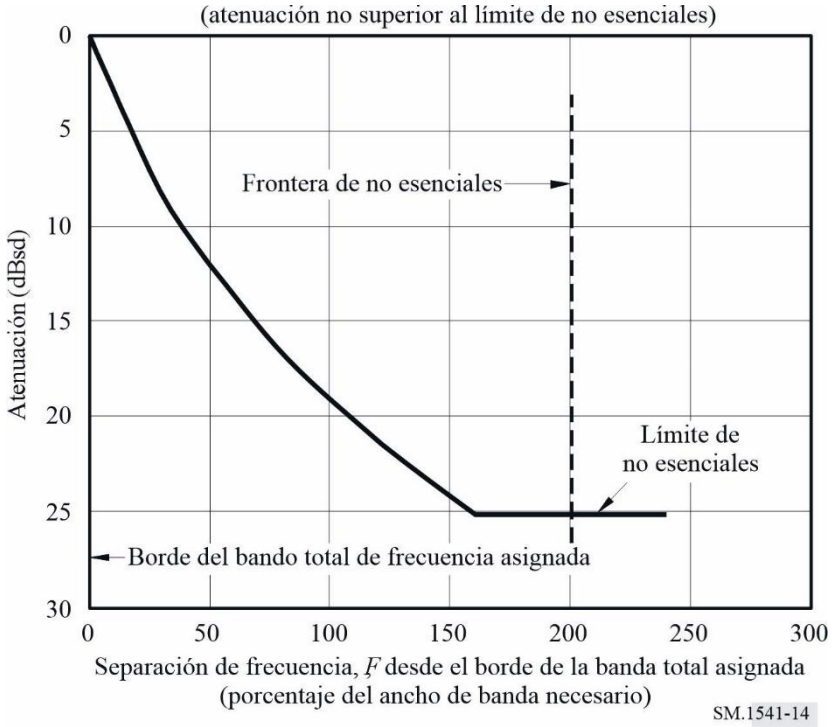
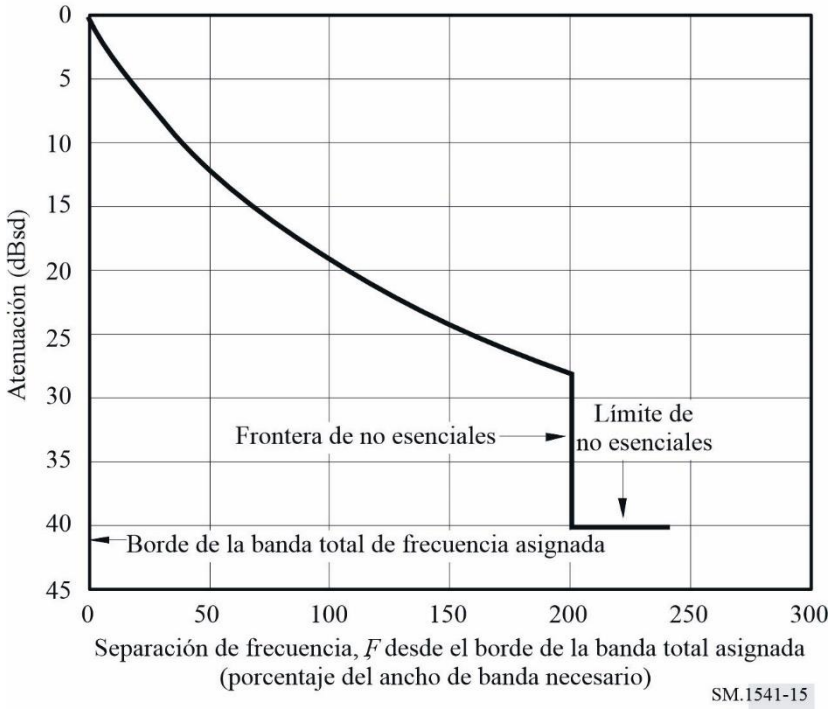


FIGURA 15

Ejemplo 2: máscara fuera de banda para un límite de no esenciales equivalente a 40 dBsd

(máscara truncada en la frontera de no esenciales)



Debe tenerse especial cuidado en los casos en los que se proponen máscaras fuera de banda que se apliquen tanto a las estaciones terrenas como a las estaciones espaciales. Ello se debe a que en las aplicaciones multiportadora, el ancho de banda necesario en el que se basan las máscaras corresponde al del amplificador final del transmisor. Las estaciones terrenas tienen a menudo amplificadores con un ancho de banda mucho mayor que los de las estaciones espaciales.

3 Máscaras fuera de banda para estaciones terrenas y espaciales del servicio móvil por satélite (SMS)

Las máscaras de la Recomendación UIT-R M.1480 pueden utilizarse para las estaciones terrenas móviles de los sistemas del SMS de la órbita de los satélites geoestacionarios (OSG) que implementen el memorándum de entendimiento de los Sistemas mundiales de comunicaciones móviles personales (GMPCS) en partes de la banda de frecuencias 1-3 GHz.

Las máscaras de la Recomendación UIT-R M.1343 para estaciones terrenas móviles de sistemas no OSG en la banda 1-3 GHz constituyen información de entrada útil sobre las estaciones terrenas móviles.

En el caso de estaciones terrenas no incluidas en las Recomendaciones mencionadas y para todas las estaciones espaciales, debe utilizarse la siguiente máscara fuera de banda a modo de límite superior de sistemas del SMS:

La atenuación de las emisiones fuera de banda en un ancho de banda de referencia de 4 kHz para sistemas del SMS por debajo de 15 GHz (el ancho de banda de referencia es de 1 MHz para sistemas del SMS por encima de 15 GHz) es:

$$40 \log \left(\frac{F}{50} + 1 \right) \qquad \text{dBsd}$$

donde *F* es el desplazamiento de frecuencia desde el borde de la banda total asignada, expresado como porcentaje del ancho de banda necesario, que oscila entre el 0% hasta la frontera de no esenciales (que normalmente es el 200%).

La máscara propuesta puede no ser aplicable si se realiza un examen detallado de la compatibilidad en la banda adyacente.

4 Máscaras fuera de banda para estaciones espaciales del servicio de radiodifusión por satélite (SRS)

Las emisiones fuera de banda de una estación que funciona en las bandas atribuidas al servicio de radiodifusión por satélite deben atenuarse hasta alcanzar un nivel inferior a la máxima densidad espectral de potencia, en un ancho de banda de referencia de 4 kHz (para los sistemas que funcionan por encima de 15 GHz puede utilizarse un ancho de banda de referencia de 1 MHz en lugar de 4 kHz), dentro del ancho de banda necesario, utilizando para ello la siguiente expresión:

$$32 \log \left(\frac{F}{50} + 1 \right) \qquad \text{dBsd}$$

siendo *F* el desplazamiento de frecuencia desde el extremo de la banda total asignada, expresado como porcentaje del ancho de banda necesario. Obsérvese que el dominio fuera de banda comienza en los extremos de la banda total asignada.

5 Máscara fuera de banda para enlaces espacio-Tierra que funcionan en la banda de 1 a 20 GHz del servicio de investigación espacial, el servicio de operaciones espaciales y el servicio de exploración de la Tierra por satélite (SETS)

5.1 Introducción

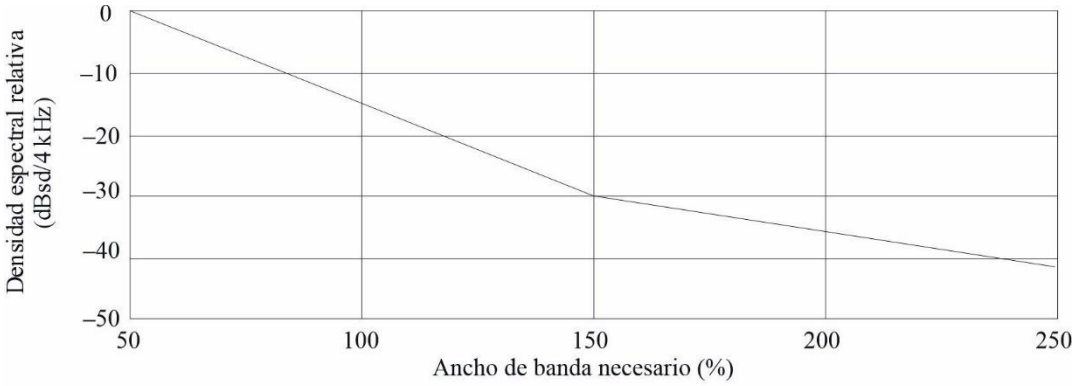
En este Anexo se proporciona una máscara fuera de banda para enlaces espacio-Tierra en las bandas entre 1-20 GHz del servicio de investigación espacial, el servicio de operaciones espaciales y el SETS. La máscara no es aplicable a las estaciones del espacio profundo, a los sensores activos o a los enlaces espacio-espacio.

5.2 Máscaras fuera de banda para el servicio de investigación espacial, el servicio de operaciones espaciales y el SETS en los sentidos espacio-Tierra y Tierra-espacio

La máscara que se muestra en la Fig. 16 se aplica a las emisiones de portadora única de las estaciones terrenas y estaciones espaciales del servicio de investigación espacial, el servicio de operaciones espaciales y el SETS que funcionan en frecuencias comprendidas entre 1 GHz y 20 GHz.

FIGURA 16

Máscara fuera de banda recomendada para las emisiones de portadora única del servicio de investigación espacial, el servicio de operaciones espaciales y el SETS en los sentidos espacio-Tierra y Tierra-espacio en las bandas entre 1 GHz y 20 GHz



Nota 1 – La máscara de emisión se extiende en general hasta el 250% del ancho de banda necesario. Sin embargo, el borde externo del dominio fuera de banda de los sistemas de banda ancha y de banda estrecha se modifica tal como se indica en la Recomendación UIT-R SM.1539.

SM.1541-16

5.2.1 Parámetros de la máscara de emisión

La máscara de emisión se especifica en dBsd medidas en un ancho de banda de referencia de 4 kHz.

La máscara de emisión se define de la forma siguiente:

$$\text{Atenuación} = -15 + 15\,(X/50\%) \quad \text{dBsd} \quad \text{para } 50\% < X \le 150\% \tag{33}$$

$$\text{Atenuación} = +12 + 6\,(X/50\%) \quad \text{dBsd} \quad \text{para } 150\% < X \le 250\% \tag{34}$$

donde X es un porcentaje del ancho de banda necesario.

5.2.2 Aplicabilidad de la máscara de emisión

La máscara de emisión anterior sólo es aplicable a emisiones de portadora única de estaciones de los servicios de investigación espacial, de operaciones espaciales y SETS en bandas comprendidas entre 1 GHz y 20 GHz. No se aplica a las emisiones de estaciones en el espacio profundo ni de estaciones que explotan enlaces espacio-espacio, ni tampoco a sensores activos. Las máscaras para los enlaces espacio-espacio y espacio-Tierra por debajo de 1 GHz y por encima de 20 GHz requieren estudios adicionales.

5.2.3 Fundamentos de las máscaras de emisión

La máscara de emisión de las ecuaciones (33) y (34) se ha seleccionado debido a que en las simulaciones realizadas se demostró que dicha máscara puede implementarse sin imponer limitaciones innecesarias a las estaciones terrenas ni a las estaciones espaciales del servicio de investigación espacial, del servicio de operaciones espaciales y del SETS. Además, proporciona en general una protección suficiente contra emisiones no deseadas. Por otra parte, la máscara es consistente con el concepto de red de seguridad, es decir, que los límites generales recomendados fuera de banda constituyen una envolvente del caso peor basada en límites de las emisiones fuera de banda menos restrictivos utilizados satisfactoriamente en las reglamentaciones nacionales o regionales y que no incluirán límites nacionales o regionales más estrictos.

6 Servicios de frecuencias patrón y señales horarias

6.1 Servicios de frecuencias patrón y señales horarias que funcionan por debajo de 30 MHz

Banda 7 (2,5 a 25 MHz)

Las emisiones en la banda 7, de 2,5 a 25 MHz, del servicio de frecuencias patrón y señales horarias realizan normalmente la multiplexación por división en el tiempo de anuncios de voz, ráfagas de tono y códigos de tiempo. Cada señal se incorpora en la portadora utilizando la modulación en amplitud de doble banda lateral.

La máscara de los límites espectrales de dicho servicio se calcula conforme a lo estipulado en el § 6.3.3 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SM.328, utilizando los anchos de banda de canal indicados anteriormente, dado que la radiodifusión sonora es la señal que determina el ancho de banda necesario.

Cuando se representa la frecuencia en abscisas en escala logarítmica y las densidades de potencia en ordenadas (dB), la curva que representa el espectro fuera de banda debe estar entre dos líneas rectas que comienzan en el punto (+0,5 × ancho de banda del canal, 0 dB) o en el punto (−0,5 × ancho de banda del canal, 0 dB) y terminan en el punto (+0,7 × ancho de banda del canal, −35 dB) o (−0,5 × ancho de banda del canal, −35 dB), respectivamente. Más allá de estos dos puntos y por debajo del nivel de −60 dB, esta curva debe estar entre dos líneas rectas que comienzan en los puntos indicados anteriormente y que tienen una pendiente de 12 dB/octava. Por consiguiente, la misma curva debe estar por debajo del nivel −60 dB.

El nivel de referencia (0 dB) corresponde a la densidad de potencia que existiría si la potencia total, sin contar la de la portadora, estuviera distribuida uniformemente en todo el ancho de banda necesario.

Para la curva así definida en ordenadas se representa la potencia media interceptada por el analizador con un ancho de banda de ruido eficaz de 100 Hz, y cuya frecuencia se sintoniza con la frecuencia indicada en abscisas.

Anexo 6

Límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para sistemas de radiodifusión de televisión

En este Anexo se presentan los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda que deben aplicarse a los sistemas de radiodifusión de televisión. Debe señalarse que de acuerdo con el principio de red de seguridad (véase el *recomienda* 4), los límites más estrictos no se ven afectados cuando por motivos de coordinación y compatibilidad existen acuerdos especiales para los servicios de radiodifusión. Los límites más estrictos que se especifiquen en los acuerdos y normas relevantes se utilizarán siempre que se indique una necesidad especial y que se vea afectado el campo de aplicación de un acuerdo.

NOTA 1 – Todas las máscaras que se presentan a continuación son máscaras de emisiones generales e incluyen los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda.

1 Televisión digital con canalización de 6 MHz según la Recomendación UIT-R BT.1306

1.1 Sistemas DVB-T de 6 MHz

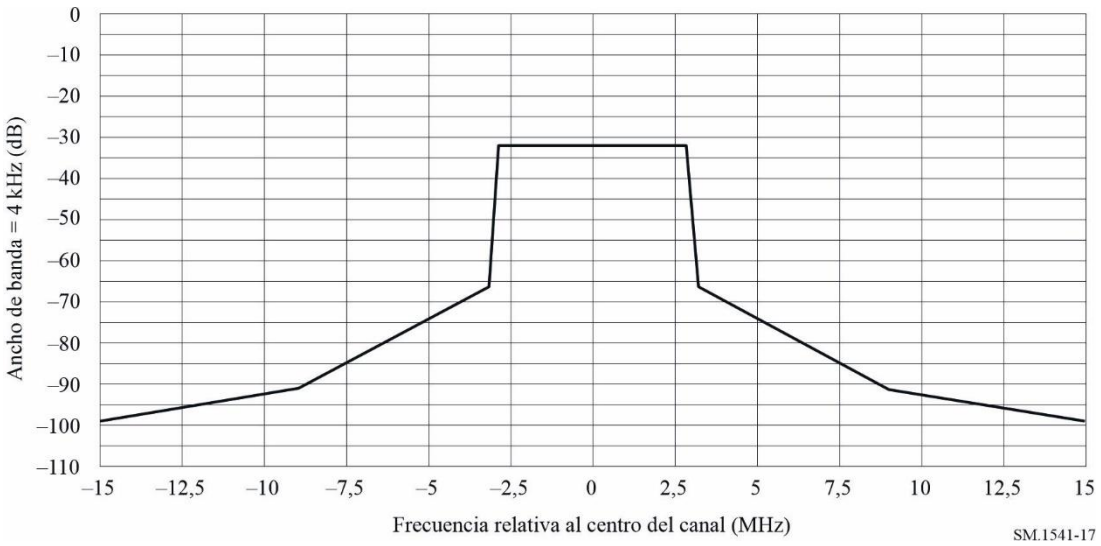
Para la televisión digital de 6 MHz, el dominio fuera de banda se extiende desde ±3 MHz (es decir, ±0,5 × 6 MHz) hasta ±15 MHz (es decir, ±2,5 × 6 MHz).

Para la DVB-T de 6 MHz, se utiliza un ancho de banda de medición de 4 kHz a fin de medir los límites espectrales. El nivel de referencia 0 dB corresponde a la potencia de salida media medida en el ancho de banda del canal.

El contorno de límite espectral para sistemas DVB-T de 6 MHz se ilustra en la Fig. 17. La gráfica se ha trazado de manera que representa los límites espectrales para transmisores que funcionan en la gama de potencias de salida comprendidas entre 39 dBW a 50 dBW. Asociado a cada gráfica, hay un cuadro de puntos de discontinuidad y un cuadro de valores de puntos extremos y de puntos próximos al extremo, junto con los niveles no esenciales correspondientes, para una gama de potencias de salida de transmisor.

FIGURA 17

Contorno del límite espectral para la DVB-T de 6 MHz (para *P* = 39 a 50 dBW)



CUADRO 5

Cuadro de puntos de discontinuidad correspondientes a la Fig. 17 para sistemas DVB-T de 6 MHz

Frecuencia relativa al centro del canal de 6 MHz (MHz)	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 4 kHz (dB)
−15	−99
−9	−91
−3,2	−66,5
−2,86	−31,5
2,86	−31,5
3,2	−66,5
9	−91
15	−99

CUADRO 6

Cuadro de valores de puntos extremos y valores de puntos próximos al extremo que han de utilizarse conjuntamente con la Fig. 17 y el Cuadro 5, aplicable a una gama de potencias de salida del transmisor para sistemas DVB-T de 6 MHz

Valor de punto extremo[1] (ancho de banda de medición de 4 kHz) (dB)	Gama de potencias (dBW)	Nivel no esencial correspondiente (ancho de banda de medición de 100 kHz)
$-89 - (P - 9)$	$P \leq 9$	−36 dBm
−89	$9 < P \leq 29$	75 dBc
$-89 - (P - 29)$	$29 < P \leq 39$	−16 dBm
−99	$39 < P \leq 50$	85 dBc
$-99 - (P - 50)$	$50 \leq P$	−5 dBm

(1) El valor del punto próximo al extremo es 8 dB superior al valor del punto extremo; todos esos valores están sujetos a un límite superior de −66,5 dB.

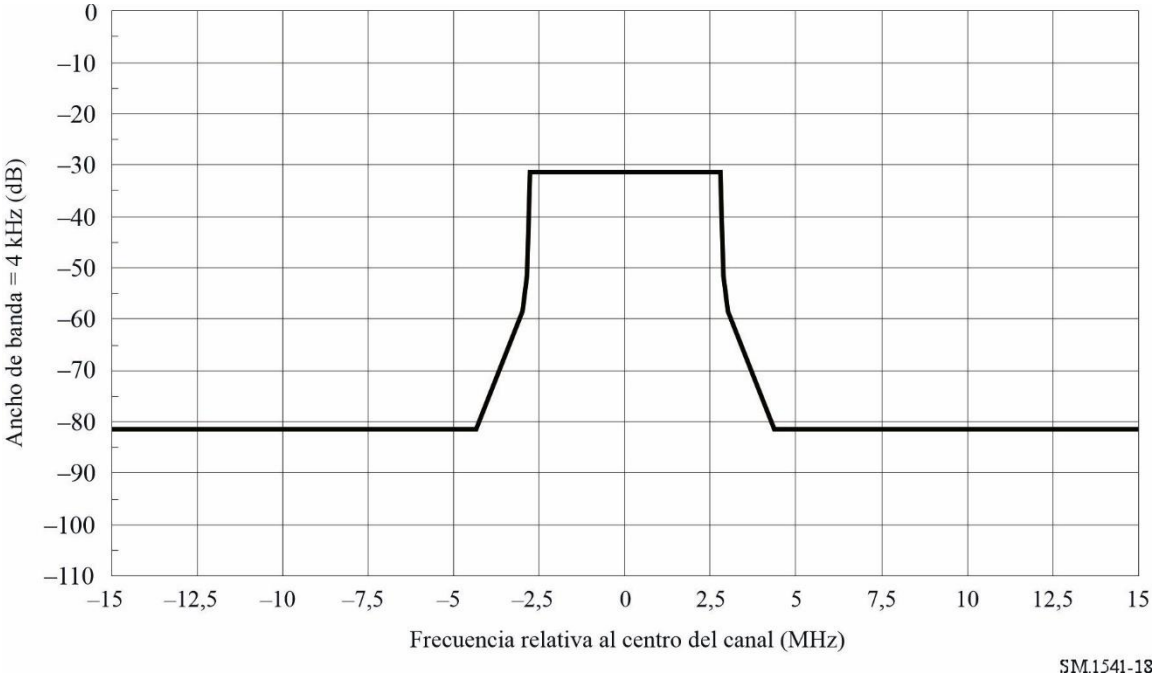
1.2 Sistemas ISDB-T dispuestos en canales de 6 MHz

En los sistemas ISDB-T de 6 MHz, el dominio fuera de banda varía entre ±3 MHz (es decir ±0,5 × 6 MHz) y ±15 MHz (es decir ±2,5 × 6 MHz) con respecto al centro del canal.

La máscara de límites espectrales para el sistema ISDB-T de 6 MHz se muestra en la Fig. 18. Los puntos de discontinuidad se indican en el Cuadro 7. El nivel de potencia relativa se define en un ancho de banda de referencia de 4 kHz. El nivel de referencia de 0 dB corresponde a la potencia media de salida medida en el ancho de banda del canal. Estos límites de emisiones se aplican cuando la potencia del transmisor es superior a 39 dBW.

FIGURA 18

Máscara de límites espectrales para sistemas ISDB-T de 6 MHz (para *P* > 39 dBW)



CUADRO 7

Puntos de discontinuidad para sistemas ISDB-T de 6 MHz

Frecuencia relativa al centro del canal de 6 MHz	Nivel relativo en un ancho de banda de referencia de 4 kHz (dB)
−15,0	−81,4
−4,36	−81,4
−3,00	−58,4
−2,86	−51,4
−2,79	−31,4
+2,79	−31,4
+2,86	−51,4
+300	−58,4
+4,36	−81,4
+15,00	−81,4

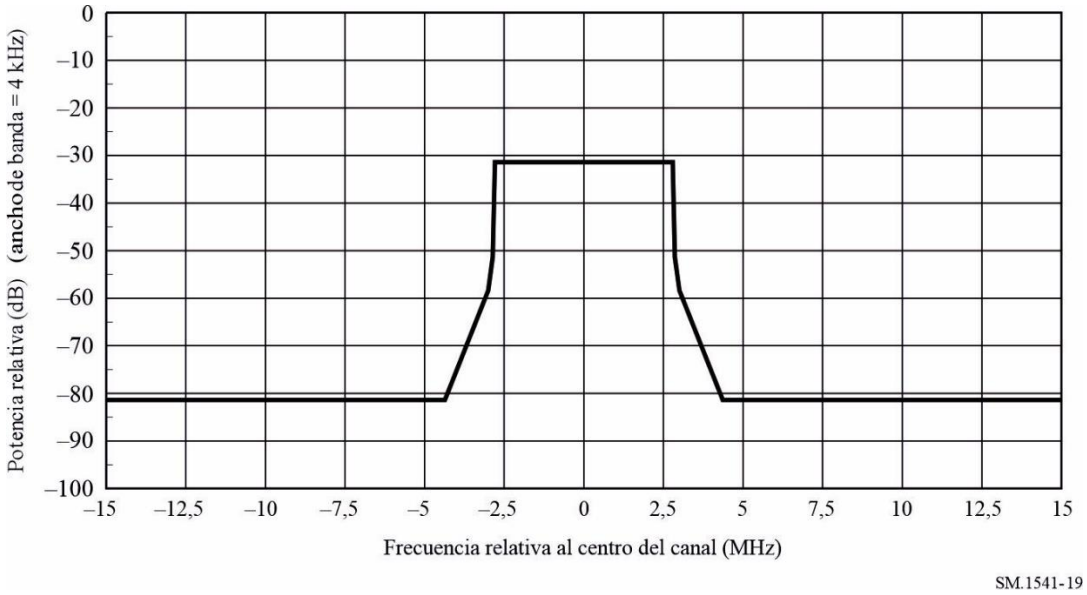
1.3 Sistemas DTMB dispuestos en canales de 6 MHz

En el caso de los sistemas DTMB de 6 MHz, el dominio fuera de banda varía entre ±3 MHz (es decir, ±0,5 × 6 MHz) y ±15 MHz (es decir, ±2,5 × 6 MHz) con respecto al centro del canal.

La máscara de límites espectrales para el sistema DTMB de 6 MHz se muestra en la Fig. 19. Los puntos de discontinuidad se indican en el Cuadro 8. El nivel de potencia relativa se define en un ancho de banda de referencia de 4 kHz. El nivel de referencia de 0 dB corresponde a la potencia media de salida medida en el ancho de banda del canal. Estos límites de emisiones se aplican cuando la potencia del transmisor es superior a 39 dBW.

FIGURA 19

Máscara de límites espectrales para el sistema D dispuesto en canales de 6 MHz (DTMB)



CUADRO 8

Puntos de discontinuidad correspondientes a la Fig. 19 para el sistema D dispuesto en canales de 6 MHz (DTMB)

Frecuencia relativa al centro del canal de 6 MHz (MHz)	Nivel relativo en un ancho de banda de referencia de 4 kHz (dB)
−15	−85
−9	−85
−4,5	−85
−3,15	−73
−2,85	−31,4
2,85	−31,4
3,15	−73
4,5	−85
9	−85
15	−85

1.4 Otros sistemas de televisión digital de 6 MHz

Los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para otros sistemas de televisión digital de 6 MHz, deben basarse en las reglamentaciones nacionales de los países que utilicen dichos sistemas.

2 Máscaras espectrales para sistemas de televisión digital y analógica con canalizaciones de 7 y 8 MHz

2.1 Sistemas de televisión analógica

En las Figs. 20, 21 y 22 se muestran las máscaras del límite espectral para sistemas de televisión analógicos. Se utiliza un esquema genérico aplicable a los tipos siguientes de sistemas:

– televisión analógica de 7 MHz, modulación negativa, banda lateral residual (BLR) de 0,75 MHz;

– televisión analógica de 8 MHz, modulación negativa, BLR de 0,75 y 1,25 MHz;

– televisión analógica de 8 MHz, modulación positiva, BLR de 0,75 y 1,25 MHz.

Cada gráfico representa los límites espectrales de transmisores con gamas de potencia de salida entre 39 dBW y 50 dBW. Asociado a cada gráfico se presenta un cuadro de puntos de discontinuidad y un cuadro de valores de puntos extremos, junto a los correspondientes niveles de no esenciales, para una gama de potencias de salida de los transmisores.

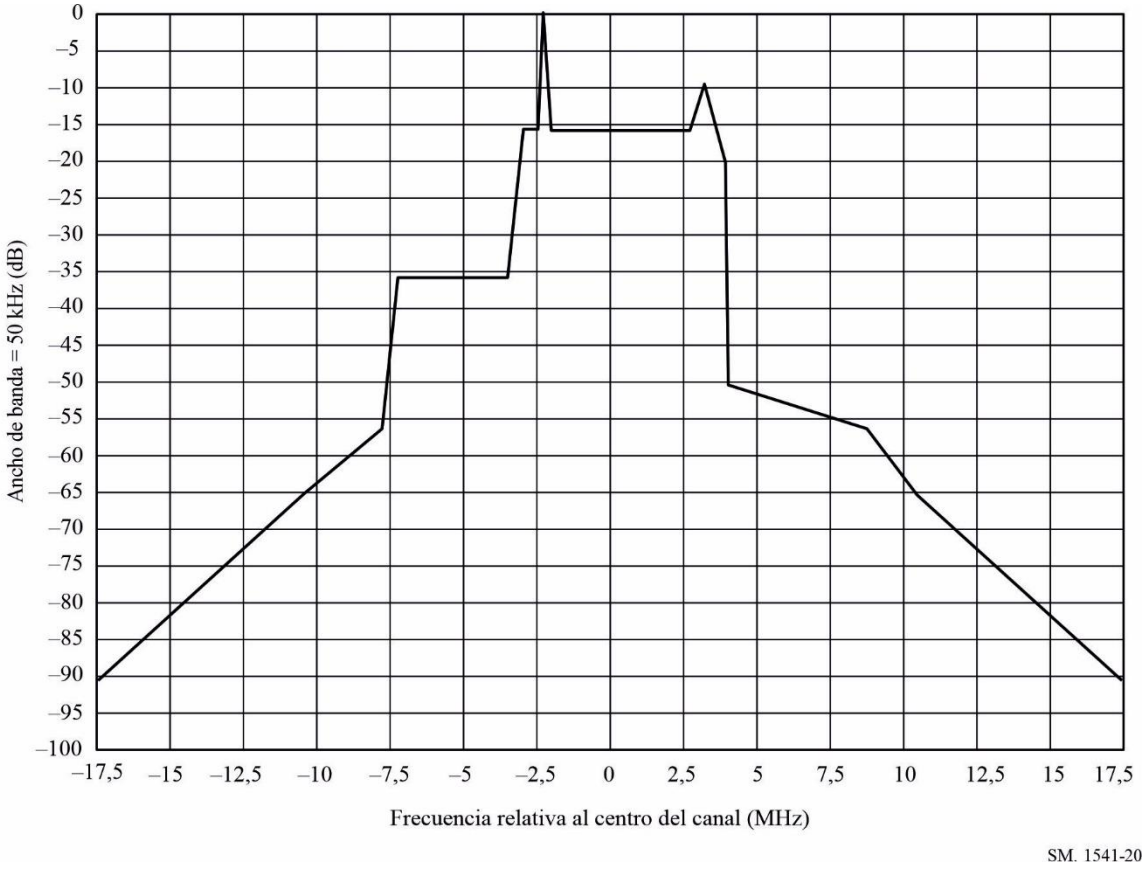
Para televisión analógica de 7 MHz, el dominio fuera de banda se extiende desde ±3,5 MHz (es decir, ±0,5 × 7 MHz) hasta ±17,5 MHz (es decir, ±2,5 × 7 MHz).

Para televisión analógica de 8 MHz, el dominio fuera de banda se extiende desde ±4 MHz (es decir, ±0,5 × 8 MHz) hasta ±20 MHz (es decir, ±2,5 × 8 MHz).

Para televisión analógica de 7 MHz y de 8 MHz, a fin de medir los niveles de las emisiones no deseadas, se utiliza un ancho de banda de medición de 50 kHz. El nivel de referencia de 0 dB se corresponde con la potencia de sincronización de cresta para sistemas de televisión con modulación negativa, o con la potencia blanca de cresta para sistemas de televisión con modulación positiva. Se supone que la potencia media más elevada para modulación negativa es 2,5 dB inferior a la potencia de sincronización de cresta, y para una modulación positiva se supone que es 1,2 dB inferior a la potencia blanca de cresta.

FIGURA 20

Máscara del límite espectral para la televisión analógica de 7 MHz, modulación negativa, BLR de 0,75 MHz (para *P* = 39 a 50 dBW)



El Cuadro 9 proporciona los puntos de discontinuidad correspondientes al gráfico de la Fig. 20 para la televisión analógica de 7 MHz, modulación negativa y BLR de 0,75 MHz.

CUADRO 9

Puntos de discontinuidad para la televisión analógica de 7 MHz, modulación negativa y BLR de 0,75 MHz

Frecuencia relativa a la frecuencia portadora de vídeo	Frecuencia relativa al centro del canal de 7 MHz	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 50 kHz (dB)
−15,25	−17,5	−90,5
−8,25	−10,5	−65,5
−5,5	−7,75	−56
−5	−7,25	−36
−1,25	−3,5	−36
−0,75	−3	−16
−0,18	−2,43	−16
0	−2,25	0
0,18	−2,07	−16

CUADRO 9 (*fin*)

Frecuencia relativa a la frecuencia portadora de vídeo	Frecuencia relativa al centro del canal de 7 MHz	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 50 kHz (dB)
5	2,75	−16
5,435	3,185	−10
5,565	3,315	−10
6,1	3,85	−20
6,28	4,03	−50
11	8,75	−56
12,75	10,5	−65,5
19,75	17,5	−90,5

El Cuadro 10 proporciona los valores de los puntos extremos que deben utilizarse junto con el Cuadro 9 y la Fig. 20, y que se aplican a una gama de potencias de salida del transmisor para la televisión analógica de 7 MHz, modulación negativa y BLR de 0,75 MHz.

CUADRO 10

Valores de los puntos extremos para la televisión analógica de 7 MHz, modulación negativa y BLR de 0,75 MHz

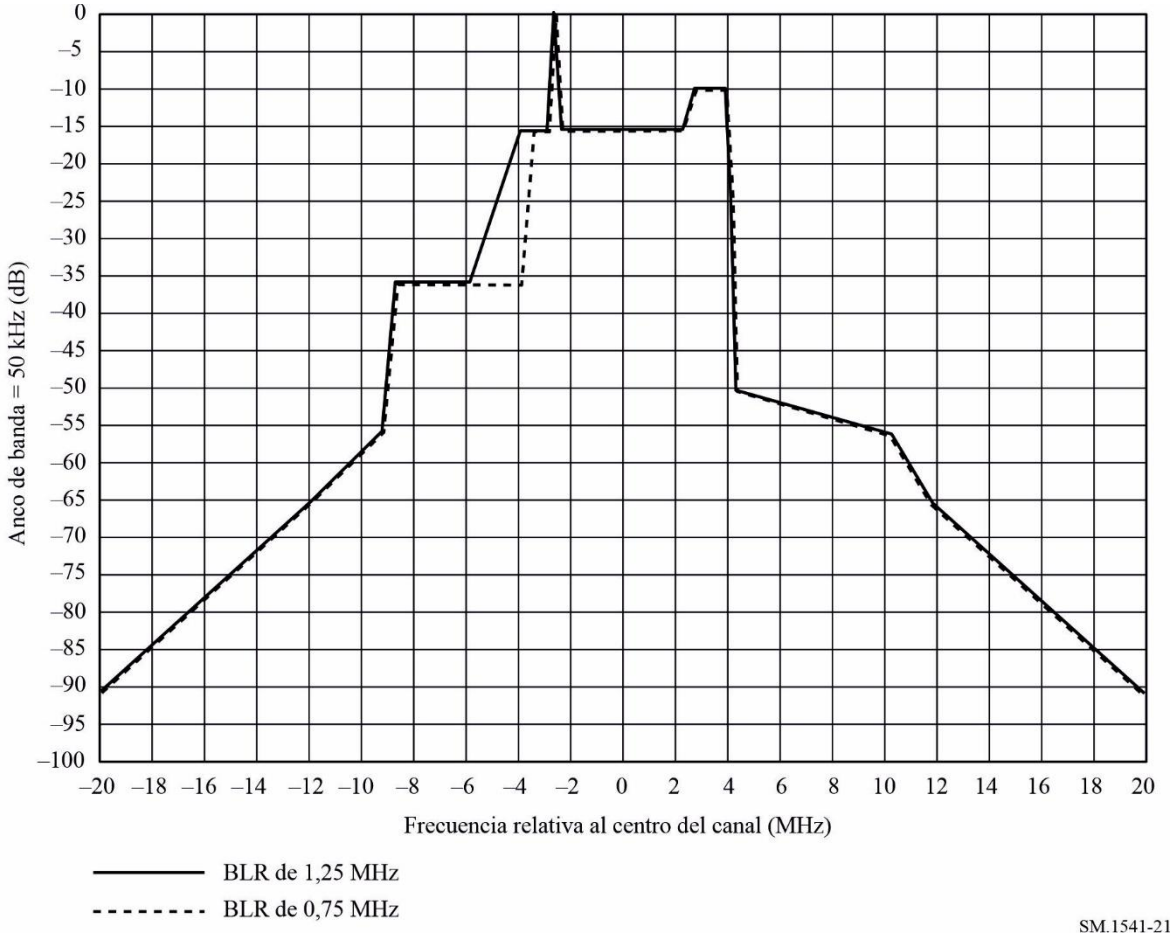
Valor del punto extremo[(1)] (ancho de banda de medición de 50 kHz) (dB)	Gama de potencia (dBW)	Nivel correspondiente de no esenciales (en un ancho de banda de medición de 100 kHz)
$-80{,}5 - (P - 9)$	$P \leq 9$	−36 dBm
–80,5	$9 < P \leq 29$	75 dBc
$-80{,}5 - (P - 29)$	$29 < P \leq 39$	−16 dBm
–90,5	$39 < P \leq 50$	85 dBc
$-90{,}5 - (P - 50)$	$50 < P$	−5 dBm

(1) El valor del punto extremo está sujeto a un límite superior a 65,5 dB.

El Cuadro 11 proporciona los puntos de discontinuidad correspondientes al gráfico de la Fig. 21 para televisión analógica de 8 MHz, modulación negativa y BLR de 0,75 MHz y 1,25 MHz.

FIGURA 21

Máscara del límite espectral para la televisión analógica de 8 MHz, modulación negativa (para *P* = 39 a 50 dBW)



CUADRO 11

Puntos de discontinuidad para la televisión analógica de 8 MHz, modulación negativa y BLR de 0,75 MHz y 1,25 MHz

Frecuencia relativa a la frecuencia portadora de vídeo	Frecuencia relativa al centro del canal de 8 MHz	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 50 kHz y BLR de 0,75 MHz (dB)	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 50 kHz y BLR de 1,25 MHz (dB)
−17,25	−20	−90,5	−90,5
−9,25	−12	−65,5	−65,5
−6,5	−9,25	−56	−56
−6	−8,75	−36	−36
−3	−5,75	−36	−36
−1,25	−4	−36	−16
−0,75	−3,5	−16	−16
−0,18	−2,93	−16	−16
0	−2,75	0	0
0,18	−2,57	−16	−16

CUADRO 11 (*fin*)

Frecuencia relativa a la frecuencia portadora de vídeo	Frecuencia relativa al centro del canal de 8 MHz	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 50 kHz y BLR de 0,75 MHz (dB)	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 50 kHz y BLR de 1,25 MHz (dB)
5	2,25	−16	−16
5,435	2,685	−10	−10
6,565	3,815	−10	−10
6,802	4,052	−25	−25
6,94	4,19	−50	−50
13	10,25	−56	−56
14,75	12	−65,5	−65,5
22,75	20	−90,5	−90,5

El Cuadro 12 proporciona los valores de los puntos extremos que deben utilizarse conjuntamente con el Cuadro 11 y la Fig. 21, y que se aplican a una gama de potencias de salida del transmisor para la televisión analógica de 8 MHz y modulación negativa.

CUADRO 12

Valores de los puntos extremos para la televisión analógica de 8 MHz y modulación negativa

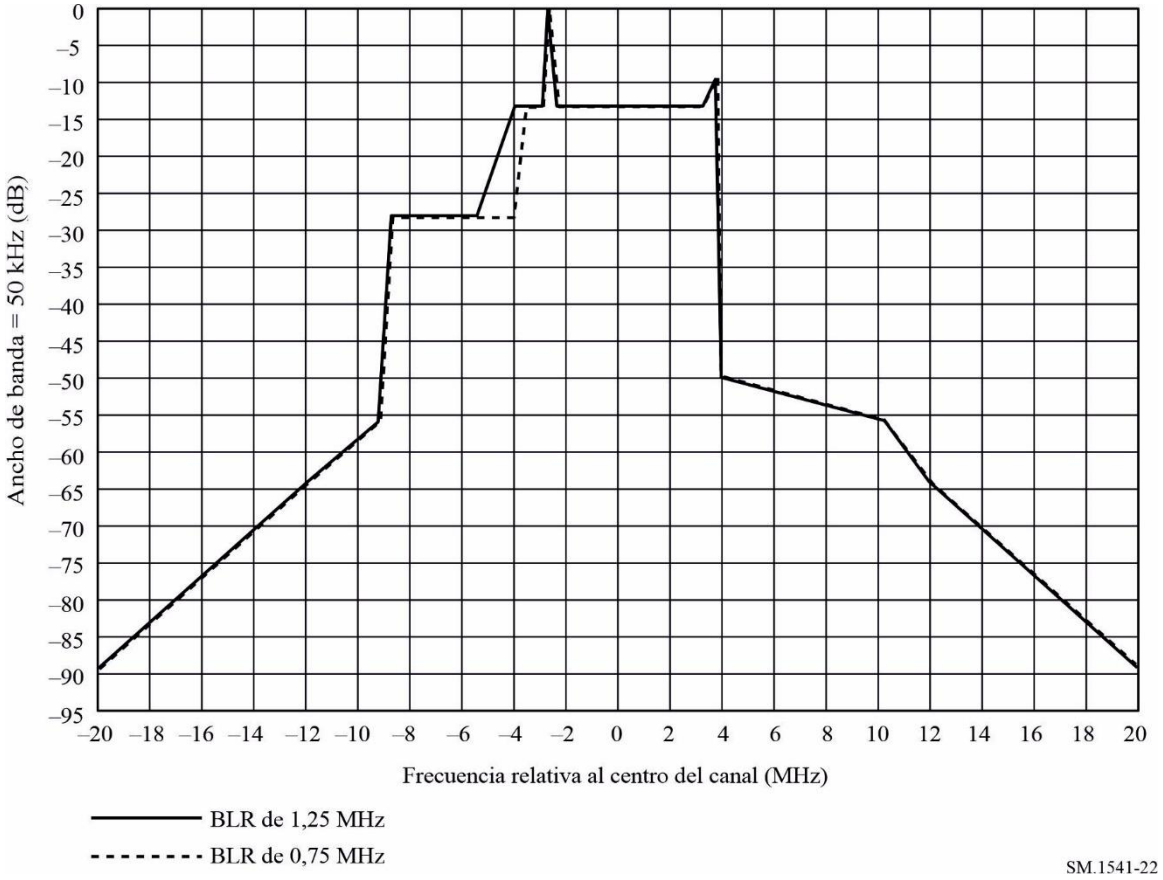
Valor del punto extremo[(1)] (ancho de banda de medición de 50 kHz) (dB)	Gama de potencia (dBW)	Nivel correspondiente de no esenciales (en un ancho de banda de medición de 100 kHz)
$-80{,}5 - (P - 9)$	$P \leq 9$	−36 dBm
–80,5	$9 < P \leq 29$	75 dBc
$-80{,}5 - (P - 29)$	$29 < P \leq 39$	−16 dBm
–90,5	$39 < P \leq 50$	85 dBc
$-90{,}5 - (P - 50)$	$50 < P$	−5 dBm

(1) El valor del punto extremo está sujeto a un límite superior a 65,5 dB.

El Cuadro 13 proporciona los puntos de discontinuidad correspondientes al gráfico de la Fig. 22 para la televisión analógica de 8 MHz, modulación positiva y BLR de 0,75 MHz y 1,25 MHz.

FIGURA 22

Máscara del límite espectral para la televisión analógica de 8 MHz, modulación positiva (para *P* = 39 a 50 dBW)



CUADRO 13

Puntos de discontinuidad para la televisión analógica de 8 MHz, modulación positiva y BLR de 0,75 MHz y de 1,25 MHz

Frecuencia relativa a la frecuencia portadora de vídeo	Frecuencia relativa al centro del canal de 8 MHz	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 50 kHz y BLR de 0,75 MHz (dB)	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 50 kHz y BLR de 1,25 MHz (dB)
−17,25	−20	−89,2	−89,2
−9,25	−12	−64,2	−64,2
−6,5	−9,25	−56	−56
−6	−8,75	−28	−28
−2,7	−5,45		−28
−1,25	−4	−28	−13
−0,75	−3,5	−13	−13
−0,18	−2,93	−13	−13
0	−2,75	0	0
0,18	−2,57	−13	−13
6	3,25	−13	−13

CUADRO 13 (*fin*)

Frecuencia relativa a la frecuencia portadora de vídeo	Frecuencia relativa al centro del canal de 8 MHz	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 50 kHz y BLR de 0,75 MHz (dB)	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 50 kHz y BLR de 1,25 MHz (dB)
6,435	3,685	−10	−10
6,565	3,815	−10	−10
6,75	4	−50	−50
13	10,25	−56	−56
14,75	12	−64,2	−64,2
22,75	20	−89,2	−89,2

El Cuadro 14 proporciona los valores de los puntos extremos que deben utilizarse conjuntamente con el Cuadro 13 y la Fig. 22, y que se aplican a una gama de potencias de salida del transmisor para la televisión analógica de 8 MHz y modulación positiva.

CUADRO 14

Valores de los puntos extremos para televisión analógica de 8 MHz y modulación positiva

Valor del punto extremo[1] (ancho de banda de medición de 50 kHz) (dB)	Gama de potencia (dBW)	Nivel correspondiente de no esenciales (en un ancho de banda de medición de 100 kHz)
$-79{,}2 - (P - 9)$	$P \leq 9$	−36 dBm
−79,2	$9 < P \leq 29$	75 dBc
$-79{,}2 - (P - 29)$	$29 < P \leq 39$	−16 dBm
−89,2	$39 < P \leq 50$	85 dBc
$-89{,}2 - (P - 50)$	$50 < P$	−5 dBm

[1] El valor del punto extremo está sujeto a un límite superior a 64,2 dB.

2.2 Sistemas de televisión digital

2.2.1 Sistemas DVB-T de 7 y 8 MHz

Para televisión digital de 7 MHz, el dominio fuera de banda se extiende desde ±3,5 MHz (es decir, ±0,5 × 7 MHz) hasta ±17,5 MHz (es decir, ±2,5 × 7 MHz).

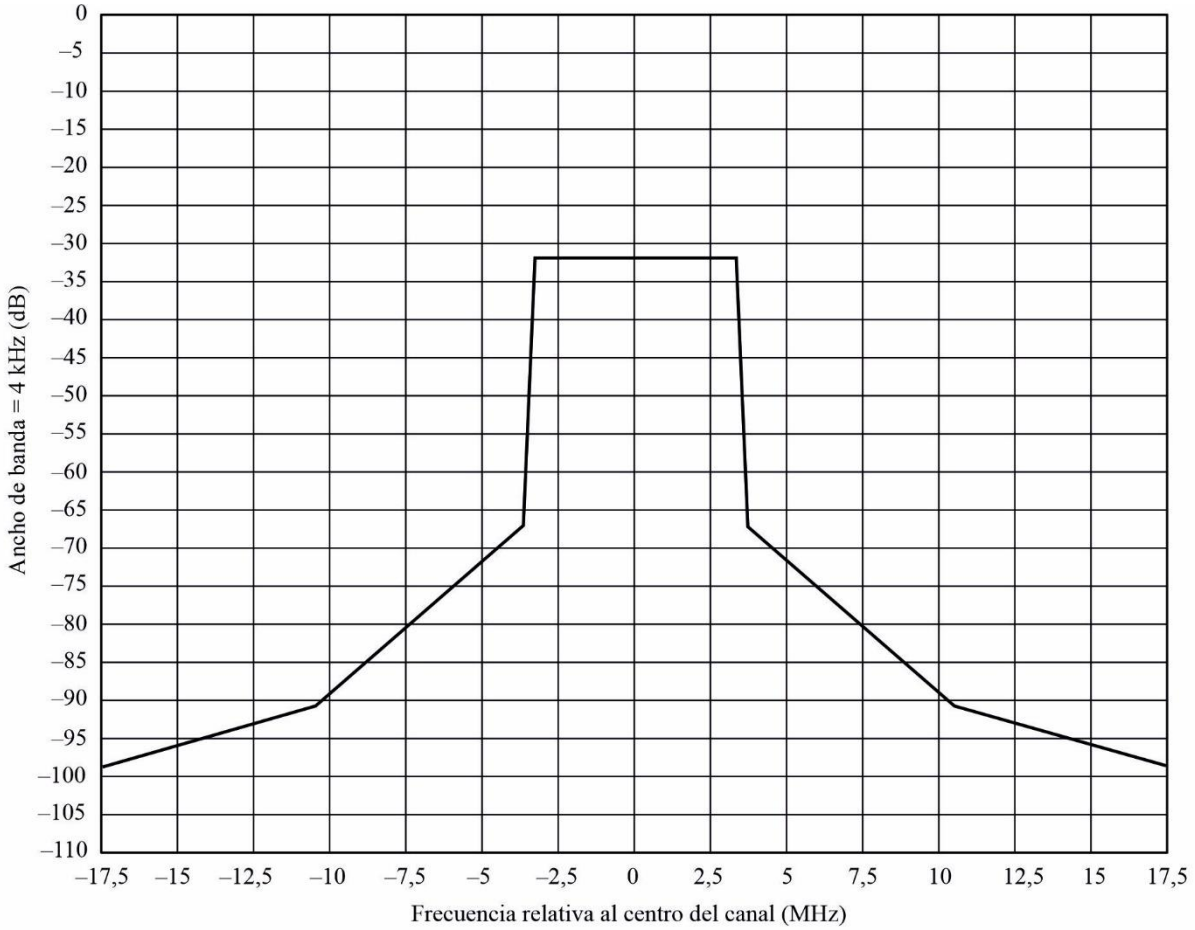
Para televisión digital de 8 MHz, el dominio fuera de banda se extiende desde ±4 MHz (es decir, ±0,5 × 8 MHz) hasta ±20 MHz (es decir, ±2,5 × 8 MHz).

Para televisión digital de 7 MHz y de 8 MHz, a fin de medir los niveles de emisiones no deseadas, se utiliza un ancho de banda de medición de 4 kHz. El nivel de referencia de 0 dB se corresponde con la potencia de salida media medida en el ancho de banda del canal.

En las Figs. 23 y 24 se muestran máscaras de límites espectrales para los sistemas DVB-T de 7 MHz y 8 MHz respectivamente. Cada gráfico representa los límites espectrales para transmisores con una gama de potencia de salida comprendida entre 39 dBW y 50 dBW. Asociado a cada gráfico se presenta un cuadro con los puntos de discontinuidad y un cuadro con valores de puntos extremos y valores próximos a puntos extremos, junto con los correspondientes niveles de no esenciales, para una gama de potencias de salida del transmisor.

FIGURA 23

Máscara del límite espectral para los sistemas DVB-T de 7 MHz (para *P* = 39 a 50 dBW)



El Cuadro 15 proporciona los puntos de discontinuidad correspondientes a la Fig. 23 para los sistemas DVB-T de 7 MHz.

CUADRO 15

Puntos de discontinuidad para los sistemas DVB-T de 7 MHz

Frecuencia relativa al centro del canal de 7 MHz	Nivel relativo en un ancho de banda de medición de 4 kHz (dB)
−17,5	−99
−10,5	−91
−3,7	−67,2
−3,35	−32,2
3,35	−32,2
3,7	−67,2
10,5	−91
17,5	−99

El Cuadro 16 proporciona los valores del punto extremo y valores próximos al punto extremo que deben utilizarse conjuntamente con la Fig. 23 y el Cuadro 15, y que se aplican a una gama de potencias de salida del transmisor para los sistemas DVB-T de 7 MHz.

CUADRO 16

Valores de los puntos extremos y valores próximos al punto extremo para los sistemas DVB-T de 7 MHz

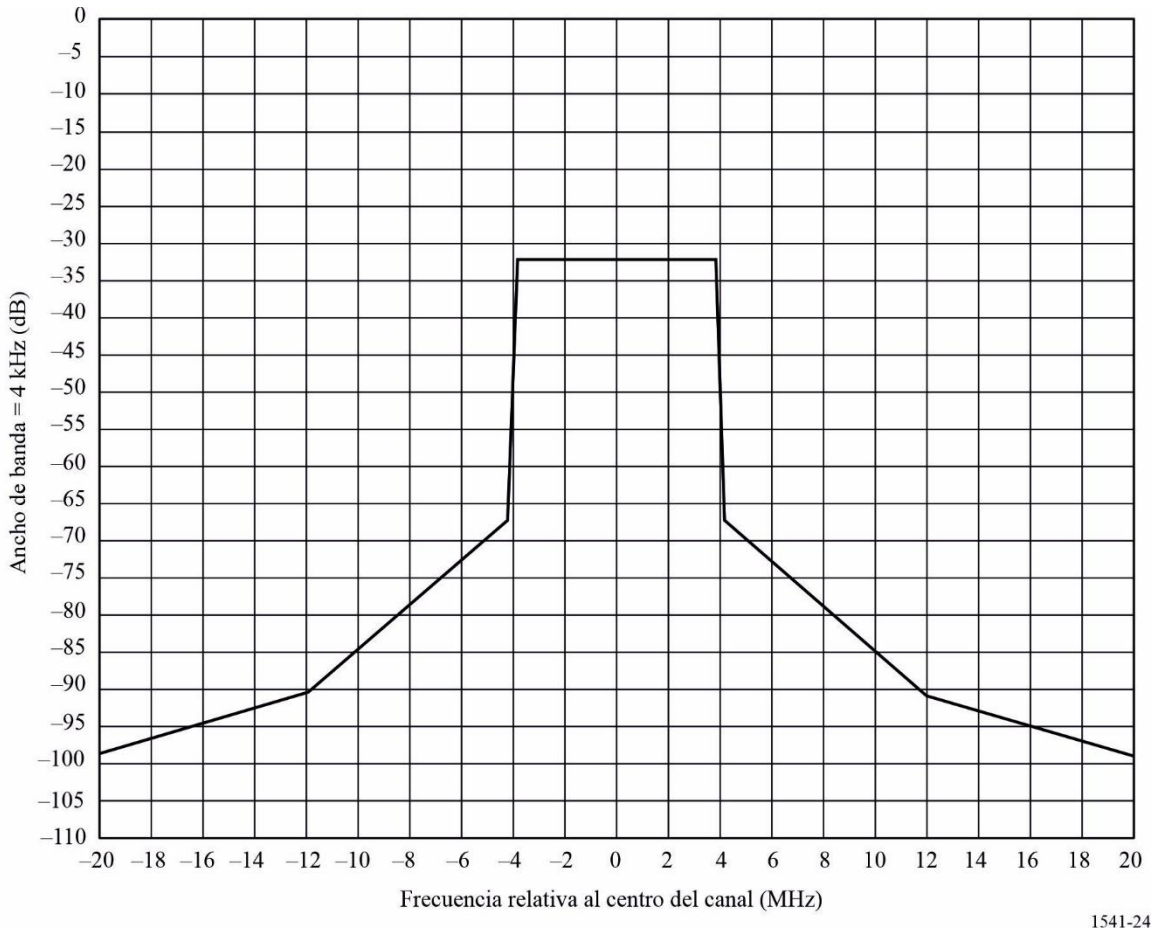
Valor del punto extremo[1] (ancho de banda de medición de 4 kHz) (dB)	Gama de potencia (dBW)	Nivel correspondiente de no esenciales (en un ancho de banda de medición de 100 kHz)
$-89 - (P - 9)$	$P \leq 9$	−36 dBm
–89	$9 < P \leq 29$	75 dBc
$-89 - (P - 29)$	$29 < P \leq 39$	−16 dBm
–99	$39 < P \leq 50$	85 dBc
$-99 - (P - 50)$	$50 \leq P$	−5 dBm

(1) El valor del punto próximo al extremo es 8 dB superior al valor del punto extremo, estando todos los valores sujetos a un límite superior a −67,2 dB.

El Cuadro 17 proporciona los puntos de discontinuidad correspondientes a la Fig. 24 para los sistemas DVB-T de 8 MHz.

FIGURA 24

Máscara del límite espectral para los sistemas DVB-T de 8 MHz (para *P* = 39 a 50 dBW)



CUADRO 17

Puntos de discontinuidad para los sistemas DVB-T de 8 MHz

Frecuencia relativa al centro del canal de 8 MHz	Nivel relativo en el ancho de banda de medición de 4 kHz (dB)
–20	−99
–12	−91
–4,2	−67,8
–3,81	−32,8
3,81	−32,8
4,2	−67,8
12	−91
20	−99

El Cuadro 18 proporciona el valor para el punto extremo y los valores próximos al punto extremo que deben utilizarse conjuntamente con la Fig. 24 y el Cuadro 17 y que se aplican a una gama de potencias de salida del transmisor para los sistemas DVB-T de 8 MHz.

CUADRO 18

Valores de los puntos extremos y valores próximos al punto extremo para los sistemas DVB-T de 8 MHz

Valor del punto extremo[1] (ancho de banda de medición de 4 kHz) (dB)	Gama de potencia (dBW)	Nivel correspondiente de no esenciales (en un ancho de banda de 100 kHz)
$-89 - (P - 9)$	$P \leq 9$	−36 dBm
–89	$9 < P \leq 29$	75 dBc
$-89 - (P - 29)$	$29 < P \leq 39$	−16 dBm
−99	$39 < P \leq 50$	85 dBc
$-99 - (P - 50)$	$50 \leq P$	−5 dBm

(1) El valor del punto próximo al extremo es 8 dB superior al valor del punto extremo, estando todos los valores sujetos a un límite superior a −67,8 dB.

2.2.2 Sistemas ISDB-T de 7 y 8 MHz

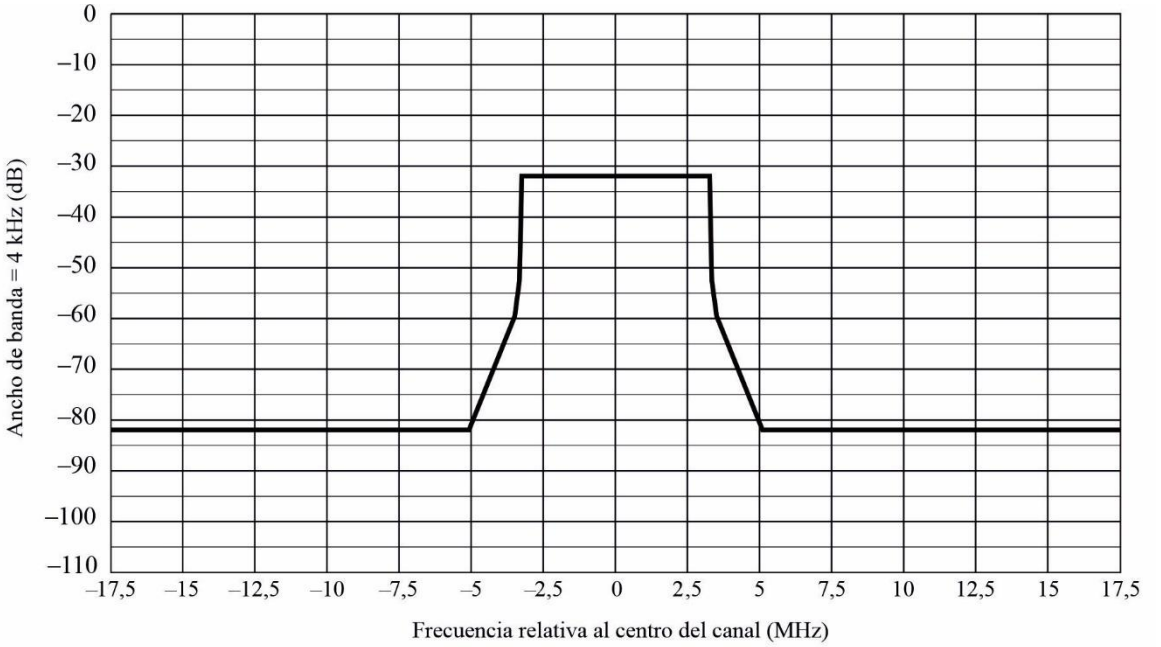
Para televisión digital de 7 MHz, el dominio fuera de banda se extiende desde ±3,5 MHz (es decir ±0,5 × 7 MHz) a ±17,5 MHz (es decir, ±2,5 × 7 MHz).

Para televisión digital de 8 MHz, el dominio fuera de banda se extiende desde ±4 MHz (es decir ±0,5 × 8 MHz) hasta ±20 MHz (es decir, ±2,5 × 8 MHz).

En las Figs. 25 y 26 se muestran las máscaras de límites espectrales para los sistemas ISDB-T de 7 MHz y 8 MHz, respectivamente. En los Cuadros 19 y 20 se indican los puntos de discontinuidad correspondientes a las Figs. 25 y 26, respectivamente. El nivel de potencia relativo se define en un ancho de banda de referencia de 4 kHz. El nivel de referencia de 0 dB corresponde a la potencia media de salida medida en el ancho de banda del canal. Estos límites de emisión se aplican cuando la potencia del transmisor es superior a 39 dBW.

FIGURA 25

Máscara de límites espectrales para los sistemas ISDB-T de 7 MHz (para *P* > 39 dBW)



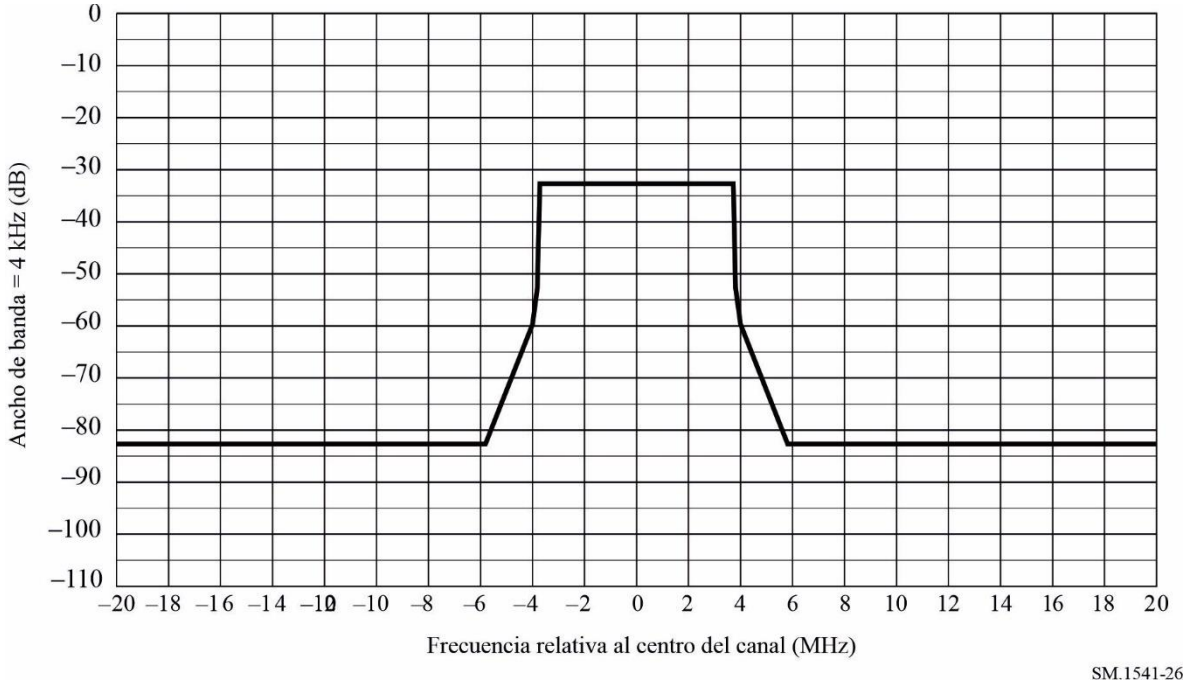
CUADRO 19

Puntos de discontinuidad correspondientes a la Fig. 25 para los sistemas ISDB-T de 7 MHz

Frecuencia relativa al centro del canal de 7 MHz (MHz)	Nivel relativo al ancho de banda de referencia de 4 kHz (dB)
−17,5	−82,1
−5,09	−82,1
−3,50	−59,1
−3,34	−52,1
−3,26	−32,1
+3,26	−32,1
+3,34	−52,1
+3,50	−59,1
+5,09	−82,1
+17,5	−82,1

FIGURA 26

Máscara de límites espectrales para los sistemas ISDB-T de 8 MHz (para *P* > 39 dBW)



CUADRO 20

Puntos de discontinuidad correspondientes a la Fig. 26 para los sistemas ISDB-T de 8 MHz

Frecuencia relativa al centro del canal de 8 MHz (MHz)	Nivel relativo al ancho de banda de referencia de 4 kHz (dB)
−20,0	−82,7
−5,81	−82,7
−4,00	−59,7
−3,81	−52,7
−3,72	−32,7
+3,72	−32,7
+3,81	−52,7
+4,00	−59,7
+5,81	−82,7
+20,0	−82,7

2.2.3 Sistemas DTMB de 7 y 8 MHz

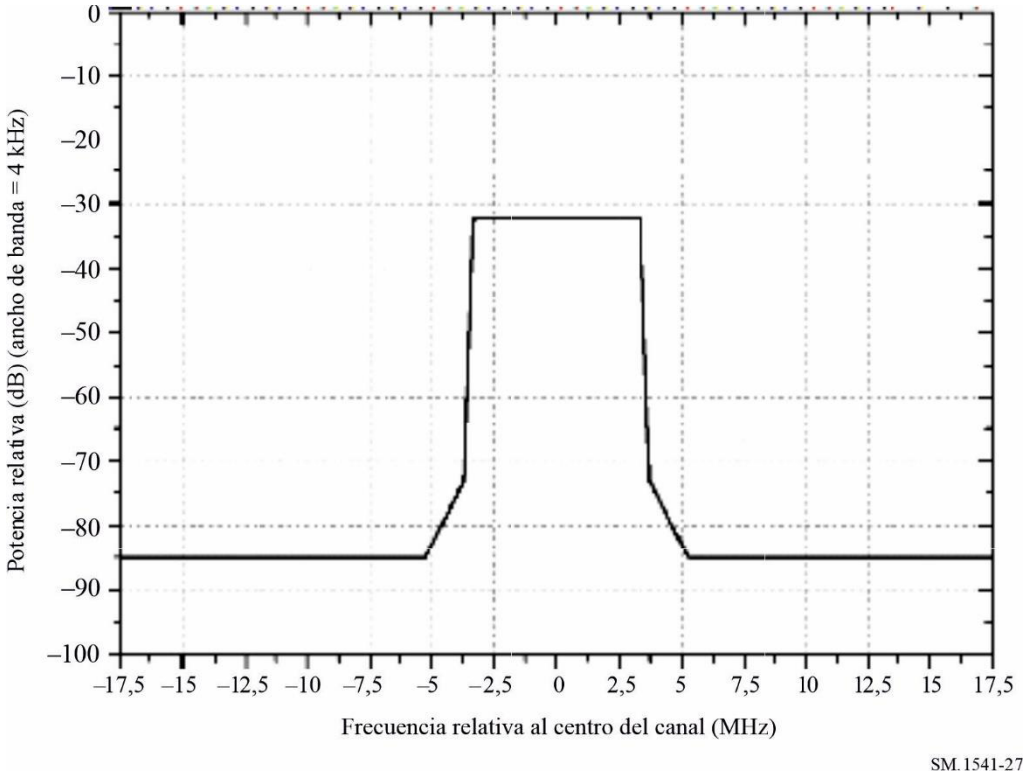
En el caso de la televisión digital de 7 MHz, el dominio fuera de banda se extiende desde ±3,5 MHz (es decir, ±0,5 × 7 MHz) hasta ±17,5 MHz (es decir, ±2,5 × 7 MHz).

En el caso de la televisión digital de 8 MHz, el dominio fuera de banda se extiende desde ±4 MHz (es decir, ±0,5 × 8 MHz) hasta ±20 MHz (es decir, ±2,5 × 8 MHz).

En las Figs. 27 y 28 se muestran las máscaras de límites espectrales para los sistemas DTMB de 7 MHz y 8 MHz, respectivamente. En los Cuadros 21 y 22 se indican los puntos de discontinuidad correspondientes a las Figs. 27 y 28, respectivamente. El nivel de potencia relativo se define en un ancho de banda de referencia de 4 kHz. El nivel de referencia de 0 dB corresponde a la potencia media de salida medida en el ancho de banda del canal. Estos límites de emisión se aplican cuando la potencia del transmisor es superior a 39 dBW.

FIGURA 27

Máscaras de límites espectrales para el sistema DTMB de 7 MHz



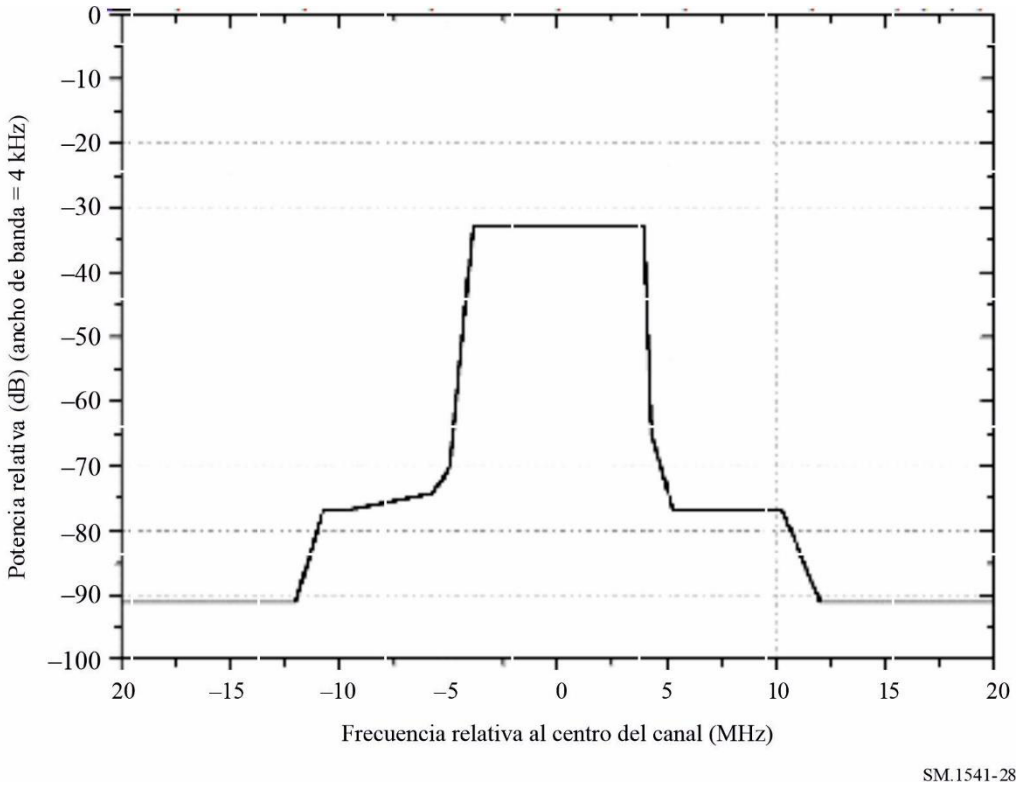
CUADRO 21

Puntos de discontinuidad correspondientes a la Fig. 27 para el sistema DTMB de 7 MHz

Frecuencia relativa al centro del canal de 7 MHz (MHz)	Nivel relativo al ancho de banda de referencia de 4 kHz (dB)
−17,5	−85
−10,5	−85
−5,25	−85
−3,7	−73
–3,33	−32,1
+3,33	−32,1
+3,7	−73
+5,25	−85
+10,5	−85
+17,5	−85

FIGURA 28

Máscaras de límites espectrales para el sistema DTMB de 8 MHz



CUADRO 22

Puntos de discontinuidad correspondientes a la Fig. 28 para el sistema DTMB de 8 MHz

Frecuencia relativa a la frecuencia central (MHz)	Nivel relativo (dB)
−20	−91
−12	−91
−10,75	−76,9
−9,75	−76,9
−5,75	−74,2
−4,94	−69,9
−3,9	−32,8
+3,9	−32,8
+4,25	−64,9
+5,25	−76,9
+6,25	−76,9
+10,25	−76,9
+12	−91
+20	−91

Anexo 7

Límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para sistemas de radiodifusión sonora

Este Anexo proporciona los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda que deben aplicarse a la radiodifusión sonora. De acuerdo con el principio de red segura (véase el *recomienda* 4), los límites más estrictos no se ven afectados cuando existen acuerdos especiales para los servicios de radiodifusión por motivos de coordinación y compatibilidad. Los límites más estrictos que se puedan especificar en los acuerdos y normas relevantes deben utilizarse en todos los casos en los que se indique que existe una necesidad especial, y en los que se vea afectado el ámbito de un acuerdo.

1 Radiodifusión sonora con MF en ondas métricas

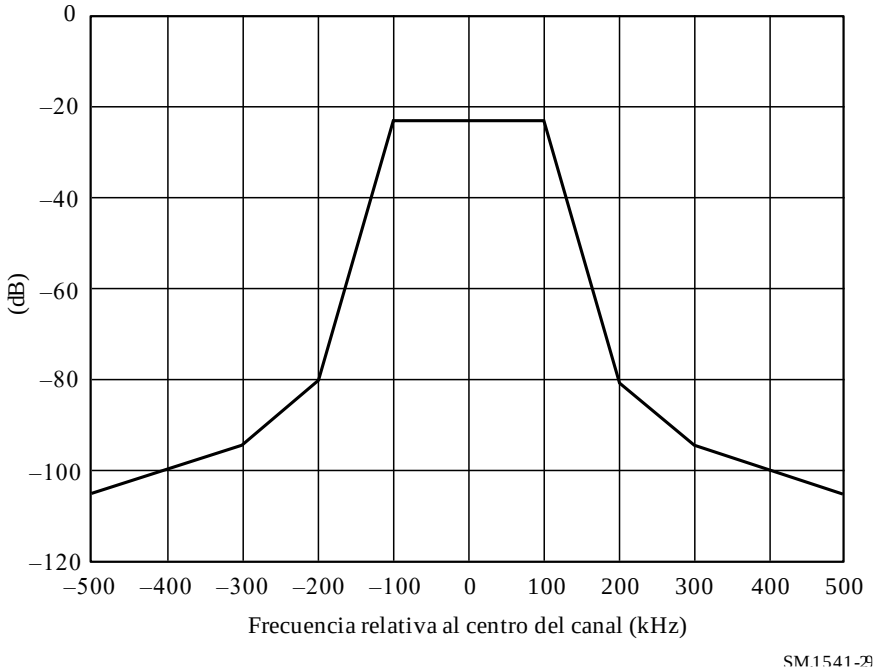
En la Fig. 29 se muestra la máscara del límite espectral para la radiodifusión sonora con MF en ondas métricas. En el Cuadro 23 se presentan los puntos de discontinuidad asociados.

En el caso de la radiodifusión sonora con MF en ondas métricas y canalización de 200 kHz, el dominio fuera de banda se extiende desde ±100 kHz (es decir, ±0,5 × 200 kHz) hasta ±500 kHz (es decir, ±2,5 × 200 kHz).

El nivel de potencia se mide en un ancho de banda de 1 kHz. El nivel de referencia de 0 dB se corresponde con la potencia media de salida medida en el ancho de banda del canal (200 kHz).

FIGURA 29

Máscara del límite espectral para transmisores de radiodifusión sonora con MF en ondas métricas (propuesta preliminar)



CUADRO 23

Puntos de discontinuidad de la máscara de los límites espectrales para la radiodifusión sonora con MF en ondas métricas

Frecuencia relativa al centro del canal de 200 kHz (MHz)	Nivel relativo (dB)
−0,5	−105
−0,3	−94
−0,2	−80
−0,1	−23
0,1	−23
0,2	−80
0,3	−94
0,5	−105

2 Radiodifusión sonora por debajo de 30 MHz

Las emisiones en el dominio fuera de banda para un transmisor de radiodifusión sonora con doble banda lateral o con banda lateral única que funcione por debajo de 30 MHz se estiman a partir de la Recomendación UIT-R SM.328.

2.1 Sistemas Digital Radio Mondiale

En los sistemas Digital Radio Mondiale (DRM), el dominio fuera de banda se extiende:

– para canales de 4,5 kHz, de ±2,25 kHz (es decir, ±0,5 × 4,5 kHz) a ±11,25 kHz (es decir, ±2,5 × 4,5 kHz);

– para canales de 5 kHz, de ±2,5 kHz (es decir, ±0,5 × 5 kHz) a ±12,5 kHz (es decir, ±2,5 × 5 kHz);

– para canales de 9 kHz, de ±4,5 kHz (es decir, ±0,5 × 9 kHz) hasta ±22,5 kHz (es decir, ±2,5 × 9 kHz);

– para canales de 10 kHz, de ±5 kHz (es decir, ±0,5 × 10 kHz) hasta ±25 kHz (es decir, ±2,5 × 10 kHz).

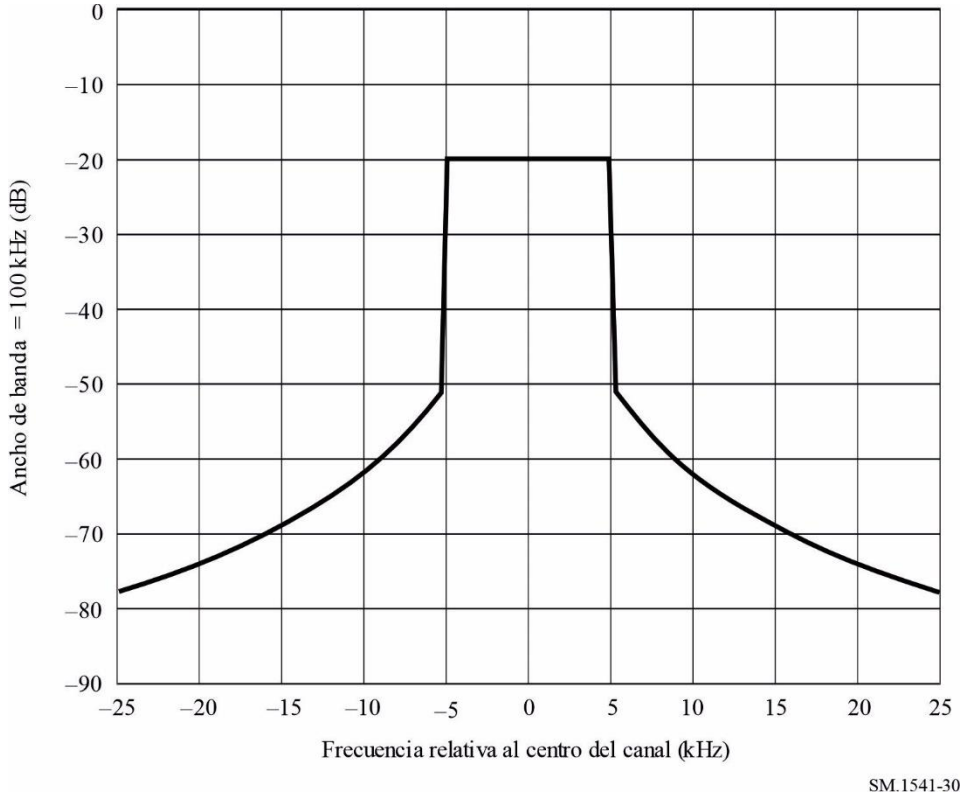
La Recomendación UIT-R BS.1615 – «Parámetros de planificación» para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz (§ 2.2), da orientaciones para definir las curvas de límite espectral para la DRM.

Las máscaras de límites espectrales para los sistemas DRM se calculan conforme a lo indicado en el § 6.3.3 del Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SM.328, utilizando los anchos de banda de canal indicados anteriormente. Esto incluye una atenuación de 30 dB a ±0,53 × ancho de banda del canal; más allá de este punto la curva tiene una pendiente de −12 dB/octava hasta alcanzar los −60 dB. El nivel de potencia relativa se define en un ancho de banda de referencia de 100 Hz. El nivel de referencia 0 dB corresponde a la potencia de salida media medida en el ancho de banda del canal.

En la Fig. 30 se muestra un ejemplo de máscara de límites espectrales para un sistema DRM con canales de 10 kHz.

FIGURA 30

Máscara de límites espectrales para un sistema DRM con canales de 10 kHz



3 Radiodifusión sonora digital

Sistema Digital A

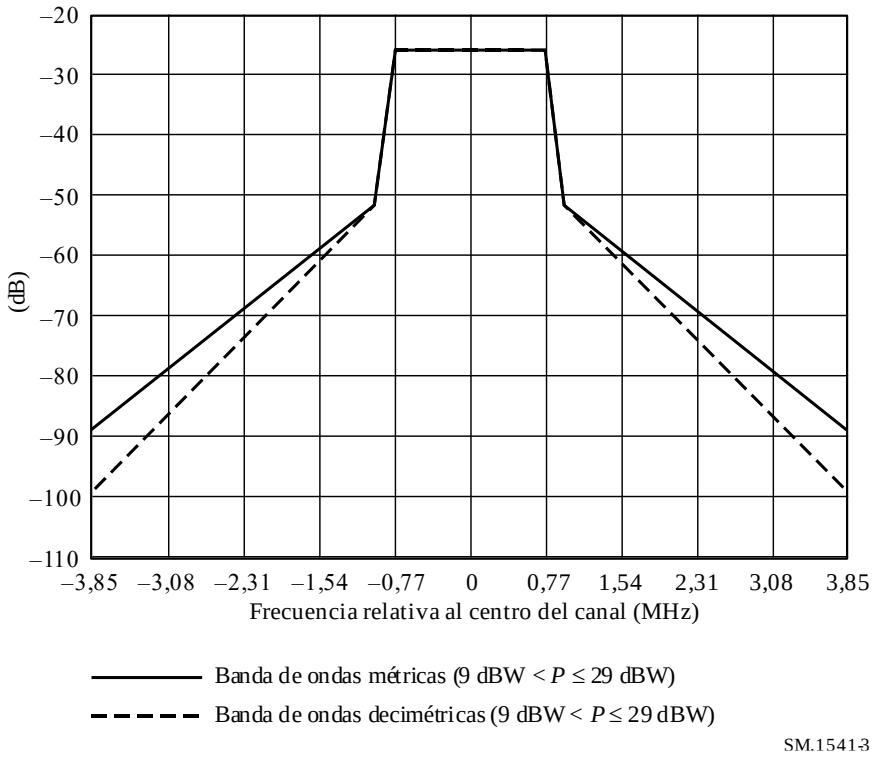
En la Fig. 31 se muestra la máscara del límite espectral para el Sistema Digital A. Los puntos de discontinuidad asociados se muestran en los Cuadros 24 y 25.

Para un Sistema Digital A con canalización de 1,54 MHz, el dominio fuera de banda se extiende desde ±0,77 MHz (es decir, ±0,5 × 1,54 MHz) hasta ±3,85 MHz (es decir, ±2,5 × 1,54 MHz).

Para un Sistema Digital A, se utiliza un ancho de banda de medición de 4 kHz. El nivel de referencia de 0 dB se corresponde con la potencia de salida media medida en el ancho de banda del canal (1,54 MHz).

FIGURA 31

Máscara del límite espectral para el Sistema Digital A
(9 dBW < *P* ≤ 29 dBW)



El Cuadro 25 proporciona los valores de punto extremo que deben utilizarse conjuntamente con el Cuadro 24 y la Fig. 31, y que son aplicables a una gama de potencias de salida del transmisor para el Sistema Digital A.

CUADRO 24

Puntos de discontinuidad de la máscara del límite espectral para el Sistema Digital A y todos los modos de transmisión (9 dBW < *P* ≤ 29 dBW)

Frecuencia relativa al centro del canal de 1,54 MHz (MHz)	**Nivel relativo (dB)**
−3,85	−89
−0,97	−52
−0,77	−26
0,77	−26
0,97	−52
3,85	−89

CUADRO 25

Valores de punto extremo que deben utilizarse conjuntamente con el Cuadro 24

Sistema Digital A funcionando en las bandas 47-68 MHz y 174-240 MHz		
Valor de punto extremo[1] (dB/4 kHz)	**Gama de potencia (dBW)**	**Nivel correspondiente de no esenciales (ancho de banda de medición de 100 kHz)**
−89 − (*P* − 9)	*P* ≤ 9	−36 dBm
–89	9 < *P* ≤ 29	75 dBc
−89 − (*P* − 29)	29 < *P* ≤ 39	−16 dBm
−99	39 < *P* ≤ 50	85 dBc
−99 − (*P* − 50)	50 < *P*	−5 dBm
Sistema Digital A funcionando en la banda 1 452-1 467,5 MHz		
Valor de punto extremo[1] (dB/4 kHz)	**Gama de potencia (dBW)**	**Nivel correspondiente de no esenciales (ancho de banda de medición de 1 MHz)**
−99 − (*P* − 9)	*P* ≤ 9	−36 dBm
–99	9 < *P* ≤ 29	75 dBc
−99 − (*P* − 29)	29 < *P* ≤ 39	−16 dBm
−106	39 < *P* ≤ 50	85 dBc
−106	50 < *P*	−5 dBm

[1] El valor del punto extremo está sujeto a un límite superior de −52 dB y a un límite inferior de −106 dB.

Sistema Digital H

De acuerdo con la Recomendación UIT-R BS.1114, el sistema de radiodifusión sonora y multimedios terrenal digital CDR (Radiocomunicación Digital Convergente) se clasificó como Sistema Digital H.

El Sistema Digital H define seis modos de ocupación del espectro, respectivamente denominados A, B, C, D, E y F. Cada modo define el ancho de banda de la señal digital y la posición de la subbanda activa y la subbanda virtual.

El espectro A contiene una subbanda en la que todas las subportadoras son subportadoras activas. El ancho de banda de la señal del espectro A es de 100 kHz. El espectro B consta de dos subbandas y el ancho de banda de la señal digital total es de 200 kHz. El espectro C está formado por cuatro subbandas en las que las subportadoras de la mitad inferior de la primera subbanda y las subportadoras de la mitad superior de la cuarta subbanda son todas subportadoras activas, mientras que las subportadoras de las segunda y tercera subbandas son todas subportadoras virtuales, por lo que el ancho de banda de la señal digital del espectro C es de 100 kHz. El espectro D contiene cinco subbandas donde las subportadoras de la primera y quinta subbandas son todas subportadoras activas, mientras que las subportadoras de la segunda a la cuarta subbandas son todas subportadoras virtuales, y el ancho de banda de la señal digital del espectro D es de 200 kHz.

La máscara límite de espectro del Sistema Digital H es la que se muestra en las Figuras 32 a 37. El ancho de banda de resolución de la medición de potencia de señal es de 1 kHz; 0 dB indica la potencia total en banda. En los Cuadros 26 a 31 siguientes se muestran los puntos de discontinuidad correspondientes.

FIGURA 32

Máscara espectral del modo de espectro A

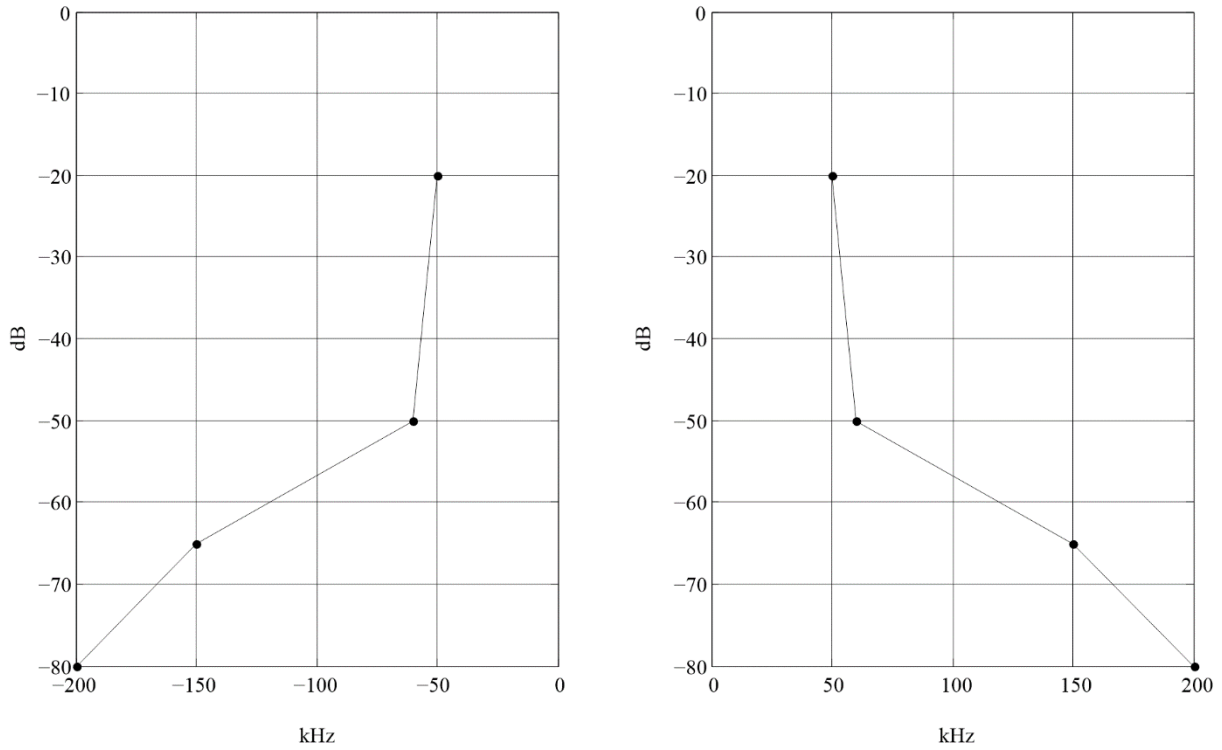


FIGURA 33

Máscara espectral del modo de espectro B

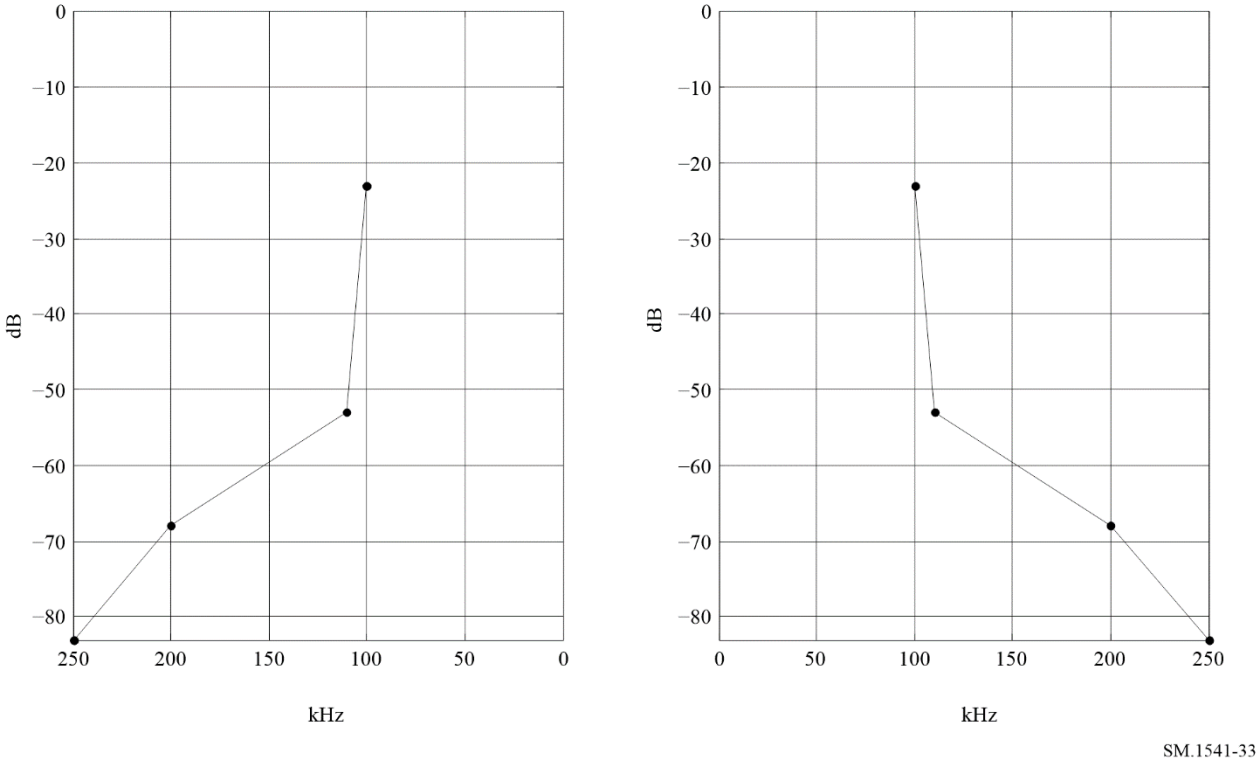


FIGURA 34

Máscara espectral del modo de espectro C

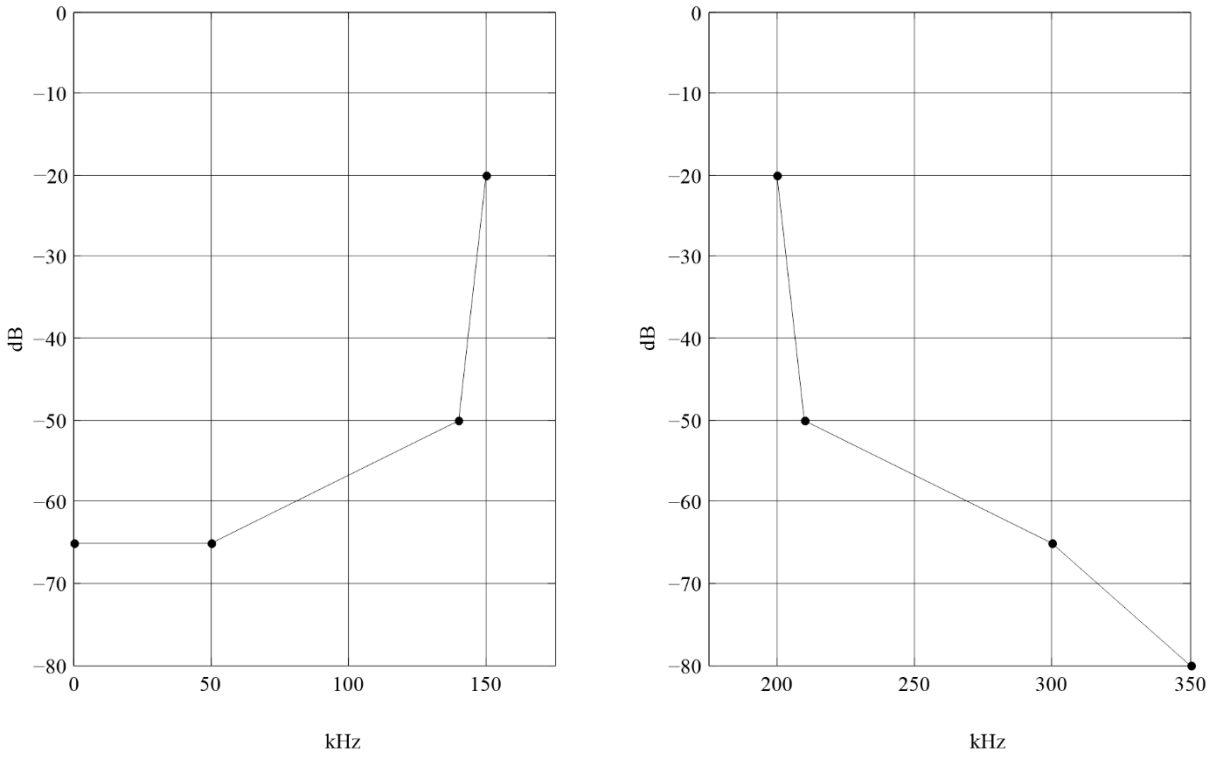


FIGURA 35

Máscara espectral del modo de espectro D

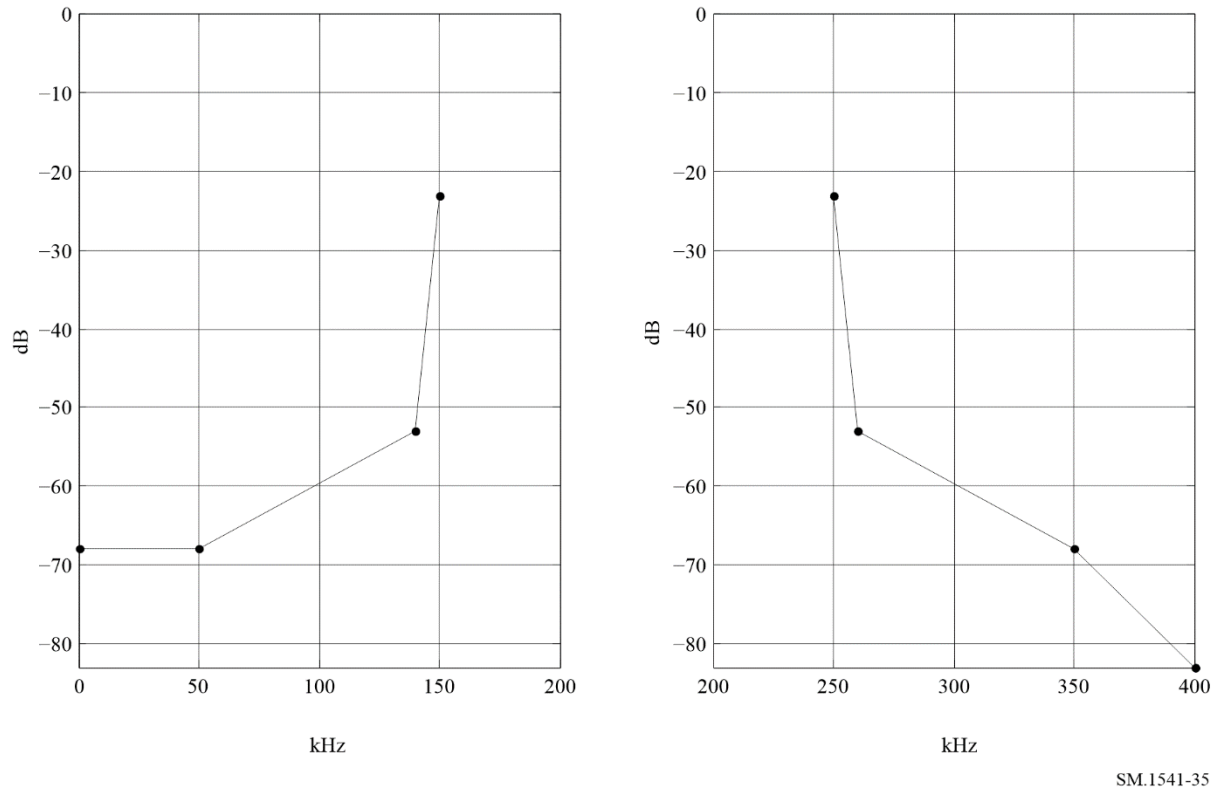


FIGURA 36

Máscara espectral del modo de espectro E

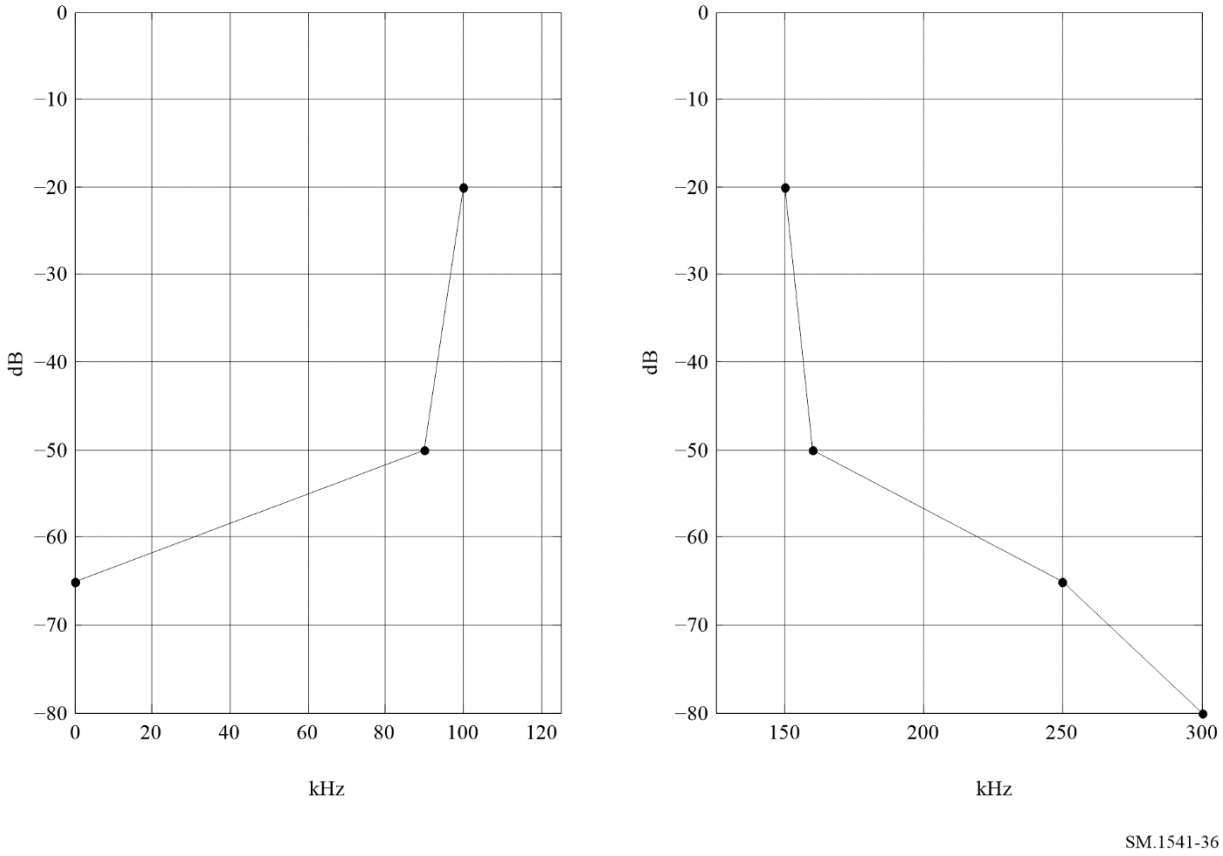
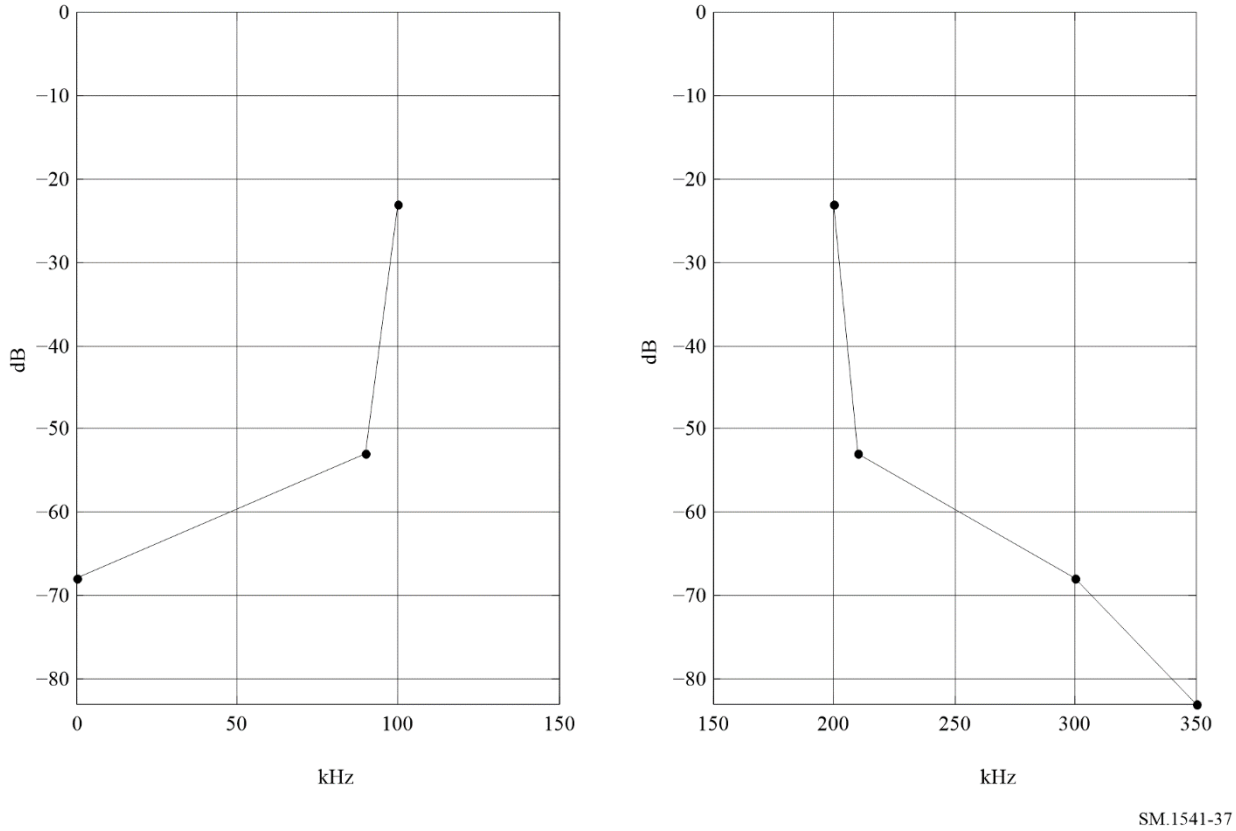


FIGURA 37

Máscara espectral del modo de espectro F



CUADRO 26

Puntos de discontinuidad de la máscara espectral cuando la potencia en banda es 0 dB (Modo de espectro A)

Desplazamiento en frecuencia con respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
−200	−80
−150	−65
−60	−50
−50	−20
50	−20
60	−50
150	−65
200	−80

CUADRO 27

Puntos de discontinuidad de la máscara espectral cuando la potencia en banda es 0 dB (Modo de espectro B)

Desplazamiento en frecuencia con respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
−250	−83
−200	−68
−110	−53
−100	−23
100	−23
110	−53
200	−68
250	−83

CUADRO 28

Puntos de discontinuidad de la máscara espectral cuando la potencia en banda es 0 dB (Modo de espectro C)

Desplazamiento en frecuencia con respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
0	−65
50	−65
140	−50
150	−20
200	−20
210	−50
300	−65
350	−80

CUADRO 29

Puntos de discontinuidad de la máscara espectral cuando la potencia en banda es 0 dB (Modo de espectro D)

Desplazamiento en frecuencia con respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
0	−68
50	−68
140	−53
150	−23
250	−23
260	−53
350	−68
400	−83

CUADRO 30

Puntos de discontinuidad de la máscara espectral cuando la potencia en banda es 0 dB (Modo de espectro E)

Desplazamiento en frecuencia con respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
0	−65
90	−50
100	−20
150	−20
160	−50
250	−65
300	−80

CUADRO 31

Puntos de discontinuidad de la máscara espectral cuando la potencia en banda es 0 dB (Modo de espectro F)

Desplazamiento en frecuencia con respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
0	−68
90	−53
100	−23
200	−23
210	−53
300	−68
350	−83

Anexo 8

Límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para sistemas de radar primarios

1 Introducción

El RR define el «radar primario» como un «Sistema de *radiodeterminación* basado en la comparación entre señales de referencia y señales radioeléctricas reflejadas desde la posición a determinar».

Los radares primarios terrestres se utilizan en el servicio de radionavegación (radares de vigilancia aérea y radares de navegación en aeronaves y barcos), en el servicio de ayudas a la meteorología (radares meteorológicos) y en el servicio de radiolocalización (la mayoría de los restantes radares terrestres). Los radares utilizados en el espacio incluyen los empleados en satélites activos de detección distante de los servicios de investigación espacial (activo) y SETS (activo), así como otros radares del servicio de investigación espacial.

Los límites siguientes no son aplicables en las bandas exclusivas del servicio de radiodeterminación y/o SETS (activo) y del servicio de investigación espacial (activo), sino que se utilizan en las zonas extremas o bordes de la banda. Los límites de las emisiones de los radares primarios en tales bandas exclusivas deben ser objeto de estudios adicionales.

Existen varias categorías de radares primarios que no están incluidos en los límites de las emisiones fuera de banda definidas en este Anexo. Ello incluye los radares de impulsos con potencia de cresta de 1 kW o menor, los radares no pulsantes con una potencia media de 40 W o menor, los radares que funcionan por encima de los 40 GHz, los radares portátiles y los radares con que se equipan los misiles. Estas categorías de radares deberán ser también objeto de estudios adicionales para determinar los límites adecuados.

En todas las fórmulas de este Anexo los anchos de banda (B_N, B_c, B_s, B_d, B_{-40}, B_{rise}, B_{fall}, $B_{rise\&fall}$, B_R) se expresan en hertzios, y la duración de los impulsos y los tiempos de elevación y de caída se expresan en segundos, a menos que se indique lo contrario.

2 Ancho de banda necesario

Es preciso conocer el ancho de banda necesario de un transmisor radar para especificar los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda y la frontera o frecuencia más allá de la cual se aplican los límites de no esenciales.

La Recomendación UIT-R SM.1138, a la que hace referencia el RR, proporciona fórmulas que deben utilizarse para calcular el ancho de banda necesario cuando así lo requiera el RR. Sin embargo, la única fórmula aplicable a sistemas de radar ofrece resultados que pueden variar hasta en un factor de diez en función de una constante elegida por el propio usuario. La Recomendación UIT-R SM.853 recomienda, considerando que las fórmulas de la Recomendación UIT-R SM.1138 son incompletas, numerosas fórmulas suplementarias.

2.1 Impulsos de radar no modulados

La Recomendación UIT-R SM.853 proporciona directrices para determinar el ancho de banda necesario (20 dB inferior al valor de cresta de la envolvente) de impulsos rectangulares y trapezoidales. Para estos sistemas, el ancho de banda necesario, B_N, es la menor de entre:

$$B_N = \frac{1{,}79}{\sqrt{t \cdot t_r}} \text{ ó } \frac{6{,}36}{t} \tag{35}$$

donde t es la duración del impulso (a la amplitud mitad) y t_r es el tiempo de elevación, ambos en segundos[2].

2.2 Otras modulaciones

A continuación se presentan las fórmulas del ancho de banda necesario para radares de impulsos con MF, radares de salto de frecuencia y radares de onda continua, tanto con MF como sin MF. En el caso de radares de impulsos con MF, el ancho de banda necesario (ancho de banda a 20 dB) es superior al caso de impulso trapezoidal simétrico (ecuación (35)) en dos veces la desviación de frecuencia B_c[3]:

$$B_N = \frac{1{,}79}{\sqrt{t \cdot t_r}} + 2B_c \tag{36}$$

En el caso de los radares de salto de frecuencia, la fórmula tiene un término adicional, B_s, que es la gama máxima de frecuencias sobre la que se desplaza la frecuencia portadora:

$$B_N = \frac{1{,}79}{\sqrt{t \cdot t_r}} + 2B_c + B_s \tag{37}$$

Aunque la Recomendación UIT-R SM.1138 no incluye una fórmula para el caso de «emisión de onda continua» (que aquí significa una portadora sin MF), un valor realista del ancho de banda necesario para los radares de onda continua sin MF es función de la tolerancia de la frecuencia y del ruido. En el caso de radares de onda continua con MF, el ancho de banda necesario es dos veces la desviación máxima de frecuencia B_d:

$$B_N = 2B_d \tag{38}$$

2.3 Valores típicos del ancho de banda necesario

El Cuadro 32 muestra el ancho de banda necesario típico y las gamas de valores de los anchos de banda necesarios para cuatro tipos de radares.

---

[2] La duración de un impulso es el tiempo (s) entre los puntos de amplitud del 50% (en tensión). Para los impulsos codificados, la duración de impulso es el intervalo entre los puntos de amplitud al 50% de un chip (subpulso). El tiempo de elevación es el tiempo (s) que tarda el frente del impulso en pasar del 10% al 90% de su máxima amplitud. Para los impulsos codificados, es el tiempo de elevación de un subpulso; si no puede estimarse dicho tiempo de elevación de subpulso, se supone que éste es el 40% del tiempo que se tarda en conmutar de una fase o subpulso al siguiente. Cuando el tiempo de caída del radar es menor que el tiempo de elevación, en estas ecuaciones debe utilizarse el primero en lugar del tiempo de elevación. Utilizando la menor de las dos expresiones en la ecuación (35) se evita que el resultado sea un ancho de banda necesario excesivamente grande cuando el tiempo de elevación es muy corto.

[3] Este valor es la variación total de frecuencia durante el impulso.

CUADRO 32

Tipo de radar	B_N típica (MHz)	Gama de B_N
Radar de radiolocalización fijo	6	20 kHz a 1,3 GHz
Radar de radiolocalización móvil	5,75	250 kHz a 400 MHz
Radar de vigilancia de aeropuerto	6	2,8 MHz a 15 MHz
Radar meteorológico	1	250 kHz a 3,5 MHz

3 Límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para radares primarios

Una de las principales dificultades para establecer los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda genéricos para los radares primarios es la diversidad de sistemas y de formas de onda transmitidas. Los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para radares primarios se basan en el ancho de banda a 40 dB ($B_{–40}$) del espectro de la forma de onda transmitida.

3.1 Fórmulas para el ancho de banda a $B_{–40}$ dB

Dado que la relación entre el ancho de banda a $B_{–40}$ dB y el ancho de banda necesario no suele ser una constante, se necesita una fórmula para el ancho de banda a $B_{–40}$ dB a fin de ajustar la máscara al ancho de banda necesario. Se han definido las siguientes fórmulas para el ancho de banda a $B_{–40}$ dB de los transmisores de radar primarios.

En el caso de radares de impulsos sin MF, incluyendo los radares de espectro ensanchado o de impulsos codificados, el ancho de banda necesario es la menor de:

$$B_{–40} = \frac{K}{\sqrt{t \cdot t_r}} \text{ ó } \frac{64}{t} \tag{39}$$

donde el coeficiente K es 6,2 para radares con potencia de salida mayor de 100 kW y 7,6 para radares de baja potencia y para radares del servicio de radionavegación que funcionan en las bandas[4]

[4] Estos coeficientes, K = 6,2 ó 7,6 y 64, están relacionados con valores teóricos que prevalecerían en caso de impulsos trapezoidales o rectangulares de frecuencia constante respectivamente. Asimismo, en el caso de impulsos trapezoidales, el coeficiente K se aumenta ligeramente para permitir la implementación de las características del dispositivo de salida. En el caso de impulsos rectangulares ideales, el espectro cae a razón de 20 dB por década, lo cual hace que el ancho de banda a 20 dB sea de 6,4/t y que el ancho de banda a 40 dB sea diez veces mayor, es decir, 64/t. Para desincentivar la utilización de impulsos con tiempos de elevación y caída acentuados, no se permite ningún margen. El espectro de los impulsos trapezoidales cae en primer lugar a razón de 20 dB por década y, finalmente, a 40 dB por década. Si la relación entre el tiempo de elevación y el ancho del impulso es superior a 0,008 los puntos a 40 dB se encuentran en la zona de pendiente de 40 dB por década, en cuyo caso $B_{–40}$ sería:

$$\frac{5,7}{\sqrt{t \cdot t_r}}$$

Para tener en cuenta las imperfecciones inevitables de las implementaciones, la máscara debe basarse en valores que sean como mínimo los siguientes:

$$\frac{6,2}{\sqrt{t \cdot t_r}} \text{ ó } \frac{7,6}{\sqrt{t \cdot t_r}}$$

de 2 900-3 100 MHz y de 9 200-9 500 MHz. La última expresión se aplica si el tiempo de elevación, t_r, es menor de aproximadamente 0,0094t cuando K es 6,2 o, si dicho tiempo es menor de aproximadamente 0,014t cuando K es 7,6.

En el caso de radares de impulsos con MF, el ancho de banda es B_{-40} dB:

$$B_{-40} = 1{,}5\left\{B_C + \sqrt{\pi}\cdot\left[\ln\left(B_C\cdot\tau\right)\right]^{0{,}53}\cdot\left[Min(B_{rise}, B_{fall}, B_{rise\&\,fall}) + Max(B_{rise}, B_{fall}, B_{rise\&\,fall})\right]\right\} \quad (40)$$

donde:

$$B_{rise} = \frac{1}{\sqrt{\tau\cdot t_r}} \quad \text{para tener en cuenta el tiempo de elevación} \quad (41)$$

$$B_{fall} = \frac{1}{\sqrt{\tau\cdot t_f}} \quad \text{para tener en cuenta el tiempo de caída} \quad (42)$$

$$B_{rise\&\,fall} = \frac{1}{\sqrt[3]{\tau\cdot t_r\cdot t_f}} \quad \text{para tener en cuenta la combinación de tiempo de elevación y tiempo de caída} \quad (43)$$

τ: longitud del impulso, incluidos los tiempos de elevación y caída

t_r: tiempo de elevación del impulso

t_f: tiempo de caída del impulso

B_c: ancho de banda de la desviación de frecuencia (desplazamiento total de frecuencia durante la generación del impulso)

B_S: gama máxima dentro de la que se desplazará la frecuencia, B_s igual a cero cuando no hay saltos de frecuencia.

La ecuación (40) sólo es válida cuando se cumplen las siguientes condiciones:

1) el producto $B_c \cdot Minimum\ (t_r, t_f)$ es igual o superior a 0,10; y

2) el producto de $B_c\cdot\tau$ o la tasa de compresión es superior a 10.

En cualquier otro caso, se deben utilizar las siguientes ecuaciones:

$$B_{-40} = \frac{K}{\sqrt{t\cdot t_r}} + 2\left(B_c + \frac{A}{t_r}\right) \quad (44)$$

donde A[5] es 0,105 cuando K = 6,2 y 0,065 cuando K = 7,6.

En el caso de radares de impulsos con MF y con salto de frecuencia, se ha de añadir el valor de B_s al valor de B_{-40} (ecuación (40) o ecuación (44)) para el ancho de banda a B_{-40} dB del radar de saltos de frecuencia[6].

---

en función de la categoría del radar.

[5] El término A/t_r ajusta el valor de B_{-40} para tener en cuenta la influencia del tiempo de elevación, que es sustancial cuando el producto tiempo-ancho de banda, $B_c t$, es pequeño o moderado y el tiempo de elevación es corto.

[6] Comprende el ancho de banda a B_{-40} compuesto total del radar de salto de frecuencia, como si todos los canales incluidos en B_s estuviesen operativos al mismo tiempo. En el caso de los radares de salto de frecuencia, la máscara de emisión fuera de banda excede el límite del ancho de banda a B_{-40} dB, como si el radar fuese un radar de una sola frecuencia sintonizado al límite de la gama de salto de frecuencia.

Para los radares CW no modulados, el ancho de banda a B_{-40} dB es:

$$B_{-40} = 0{,}0003F_c \tag{45}$$

donde F_C es la frecuencia portadora.

Para los radares de onda continua con modulación en frecuencia (FMCW), se aplican dos fórmulas de ancho de banda a B_{-40} dB. Se trata de una fórmula general y una fórmula de salto de frecuencia.

La fórmula general de ancho de banda a B_{-40} dB para los radares FMCW es:

$$B_{-40} = 1{,}2\,B_R\left(1+\frac{200}{\pi\sqrt{B_R T}}\right)^{1/2} \tag{46}$$

donde B_R es la desviación de frecuencia total y T es el periodo de fluctuación. Esta fórmula se basa en FMCW lineal y también puede aplicarse a FMCW lineal con amplitud modulada, FMCW flyback y FMCW no lineal.

Para los radares FMCW con salto de frecuencia, el valor de B_s se ha de añadir a la fórmula de ancho de banda a B_{-40} dB, donde B_s es la gama máxima dentro de la cual se desplazará la frecuencia portadora.

En el caso de radares con impulsos de diversas formas de onda, el ancho de banda B_{-40} dB debe calcularse para cada impulso individual, y el máxima ancho de banda B_{-40} dB obtenido será lel utilizado para establecer la forma de la máscara de emisión.

4 Máscara fuera de banda

En la siguiente Figura se muestra la máscara fuera de banda para radares primarios, categorizada por tipos de forma de onda y especificada en términos de densidad espectral de potencia y expresada en términos de dBpp. La máscara cae desdel ancho de banda a B_{-40} dB al nivel de no esenciales especificado en el Apéndice **3** del RR[7].

El ancho de banda a B_{-40} dB puede estar desplazada desde la frecuencia de máximo nivel de emisión, pero el ancho de banda necesario (número **1.152** del RR) y preferiblemente el ancho de banda total ocupada (número **1.153** del RR) debe quedar completamente dentro de la banda atribuida.

Como orientación, el valor calculado del ancho de banda a B_{-40} dB ha de estar totalmente comprendido en la banda atribuida.

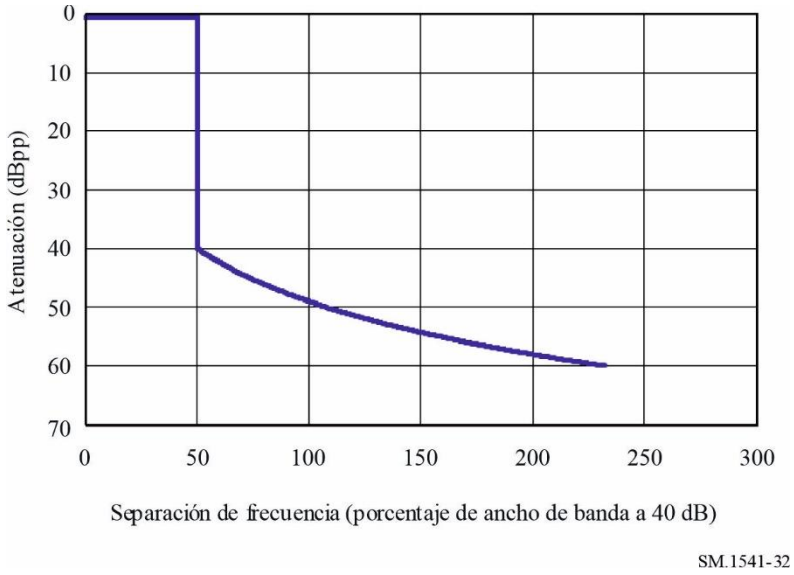
[7] El Apéndice **3** del RR especifica el menor de los dos valores siguientes de atenuación de no esenciales 43 + 10 log (*PEP*), o de 60 dB. (PEP: potencia en la cresta de la envolvente.)

4.1 Todas las formas de onda enumeradas en § 3

La caída de todas las formas de onda enumeradas en § 3, que no sean las indicadas en § 4.2, es de 30 dB por década, como se muestra en la Fig. 38.

FIGURA 38

Máscara fuera de banda para todas las formas de onda de radar no excluidas enumeradas en § 3



4.2 Formas de onda excluidas

CW, FMCW y las formas de onda con codificación de fase quedan excluidas de la aplicación de § 4.1. Estas formas de onda caen a razón de 20 dB por década, como se ve en la Fig. 39.

Esta exclusión de reconsiderará durante el periodo de estudio previo a la Asamblea de Radiocomunicaciones de 2016.

5 Límite entre el dominio fuera de banda y el dominio no esencial

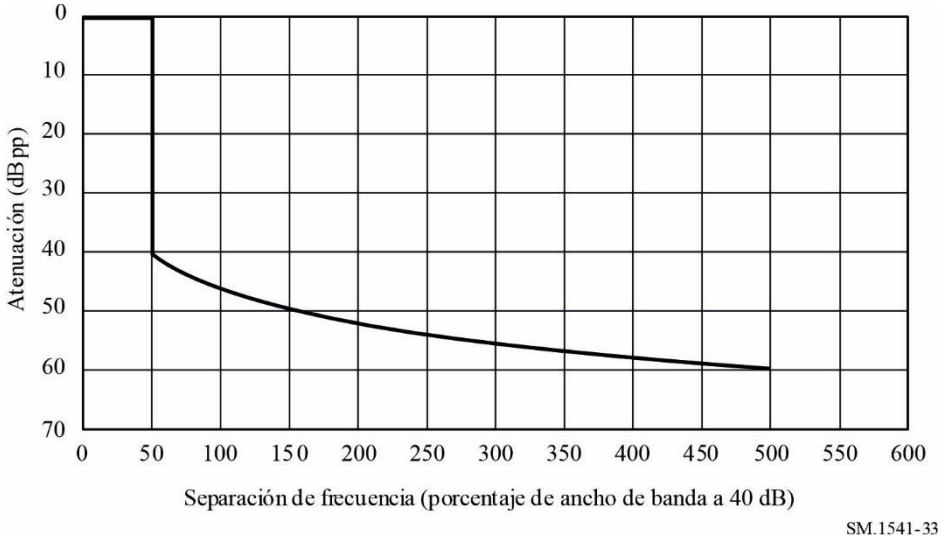
De conformidad con el *recomienda* 2.2 de esta Recomendación y con el Apéndice **3** del RR, el dominio no esencial comienza en general a una separación de frecuencia del 250% del ancho de banda necesario, con la excepción de ciertos tipos de sistemas, incluidos los sistemas con modulación digital o de impulsos. Sin embargo, en el servicio de radiodeterminación y en otros servicios, tales como el servicio de ayudas a la meteorología, el servicio de investigación espacial y el SETS, resulta difícil aplicar el concepto genérico de límite establecido al 250% del ancho de banda necesario.

En el caso de las estaciones de radar primario, el límite entre el dominio fuera de banda y el dominio no esencial se define a la frecuencia en la que los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda definidos en esta Recomendación son iguales a los límites de no esenciales definidos en el Cuadro II del Apéndice **3** del RR.

El límite entre el dominio fuera de banda y el dominio no esencial de los radares primarios en el servicio de radiodeterminación y en otros servicios relevantes, puede definirse a una separación de la frecuencia asignada de 2,5 α B_N, donde α es un factor de corrección del límite que es función de la configuración completa del sistema, en particular, de la forma de onda de modulación y de la técnica de modulación, del dispositivo de salida del radar, de los componentes de la guía de ondas y del tipo de antena y de sus características dependientes de la frecuencia. El valor de α también dependerá de cómo se evalúe el ancho de banda necesario.

FIGURA 39

Máscara fuera de banda para los radares con CW, FMCW y formas de onda codificadas en fase



Los valores de α correspondientes a la máscara de la Fig. 39 pueden determinarse estableciendo que el punto a 60 dB sea igual a 2,5 α B_N. Suponiendo una caída de 20 dB por década:

$$5 B_{-40} = 2{,}5 \alpha B_N \rightarrow \alpha = 2 \frac{B_{-40}}{B_N} \tag{47}$$

Utilizando los ejemplos anteriores, α sería aproximadamente 2,0 para un radar de impulsos con MF lineal y de aproximadamente 8,5 para un radar de impulsos sin MF. Esta ecuación no se aplica al caso de salto de frecuencia.

Si se estima que el ancho de banda necesario es el ancho de banda a 20 dB, la información técnica disponible hasta la fecha indica que para radares primarios existentes y previstos, el valor de α estaría comprendido entre 1 y 10 o superior.

Desde el punto de vista de la utilización eficaz del espectro, puede cuestionarse:

– si los futuros radares primarios podrán satisfacer un valor de α más cercano a 1;

– si α debiera ser distinto, en función de que el límite entre los dominios fuera de banda y de no esenciales se encuentre dentro, fuera o próximo a la banda atribuida a un radar primario.

Es necesario realizar estudios adicionales en el seno del UIT-R para definir el ancho de banda necesario que debe utilizarse en el cálculo del límite entre dominios y para definir los valores de α para los distintos tipos de radar, misiones y plataformas.

En el caso de radares de impulsos sin MF, y para algunos casos excepcionales en que la arquitectura del sistema permite la utilización de filtros y en los que se puede tolerar una calidad de funcionamiento atípica, el valor de α puede estar próximo a 1. Asimismo, en el caso de radares de frecuencia ágil, el valor de α puede estar próximo a 1,5.

6 Objetivo de diseño

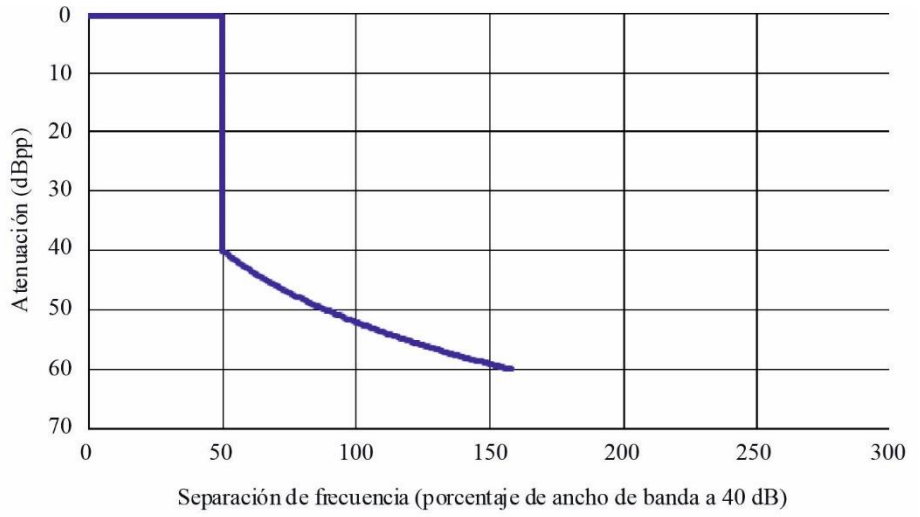
Los puntos anteriores de este Anexo se basan en el principio de red de seguridad de los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda. Se reconoce que es preferible reducir los niveles de emisiones no deseadas para mejorar la compatibilidad con otros servicios.

La máscara de la Fig. 40 es el objetivo de diseño de los sistemas de radar. La máscara cae a razón de 40 dB por década desdel ancho de banda de B_{-40} dB al nivel no esencial especificado en el Apéndice **3** del RR.

Los radares se han de diseñar para cumplir los requisitos de la máscara objetivo. Siempre que sea posible, al diseñar el radar se evitará utilizar tecnologías que no puedan cumplir los objetivos de diseño.

FIGURA 40

Objetivo de diseño para sistemas de radar



SM.1541-34

NOTA 1 – En estudios ulteriores a realizar en el seno del UIT-R deberá analizarse la viabilidad de esta máscara teniendo en cuenta la experiencia práctica de su aplicación en algunos tipos de radar y el desarrollo de la tecnología de radar. Las contribuciones presentadas a la UIT (periodos de estudio 2003-2007 y 2007-2011) han demostrado que algunos tipos de radar pueden lograr el objetivo de diseño. Entre ellos se cuentan algunos radares klystron y algunos radares que utilizan magnetrones interconectados por debajo de 100 kW como dispositivo de salida.

NOTA 2 – Los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda en bandas atribuidas al servicio de radiodeterminación sobre una base exclusiva deberán ser objeto de ulteriores estudios. De dichos estudios se podría concluir la necesidad de un objetivo de diseño distinto de máscara en esas bandas.

NOTA 3 – Es posible que algunos sistemas futuros no puedan alcanzar el objetivo de diseño a causa de algunos de los siguientes factores:

– misión del radar (seguridad de la vida humana, tamaño del objetivo de detección, etc.);
– tipo y tamaño de la plataforma (por ejemplo, fija, móvil, de barco de aeronave, etc.);
– tecnologías disponibles y estadio de evolución de las mismas;
– asequibilidad.

NOTA 4 – El objetivo es que estos estudios conduzcan a la revisión por la Asamblea de Radiocomunicaciones de 2016 de esta Recomendación para sustituir las máscaras fuera de banda de las cláusulas anteriores por la máscara objetivo de diseño; o para incluir otras configuraciones convenientes, en función del tipo de forma de onda del radar.

7 Técnicas de medición

La última versión de la Recomendación UIT-R M.1177 proporciona directrices relativas a los métodos de medición de las emisiones en el dominio fuera de banda de los sistemas de radar.

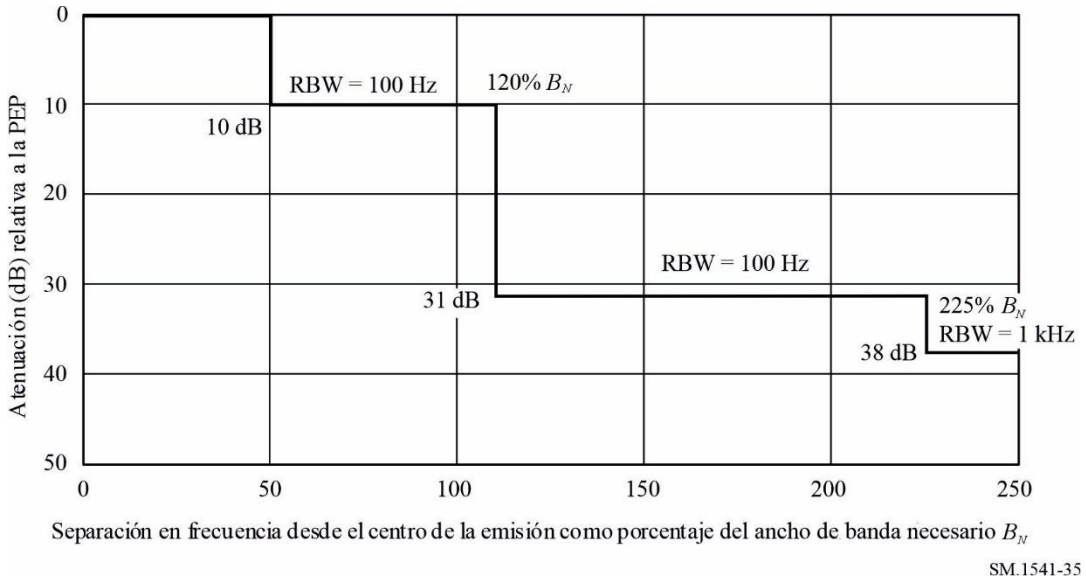
Anexo 9

Límites de las emisiones del dominio fuera de banda para los servicios de radioaficionados

Las estaciones de los servicios de radioaficionados y de radioaficionados por satélite deben cumplir los límites de las máscaras espectrales siguientes.

FIGURA 41

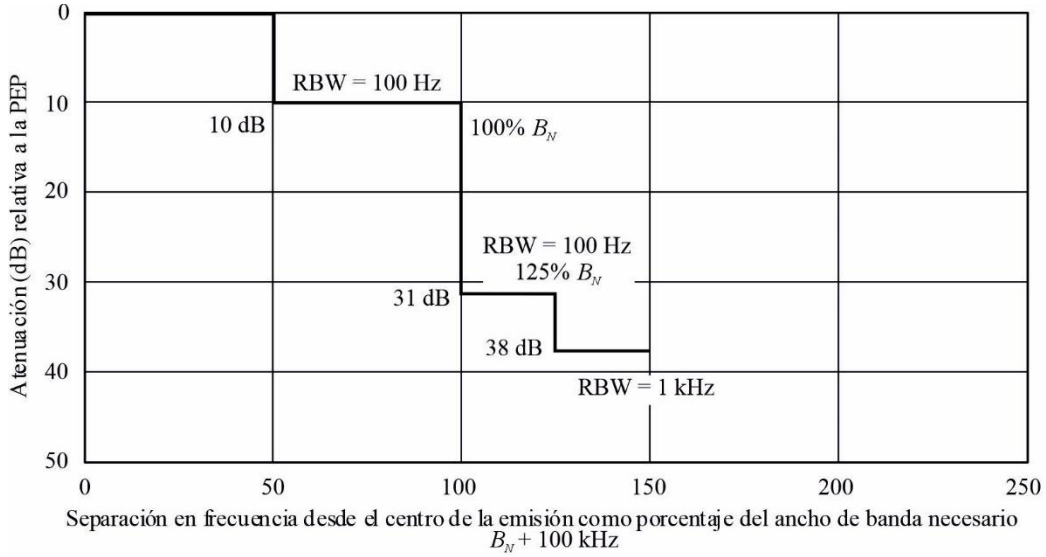
Estaciones que funcionan a frecuencias inferiores a 30 MHz en los casos normales o de banda estrecha de la Recomendación UIT-R SM.1539



Cuando B_N < 4 kHz, se debe utilizar el valor de B_L de la Recomendación UIT-R SM.1539 en lugar de B_N.

FIGURA 42

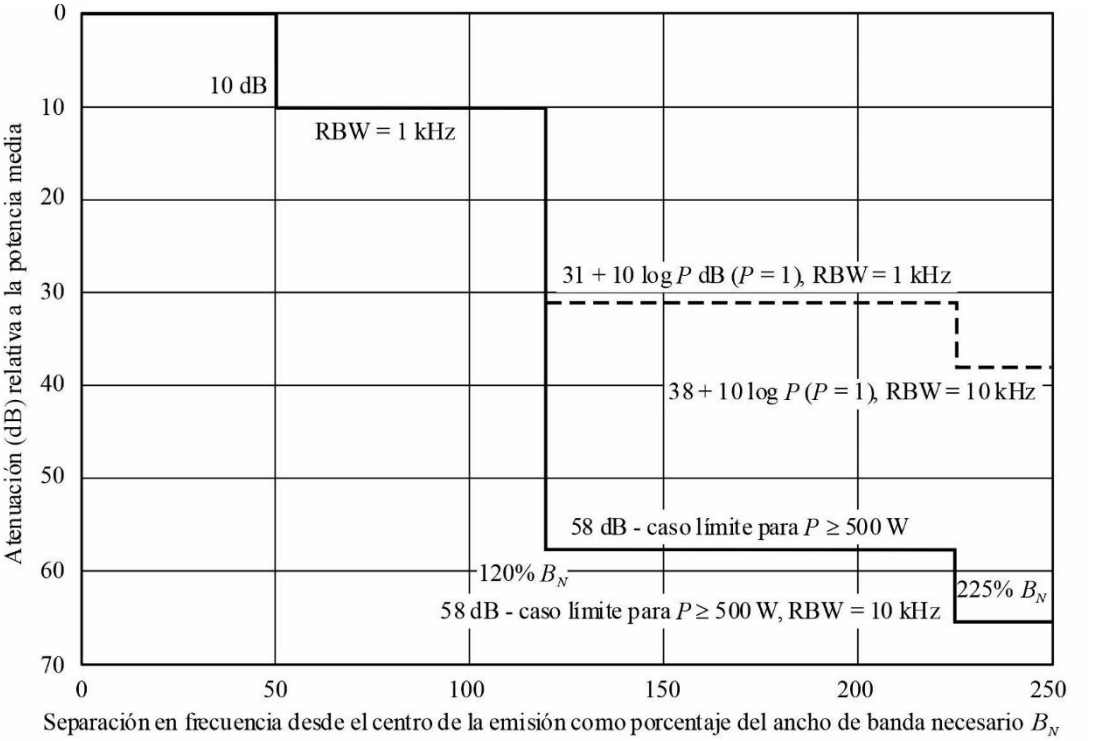
Estaciones que funcionan a frecuencias inferiores a 30 MHz en el caso de banda ancha de la Recomendación UIT-R SM.1539



SM.1541-36C

FIGURA 43

Estaciones que funcionan a frecuencias superiores a 30 MHz en los casos normales o de banda estrecha de la Recomendación UIT-R SM.1539

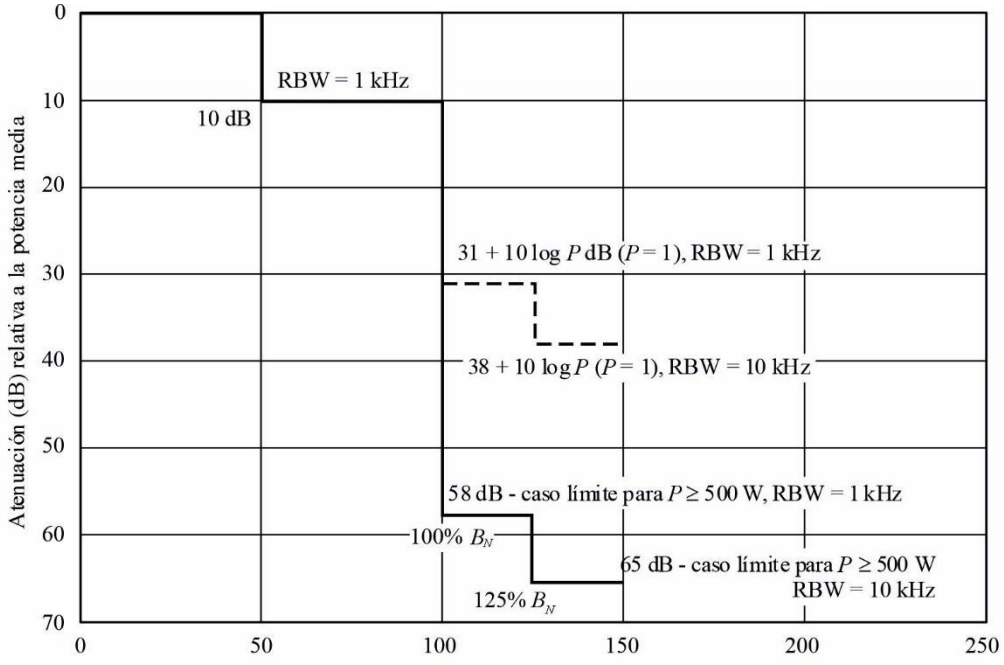


SM.1541-37

En el caso de banda estrecha, se debe utilizar el valor de B_L de la Recomendación UIT-R SM.1539 en lugar de B_N.

FIGURA 44

Estaciones que funcionan por encima de 30 MHz en el caso de banda ancha de la Recomendación UIT-R SM.1539



Separación en frecuencia desde el centro de la emisión, expresado como porcentaje del ancho de banda necesario B_N al que se suma el valor de separación dado en la Recomendación UIT-R SM.1539 a fin de obtener la separación de frecuencia real.

PEP: potencia de cresta de la envolvente (W) suministrada a la línea de transmisión de la antena de acuerdo con el número 1.157 del RR.

P:potencia media (W) suministrada a la línea de transmisión de la antena de conformidad con el número 1.158 del RR.

SM.1541-38

NOTA 1 – En la categoría de banda lateral única (BLU) se incluyen todas las clases de emisión que utilizan BLU.

Cuando sea aplicable, la modulación utilizada con fines de prueba se basa en tonos de audiofrecuencia de 1 100 y 1 700 Hz para transmisiones BLU, utilizándose 1 kHz para emisiones con una portadora, o en otros casos, con una modulación representativa de una utilización de uso normal.

NOTA 2 – En el caso de estaciones que utilizan el acceso múltiple por división de frecuencia (AMDF), tal como ocurre en las estaciones espaciales del servicio de radioaficionados por satélite, se considera que el ancho de banda necesario es el ancho de banda a 3 dB del amplificador final del transmisor.

Anexo 10

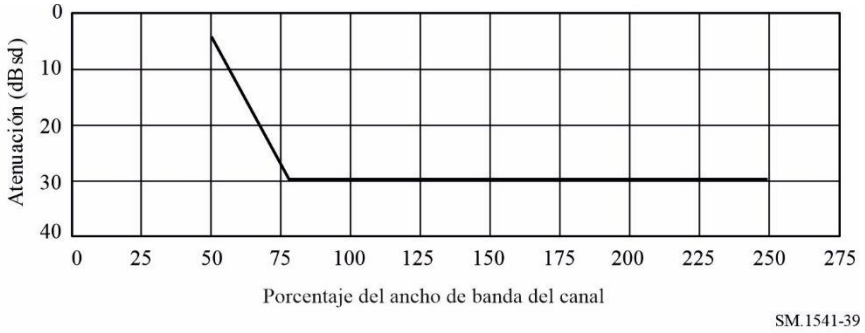
Límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para los servicios móviles terrestres

Las máscaras incluidas en este Anexo son ejemplos de máscaras fuera de banda utilizadas en el servicio móvil terrestre. Se necesitan estudios adicionales para definir una máscara genérica aplicable a todos los sistemas del servicio móvil terrestre. En relación con este servicio, se ha indicado la preferencia de utilizar límites de la relación de potencia de la banda (o canal) adyacente en lugar de curvas límites, pues ello facilita la coordinación de frecuencias y la planificación de sistemas. En el Adjunto 1 del Anexo 1 se muestra cómo puede obtenerse un límite de potencia en la banda a partir de una máscara de emisión.

El Cuadro 27 proporciona los puntos de discontinuidad correspondientes al gráfico de la Fig. 45 para sistemas móviles terrestres con un ancho de banda de canal de 12,5 kHz.

FIGURA 45

Máscara fuera de banda para sistemas móviles terrestres con un ancho de banda de canal de 12,5 kHz



CUADRO 33

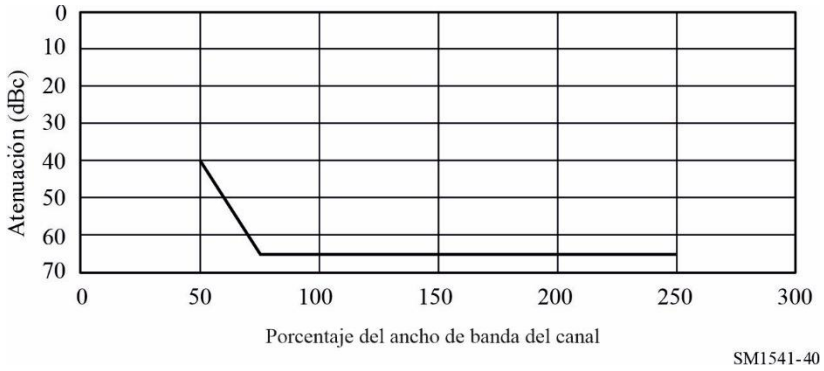
Puntos de discontinuidad

Separación de frecuencia desde la frecuencia central (porcentaje del ancho de banda del canal)	Atenuación (dBsd)
50	3,5
78	29
250	29

El Cuadro 34 proporciona los puntos de discontinuidad correspondientes al gráfico de la Fig. 40 para un sistema de BLU con compansión de amplitud con un ancho de banda de canal de 5 kHz.

FIGURA 46

Máscara fuera de banda para sistemas de BLU con compansión de amplitud con un ancho de banda de canal de 5 kHz



CUADRO 34

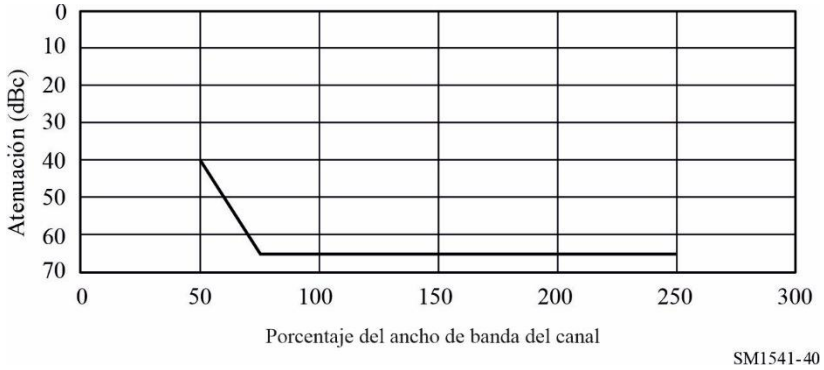
Puntos de discontinuidad

Separación de frecuencia desde la frecuencia central (porcentaje del ancho de banda del canal)	Atenuación (dBc)
50	40
75	65
250	65

El Cuadro 35 proporciona los puntos de discontinuidad correspondientes al gráfico de la Fig. 47 para sistemas móviles terrestres con un ancho de banda de canal de 6,5 kHz.

FIGURA 47

Máscara fuera de banda para sistemas móviles terrestres con un ancho de banda de canal de 6,5 kHz



CUADRO 35

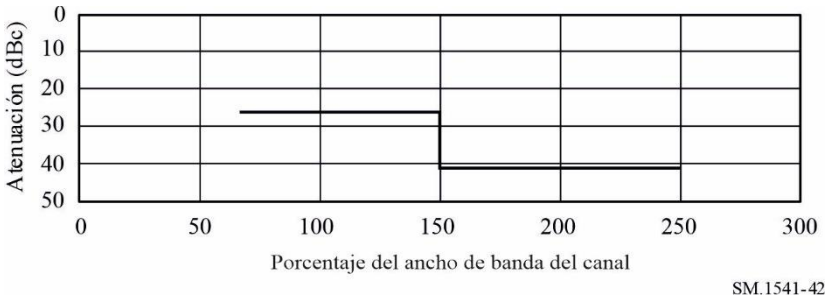
Puntos de discontinuidad

Separación de frecuencia desde la frecuencia central (porcentaje del ancho de banda del canal)	Atenuación (dBsd)
50	14
72	37
250	37

El Cuadro 36 proporciona los puntos de discontinuidad correspondientes al gráfico de la Fig. 48 para sistemas celulares analógicos con un ancho de banda de canal de 30 kHz.

FIGURA 48

Máscara fuera de banda para sistemas celulares analógicos con un ancho de banda de canal de 30 kHz



CUADRO 36

Puntos de discontinuidad

Separación de frecuencia desde la frecuencia central (porcentaje del ancho de banda del canal)	Atenuación (dBc)
67	26
150	26
150	41
250	41

Anexo 11

Límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para los servicios móvil aeronáutico y móvil marítimo

Estas máscaras de emisión se especifican en términos de la potencia en una ABR en relación con la potencia total de la portadora (dBc). Las emisiones en el dominio fuera de banda se especifican en un ancho de banda de 4 kHz, excepto las procedentes de transmisores de BLU y aeronáuticas. Las emisiones de BLU se especifican en un ancho de banda más estrecho y las emisiones de telemetría aeronáutica se especifican en términos de valores de ajuste específicos del analizador de espectro: ancho de banda de resolución de 10 kHz, ancho de banda de vídeo de 1 kHz y retención máxima. De conformidad con el Apéndice **3** del RR, la frontera entre el dominio fuera de banda y el dominio no esencial de estas máscaras de emisión está situada a una distancia en frecuencia del 250% del ancho de banda necesario.

1 Telemetría aeronáutica

En el caso de los transmisores de telemetría aeronáutica, los límites de cualquier emisión en el dominio fuera de banda (50%-250%), en relación con la potencia media del transmisor, son los siguientes:

$$-(55 + 10 \log P)$$

o

$$K + 90 \log R - 100 \log |f - f_c| \qquad \text{para} \quad |f - f_c| \geq \frac{R}{m}$$

donde:

K = −20 para señales analógicas

K = −28 para señales binarias

K = −63 para señales cuaternarias (por ejemplo, MDPFQ-B)

f_c: frecuencia central del transmisor (MHz)

R: velocidad binaria (Mbit/s) para señales digitales o $(\Delta f + f_{máx})$ (MHz) para señales analógicas con MF

m: número de estados de la señal moduladora

m = 2, para señales binarias

m = 4, para señales cuaternarias y señales analógicas

Δf: desviación de cresta

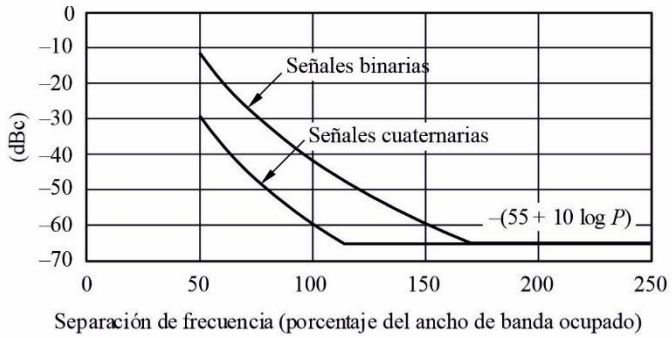
$f_{máx}$: frecuencia máxima de modulación

los que resulten menos restrictivos.

La Fig. 49 muestra ejemplos de máscaras fuera de banda para telemetría aeronáutica, expresadas en dBc. Los anchos de banda ocupados utilizados para generar la Fig. 49 han sido 1,16 veces la velocidad binaria para señales binarias y 0,78 veces la velocidad binaria para señales cuaternarias. En la Fig. 49 se han utilizado como parámetros adicionales la potencia, P, de 10 W y una velocidad binaria (R) de 5 Mbit/s. Estos valores varían de un sistema a otro y las máscaras de las emisiones resultantes varían de acuerdo con la fórmula anterior. Las máscaras de emisión tienen una caída de 100 dB/década.

FIGURA 49

Ejemplos de máscaras fuera de banda para telemetría aeronáutica



SM.1541-43

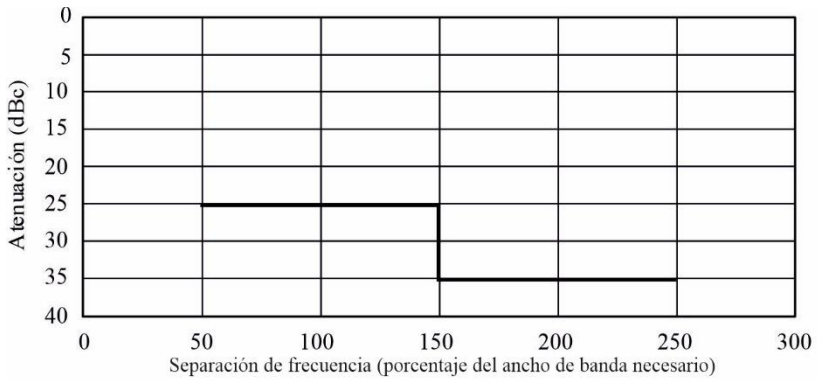
2 Otros transmisores de los servicios móvil aeronáutico y móvil marítimo

En el caso de transmisores de los servicios móvil aeronáutico y móvil marítimo distintos a los de telemetría aeronáutica y a otros sistemas que quedan exceptuados, la atenuación requerida para la potencia media de cualquier emisión en el dominio fuera de banda en relación con la potencia media del transmisor, es la siguiente:

50-150% 25 dBc
150-250% 35 dBc

FIGURA 50

Máscara fuera de banda para servicios móviles aeronáuticos y móviles marítimos



SM.1541-44

Anexo 12

Límites de las emisiones en el dominio fuera de banda para el servicio fijo

La Recomendación UIT-R F.1191 exige que en los sistemas de relevadores radioeléctricos digitales que funcionen con una disposición de canales de radiofrecuencia específica, la frecuencia frontera entre el dominio no esencial y el dominio fuera de banda esté situada a una distancia en frecuencia equivalente al ±250% de la separación de canales relevante. Por lo tanto, para los fines de esta Recomendación, se establece que, cuando sea aplicable, los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda de los sistemas del servicio fijo analógico y digital, lleguen hasta el ±250% de la separación de canales relevante de la disposición de radiocanales utilizada.

De conformidad con la Recomendación UIT-R F.1191, se considera que la separación de canales es *XS*/2 para las disposiciones de canales con frecuencias alternadas, y *XS* para las disposiciones de canales en las modalidades cocanal y entrelazada, tal como se definen en la Recomendación UIT-R F.746.

Cuando se realicen asignaciones en bloque exclusivas (véase la Nota 1), los transmisores que funcionan en subcanales con una configuración específicamente concebidas por el operador con licencia para dicho bloque de frecuencia, podrían quedar en principio exentos de cumplir los límites de las emisiones fuera del bloque; no obstante, en las zonas limítrofes entre países es necesario el acuerdo entre las administraciones implicadas pues ambas pueden haber concedido licencias en dicha banda con criterios diferentes.

El objeto perseguido es que las máscaras espectrales especificadas en este Anexo sean límites genéricos que constituyan los límites menos restrictivos de las emisiones fuera de banda utilizados con éxito en las reglamentaciones nacionales o regionales. En ocasiones, éstos se denominan límites de red de seguridad. Están destinados a ser utilizados en bandas en las que no se requieren máscaras más exigentes para proteger aplicaciones específicas.

Estas máscaras son un límite máximo compuesto que se utiliza para cualquier aplicación y banda de frecuencias que se desplieguen en una zona climática cualquiera; sin embargo, las máscaras espectrales utilizadas en la práctica se diseñan normalmente con criterios más estrictos, de acuerdo con el nivel de rechazo a la interferencia del canal adyacente que requiera la aplicación en cuestión (por ejemplo, banda de frecuencias, sensibilidad del formato de modulación y calidad de servicio requerida) en diferentes condiciones geoclimáticas (factor *K* definido en la Recomendación UIT-R P.530).

NOTA 1 – Se denomina asignación en bloque (véase la definición en la Recomendación UIT-R F.1399) a la asignación de un bloque de espectro a una o varias estaciones de un mismo operador al amparo de una única licencia exclusiva (véanse ejemplos en las Recomendaciones UIT-R F.1488, UIT-R F.748 y UIT-R F.749). En una asignación en bloque el operador puede, en general, subdividir el bloque en subbloques más reducidos o en subcanales a fin de desplegar una red radioeléctrica en una zona geográfica para la que se ha concedido la asignación.

1 Servicio fijo digital: máscaras espectrales de emisión

1.1 Sistemas por encima de 30 MHz

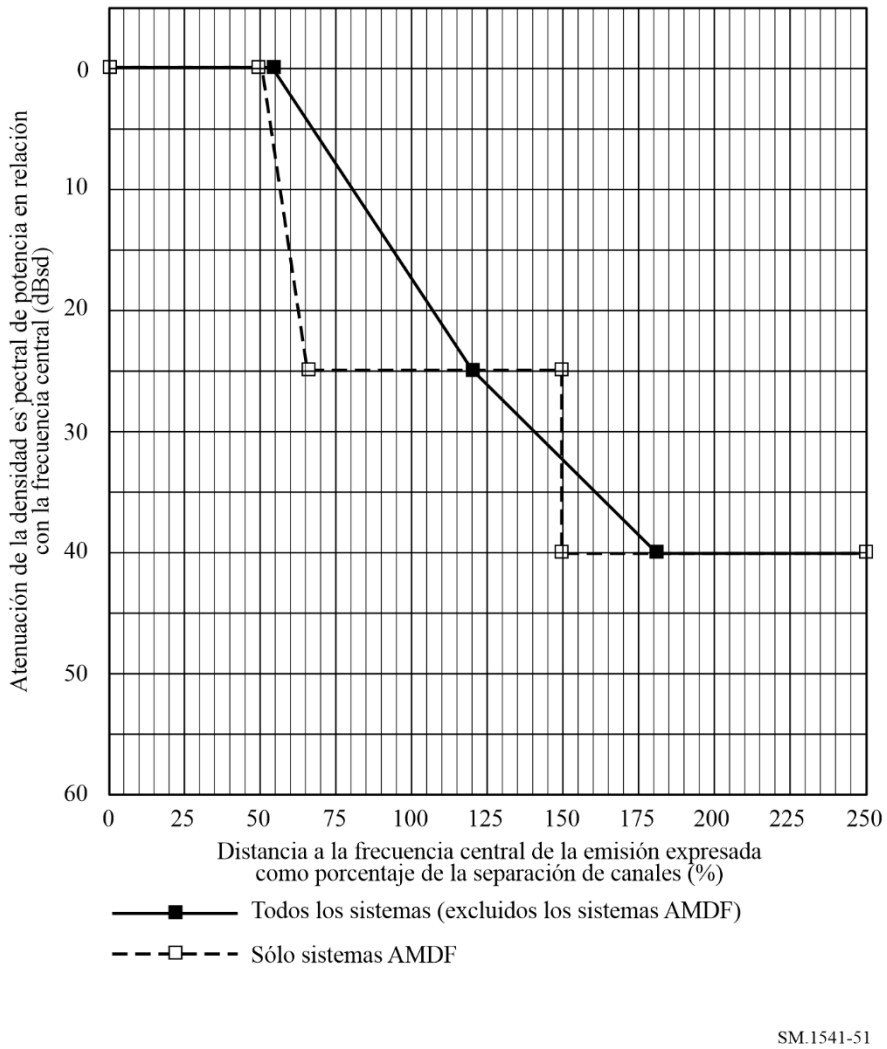
En la Fig. 51 se muestran las máscaras de atenuación espectral.

El nivel de referencia de 0 dBsd es el valor máximo de la densidad espectral de potencia en el ancho de banda ocupado.

El ancho de banda de resolución utilizada a los efectos de medición debe ser aproximadamente el 1% del ancho de banda ocupado.

FIGURA 51

Máscaras espectrales genéricas para el servicio fijo digital por encima de 30 MHz
(véase el Cuadro 37)



Nota a la Fig. 51: Las máscaras especificadas se expresan en función del porcentaje de la separación de canales; sin embargo, para sistemas que funcionan en bandas de frecuencias en las que no existe una disposición de canales de radiofrecuencia, el porcentaje de separación de canales debe sustituirse por el porcentaje de ancho de banda necesario o, si es aplicable, por el umbral inferior de ancho de banda necesario tal como se define en la Recomendación UIT-R SM.1539. Cuando no se especifique en alguna Recomendación UIT-R, el ancho de banda debe obtenerse según se indica en la Recomendación UIT-R F.1191.

CUADRO 37

Servicio fijo digital por encima de 30 MHz
(véase la Fig. 51)

Todos los sistemas (excluido los AMDF)		**Sólo sistemas AMDF**	
Desplazamiento de frecuencia (separación de canales (%))	**Atenuación (dBsd)**	**Desplazamiento de frecuencia (separación de canales (%))**	**Atenuación (dBsd)**
0	0	0	0
55	0	50	0
120	25	65	25
180	40	150	25
250	40	150	40
		250	40

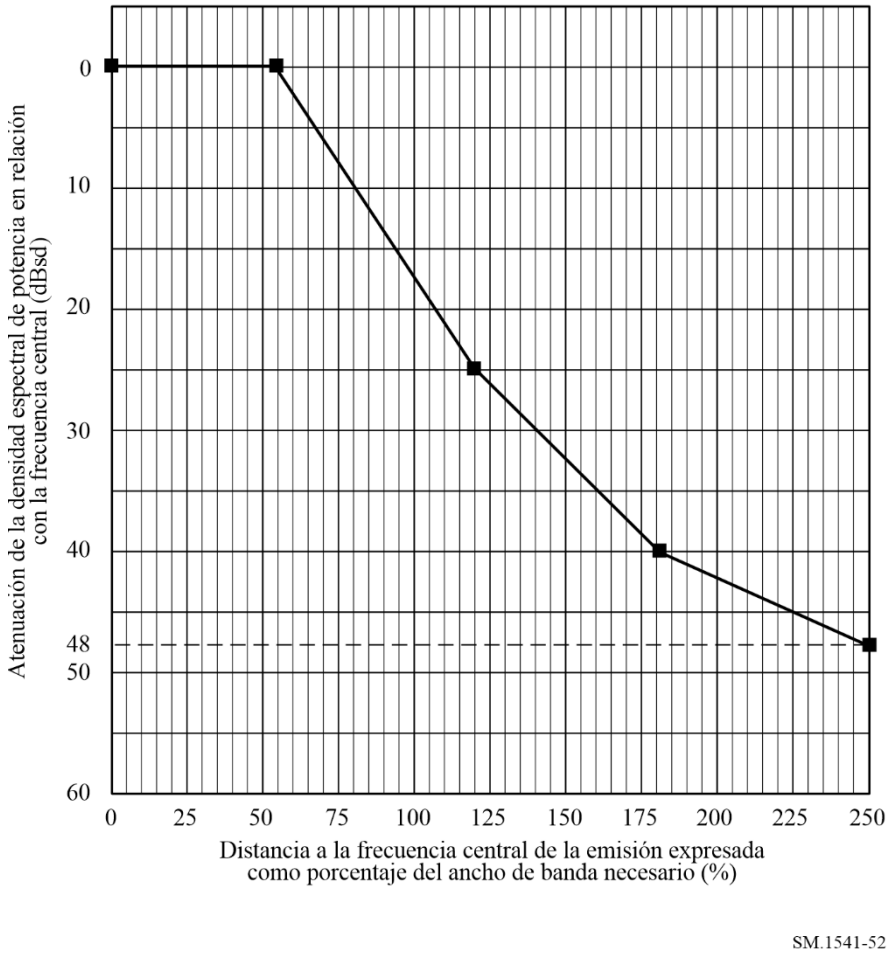
1.2 Sistemas por debajo de 30 MHz

En la Fig. 52 se muestran las máscaras de atenuación espectral.

El nivel de referencia de 0 dBsd es el valor máximo de la densidad espectral de potencia en el ancho de banda ocupado.

FIGURA 52

Máscaras espectrales genéricas para el servicio fijo digital por debajo de 30 MHz
(véase el Cuadro 38)



Nota a la Fig. 52: Cuando sea aplicable, se debe utilizar el umbral inferior del ancho de banda necesario, tal como se define en la Recomendación UIT-R SM.1539. Cuando no se especifique en alguna Recomendación UIT-R, el ancho de banda necesario puede obtenerse según se indica en la Recomendación UIT-T F.1191.

CUADRO 38

Servicio fijo digital por debajo de 30 MHz
(véase la Fig. 52)

Todos los sistemas	
Desplazamiento de frecuencia (separación de canales (%))	**Atenuación (dBsd)**
0	0
55	0
120	25
180	40
250	48

2 Servicio fijo digital: líneas espectrales discretas dentro de los límites en frecuencia de las emisiones fuera de banda

Las líneas espectrales discretas no se consideran en las máscaras de densidad espectral, pero deben estar limitadas para que no degraden la potencia de las emisiones espectrales no deseadas de la forma siguiente:

2.1 Sistemas por encima de 30 MHz

– Líneas espectrales comprendidas dentro de ±50% de la separación de canales: no es aplicable el límite de las emisiones en el dominio fuera de banda.

– Potencia media total del conjunto de todas las líneas espectrales entre el +50% y el +150% o entre el −50% y el −150% de la separación de canales: 23 dBc.

– Potencia media total del conjunto de todas las líneas espectrales entre el +150% y el +250% o entre el −150% y el −250% de la separación de canales: 45 dBc.

NOTA 1 – Cuando no se define una separación de canales, se puede utilizar el ancho de banda necesario.

2.2 Sistemas por debajo de 30 MHz

Las líneas espectrales en el dominio fuera de banda comprendido entre el +50% y el +250% o entre el −50% y el −250% del ancho de banda necesario, deben cumplir los valores de los límites de no esenciales definidos en la Recomendación UIT-R SM.329.

3 Servicio fijo analógico

La Comisión de Estudio 9 de Radiocomunicaciones sobre el Servicio fijo, decidió en 1991 no desarrollar nuevas Recomendaciones sobre sistemas analógicos.

Aunque aún haya sistemas en explotación, es muy improbable que se produzcan desarrollos relacionados con los sistemas analógicos; por lo tanto, se considera innecesario incluir en esta Recomendación máscaras de red de seguridad.

Anexo 13

Medición de las emisiones en el dominio fuera de banda

1 Equipo de medida

1.1 Receptor de medida selectivo

Para la medición de la potencia suministrada a la antena se debe utilizar un analizador de espectro u otro equipo adecuado que tenga un margen dinámico de amplitud suficiente como para realizar con precisión las medidas en la gama de atenuaciones especificadas. Si el margen dinámico no es suficiente para realizar las medidas necesarias, pueden aplicarse técnicas de filtrado (por ejemplo, con filtros de preselección o de ranura) a fin de realizar la medición de las emisiones en el dominio fuera de banda.

Existen dos formas principales de especificar los límites de las emisiones en el dominio fuera de banda, a) el método de la máscara espectral y b) el método de especificación de la potencia del canal adyacente y del canal adyacente alterno.

a) En el caso de medidas realizadas utilizando el método de la máscara fuera de banda (véase el Anexo 1), el receptor de medida debe poder visualizar simultáneamente la curva límite y la densidad espectral de potencia de la emisión. Asimismo, debe poder introducir los segmentos de líneas necesarios para describir y almacenar los diversos segmentos de las curvas límite, algunos de los cuales necesitan una ecuación algebraica.

b) En el caso de medidas realizadas utilizando el método de la potencia del canal adyacente o del canal adyacente alterno (véase el Anexo 1), el receptor de medida debe poder calcular la potencia en un ancho de banda dado mediante la suma numérica de un conjunto de medidas realizadas en subbandas más pequeñas. Un método alternativo consiste en la utilización de filtros de canal para realizar mediciones de potencia directas en un canal adyacente o en un canal adyacente alterno. Asimismo, es necesario poder introducir, almacenar y mostrar los bordes o límites del canal.

1.1.1 Detectores del equipo de medida

El receptor de medida puede incluir las funciones de detector de valor eficaz, de muestra y de valor de cresta. Es importante señalar que, en general, dichas funciones no proporcionarán los mismos valores en función de cuales sean las características de la señal analizada, siendo en consecuencia importante corregir las lecturas de la función del detector (es decir, el procesamiento de señal) para una medición específica si sólo se dispone de uno de los detectores.

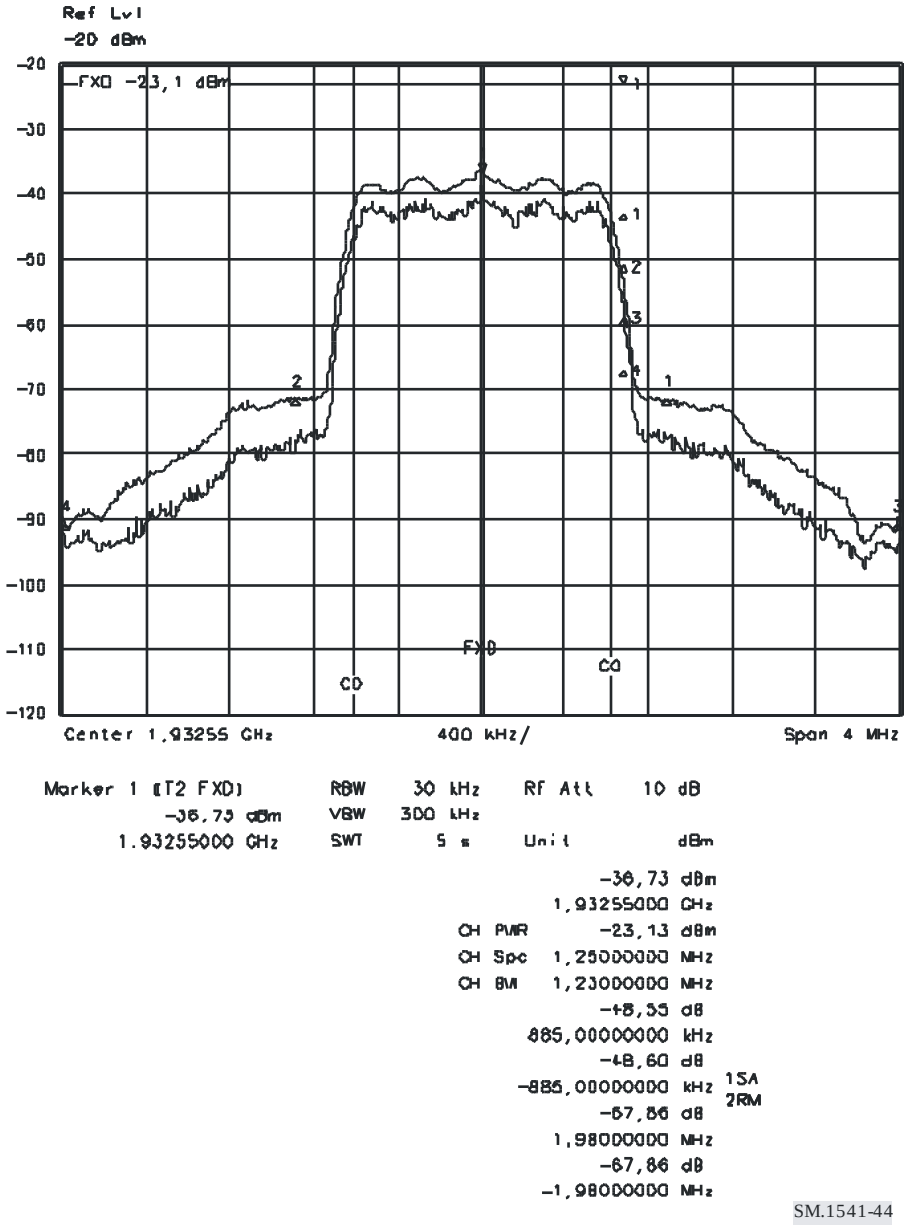
Muchos analizadores utilizan la función de detector convencional de la señal, mediante el paso por un amplificador logarítmico y a continuación por un detector de envolvente. Ello produce un error de procesamiento de la señal cuando se trata de señales que no son de onda continua debido a que la media del valor logarítmico no es igual al logaritmo de valor medio. Por este motivo, cuando se mide ruido gaussiano, el valor medio logarítmico es 1,45 dB inferior, siendo necesario sumar 1,05 dB para corregir la diferencia entre el valor promedio lineal y la potencia media de esta característica de la señal. Por tanto, si en lugar del valor eficaz se mide el valor promedio lineal del ruido gaussiano, se produce sistemáticamente un error de −2,5 dB.

Los analizadores que disponen de capacidad de procesamiento digital de la señal evitan dichas correcciones gracias a que realizan una auténtica función de medición de la potencia media digitalizando la señal de entrada y realizando la conversión de potencia de forma numérica.

Los errores de este tipo pueden minimizarse o eliminarse si, cuando los niveles de ajuste permanecen constantes, se mide una relación de potencia en lugar de la potencia absoluta. En general, esta situación se produce en analizadores que pueden medir la relación de potencia con respecto al canal adyacente. No obstante, esto sólo es aplicable cuando la señal del canal ocupado y del canal adyacente tienen las mismas características estadísticas (por ejemplo, son gaussianas). La Fig. 53 muestra un ejemplo en el que no se da dicha circunstancia.

FIGURA 53

Espectro del enlace ascendente de acceso múltiple por división de código (IS95) medido con la función de medición de potencia media verdadera (línea superior) y con promediación de traza (línea inferior)



Las diferencias de nivel entre el canal ocupado y el canal adyacente son distintas.

1.1.2 Ancho de banda de resolución

El ancho de banda de resolución debe ser, idealmente, el valor recomendado del ancho de banda de referencia. En el caso de la densidad espectral de potencia y la potencia media (para dBc), el ancho de banda debe ser idéntico para medidas dentro de banda y fuera de banda. Sin embargo, el valor real del ancho de banda de resolución del filtro de frecuencia intermedia utilizado en una analizador puede no ser igual al especificado aunque los valores de ajuste coincidan. Ello produce un error que debe corregirse y que, generalmente, no excede de 1,5 dB para una precisión mejorada cuando se mide la densidad espectral de potencia de una señal en el ancho de banda del filtro.

Dado que los analizadores que disponen de funciones de procesado digital de la señal también incluyen filtrado digital, este tipo de analizador realiza en general una implementación más exacta de los valores de ajuste del ancho de banda del filtro. El algoritmo de procesado digital puede proporcionar una corrección adicional; por ejemplo, para la corrección del ancho de banda de ruido efectivo del tipo de filtro empleado en el analizador, es importante medir las emisiones similares a ruido procedentes de transmisiones con modulación digital.

Los errores de este tipo pueden minimizarse o eliminarse si, cuando los niveles de ajuste permanecen constantes, se mide una relación de potencia en lugar de la potencia absoluta. En general, esta situación se da en analizadores que pueden medir la relación de potencia con respecto al canal adyacente. No obstante, esto sólo es aplicable cuando la señal del canal ocupado y del canal adyacente tienen las mismas características estadísticas (por ejemplo, son gaussianas).

En el método de la potencia del canal adyacente y del canal adyacente alterno, pueden utilizarse filtros de canal de alta selectividad para la medición de la potencia del canal adyacente.

NOTA 1 – Si el ancho de banda de medida difiere del ancho de banda de referencia, es necesario disponer de una metodología para la conversión de los resultados al ancho de banda de referencia.

NOTA 2 – Cuando se utiliza un ancho de banda de medida del orden de n% del ancho de banda ocupado, se debe tener en cuenta un factor de sobrecarga que es función del tipo de señal que debe medirse. Este factor de sobrecarga es aproximadamente de (10 log (100/n) + 14) dB para emisiones con características similares a ruido y puede llegar a ser de 20 log (100/n) dB para emisiones de impulsos (por ejemplo, en el caso de radar).

1.1.3 Ancho de banda de vídeo

En las medidas de potencia de cresta, el ancho de banda de vídeo debe ser al menos tan amplia como el ancho de banda de resolución y, preferiblemente, de tres a cinco veces mayor que ésta. Para las medidas de potencia de cresta del canal adyacente y del canal adyacente alterno, puede utilizarse una combinación de filtros de canal altamente selectivos y la detección de cresta.

En las mediciones de potencia media, la utilización de un filtro de banda estrecha (por ejemplo, 10 Hz), implica realizar la promediación del valor medio logarítmico. Ello significa que la potencia media resultante es inferior a la potencia real, dependiendo de la magnitud del error de las características estadísticas de la señal. Los analizadores que dispongan de la función de medición de potencia media verdadera pueden evitar este tipo de errores. En el caso de los métodos del canal adyacente y de canal adyacente alterno, la utilización de filtros de canal muy selectivos o de un método o esquema de integración puede evitar este tipo de errores.

1.1.4 Tiempo de barrido

La utilización de filtros de resolución de banda estrecha implica tiempos de barrido lentos. Además, la ponderación de valores eficaces necesita tiempo para promediar señales con características similares al ruido, y la detección de cresta necesita tiempo hasta que aparece el valor de cresta más elevado a cada frecuencia, lo cual puede aumentar el tiempo de barrido necesario en un factor de 10 o más.

Suponiendo un ancho de banda de resolución B_{res} del 1%, y un rango de frecuencia del 500% del ancho de banda ocupado, el tiempo mínimo de barrido $T_{smín}$ es aproximadamente:

$$T_{smín} = 1\,000\ (1/B_{res})$$

Por ejemplo, para un ancho de banda ocupado de 10 kHz, un ancho de banda de resolución de 100 Hz es igual al ancho de banda de referencia. En consecuencia, el tiempo mínimo de barrido será de $T_{smín} = 10$ s.

Los tiempos de barrido y de promediación pueden reducirse notablemente utilizando técnicas de transformada rápida de Fourier para señales de banda estrecha y filtros de canal para las mediciones de potencia directa en los filtros de canal adyacente o de canal adyacente alterno.

Para señales impulsivas determinísticas (por ejemplo, el radar), cada medición necesita al menos un ciclo de reloj, T_c, si los impulsos de medición y de radar están sincronizados. Suponiendo que se realizan 500 medidas, el tiempo mínimo de barrido o de exploración es $T_{smín} = 500\ T_c$. Si no existe sincronización, el tiempo mínimo de barrido o de exploración debe multiplicarse por un factor de 2.

1.2 Dispositivo de acoplamiento

Las medidas se realizan utilizando un acoplador direccional capaz de manejar la potencia de las emisiones fundamentales, tal como se ilustra en la Fig. 54. Para asegurar que se consiguen los resultados de medición correctos, el acoplador debe presentar la impedancia adecuada en ambos estados cuando se conmuta entre el generador de señal y el trasmisor en pruebas.

1.3 Carga del terminal

Para medir la potencia de las emisiones en el dominio fuera de banda cuando se utiliza el Método de medición 1 (véase el § 3), el transmisor debe estar conectado a una carga de prueba o carga terminal. El nivel de las emisiones en el dominio de no esenciales depende de la adaptación adecuada de impedancias entre el transmisor, la línea de transmisión y la carga de prueba.

1.4 Antena de medición

Para las mediciones realizadas según el Método de medición 2 se utiliza una antena dipolo sintonizada o una antena de referencia con una ganancia conocida en relación con una antena isótropa.

1.5 Condiciones de modulación

Las condiciones de modulación pueden resultar críticas para la evaluación de la calidad de funcionamiento del equipo, debiendo ser las mismas para las medidas de potencia dentro y fuera de banda. Cuando ello sea posible, las medidas se realizan con una modulación de índice máximo en condiciones normales de funcionamiento. A continuación se presentan algunos ejemplos.

1.5.1 Modulación analógica de la voz (por ejemplo, clases de emisión A3E, F3E y J3E)

1.5.1.1 Modulación de amplitud de la voz (clases de emisión A3E, B8E, H3E, J3E y R3E)

Se pueden emplear señales de prueba de ruido gaussiano coloreado de conformidad con el Anexo 1 a la Recomendación UIT-R SM.328. En los Anexos 2 y 5 de dicha Recomendación pueden encontrarse algunas sugerencias adicionales relativas al ajuste de los niveles de las señales de entrada.

Sin embargo, existen una serie de normas internacionales (por ejemplo la Norma Europea de Telecomunicaciones (ETS) del Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) ETS 300 373) en las que se utilizan múltiples tonos de prueba, tal como se hace en el Anexo 9 a esta Recomendación sobre límites de las emisiones en el dominio fuera de banda (límites de las emisiones del dominio fuera de banda para los servicios de radioaficionados).

1.5.1.2 Modulación de frecuencia de la voz (tipos de emisión F3E y P3E)

En el caso de transmisores que utilizan MF o de fase de banda estrecha, puede utilizarse una única frecuencia de modulación de, por ejemplo, 1 kHz.

1.5.2 Modulación digital (por ejemplo, tipos de emisión F1E, F7W, F9W, G1E, G7W, D7W)

Se debe de emplear un patrón de señal seudoaleatoria tal como el descrito en la Recomendación UIT-T O.153 con el nivel máximo de modulación. Ello puede requerir la utilización simultánea de un conjunto de códigos de Walsh específicos para los transmisores de acceso múltiple por división de código.

1.5.3 Otras modulaciones

Este asunto requiere estudios adicionales.

1.5.4 Señales de entrada de prueba para canales multiportadora

En los casos en los que se puede utilizar un amplificador para transmitir varias portadoras, deben tomarse precauciones a fin de utilizar una entrada al sistema en prueba que caracterice adecuadamente la calidad de funcionamiento fuera de banda. En tal caso, la calidad de funcionamiento fuera de banda puede evaluarse utilizando, como caso peor de prueba, dos tonos no modulados a la entrada del transmisor. Ambos tonos deben fijarse a un nivel de potencia de 6 dB por debajo de la potencia de la envolvente de cresta del transmisor. Si se considere adecuado, pueden utilizarse otras señales de entrada.

2 Limitaciones de las medidas

2.1 Limitaciones del tiempo de medida

Cualquiera que sea la señal deseada, cuando la densidad espectral de potencia varíe con el tiempo (por ejemplo, modulación de envolvente no constante), deberá utilizarse el resultado promediado de diez o más mediciones para considerar que la medición tiene la consistencia adecuada.

2.2 Señales de acceso múltiple por división en el tiempo

En el caso de señales de acceso múltiple por división en el tiempo, la potencia del canal adyacente debe medirse durante intervalos de tiempo utilizando medidas acotadas. Deberá distinguirse entre:

– el espectro de modulación continua y el ruido de banda ancha, para el que normalmente es necesario realizar la promediación sobre un determinado número de intervalos de tiempo, y

– el espectro de los transitorios de conmutación, cuando es necesario la retención de cresta (véase la Norma ETSI EN 301 087v8.2.1).

3 Métodos de medición ¡

3.1 Introducción

En este Anexo se describen dos métodos para la medición de emisiones dentro de banda y fuera de banda. El Método 2 se describe en la Publicación 16-2 del CISPR. En ambos métodos deben tomarse las precauciones necesarias para que las emisiones procedentes de la prueba no produzcan interferencias a sistemas que se encuentran en el entorno, ni que la interferencia recibida del entorno afecte a los resultados de las pruebas, así como para utilizar la función de ponderación adecuada (véase el § 1.1.1 anterior).

– El Método 1 consiste en la medición de la potencia de la emisión suministrada al terminal de la antena del equipo sometido a pruebas (EUT, *equipment under test*). Este método debe utilizarse toda vez que sea práctico y adecuado.

– El Método 2 consiste en la medición de la potencia isótropa radiada equivalente (p.i.r.e.), utilizando un emplazamiento de prueba adecuado.

NOTA 1 – En el Documento 16-2 del Comité Internacional Especial de Perturbaciones Radioeléctricas (CISPR) se describe la medición de la potencia radiada aparente (p.r.a.) en la gama de frecuencias de 30 MHz a 18 GHz. Dado que para la medición de la p.r.a. se utiliza como antena de referencia un dipolo de media onda sintonizado en lugar de una antena isótropa, la p.r.a. es 2,1 dB inferior que la p.i.r.e.).

En la mayoría de los casos, la medición de las emisiones fuera de banda radiadas puede simplificarse realizando mediciones relativas que no necesitan antenas de recepción calibradas ni la determinación de la p.i.r.e. Sin embargo, debe tenerse especial cuidado cuando se utilicen antenas de recepción activas, pues se pueden generar armónicos o productos de intermodulación con intensidades de campo más elevadas.

Los transmisores en bandas de ondas miriamétricas y kilométricas deben medirse utilizando el Método 2, pues en ese caso los límites entre transmisor, cable de alimentación y antena no siempre están claramente definidos.

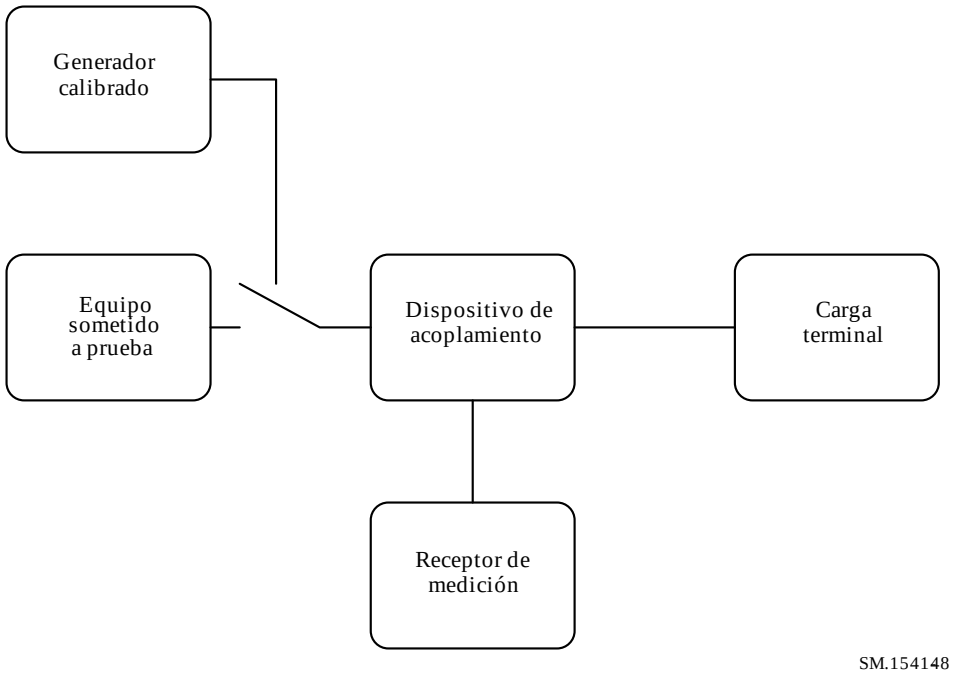
El Método 2 no puede aplicarse normalmente como una medición de la p.i.r.e. a frecuencias por debajo de 30 MHz, pues en tal caso no existen antenas de sustitución (tales como los dipolos de media onda sintonizados). En la mayoría de los casos, la medición de las emisiones en el dominio fuera de banda es relativa y puede realizarse en condiciones de campo cercano. Además, no son necesarias medidas de intensidad de campo *in situ* para sistemas por debajo de 30 MHz, pues a menudo los transmisores y los sistemas de antena son de fabricantes distintos. En general, las medidas realizadas en el terminal de la antena son aceptables y proporcionan a los fabricantes de los transmisores una forma de cumplir los límites de las emisiones fuera de banda.

3.2 Método 1 – Medición de la potencia de la emisión dentro de banda y fuera de banda suministrada al puerto de la antena

En este caso, no es necesario utilizar un emplazamiento de prueba específico ni una cámara anecoica pues la interferencia electromagnética no debe afectar a los resultados de las pruebas. Siempre que sea posible, la medición debe incluir el cable de alimentación. Este método no tiene en cuenta la atenuación debida a la desadaptación de la antena ni las ineficiencias de radiación que existen cuando se producen emisiones en el dominio fuera de banda, ni tampoco la generación activa de emisiones en el dominio fuera de banda producida por la propia antena. En la Fig. 54 se muestra la disposición utilizada para la medición de la potencia de las emisiones en el dominio fuera de banda en el puerto de la antena.

FIGURA 54

Disposición simplificada del montaje para la medición de la potencia de emisión dentro de banda y fuera de banda aplicada al puerto de la antena



3.2.1 Método de conducción directa

En este esquema, se deben calibrar individualmente todos los componentes de medición (filtro o filtros, acoplador, cables), o bien, calibrar estos dispositivos de conexión globalmente. En cualquier caso, la calibración se efectúa mediante un generador calibrado de nivel ajustable conectado a la entrada del receptor de medición. Para cada frecuencia, *f*, el factor de calibración, k_f, se determina mediante la siguiente expresión:

$$k_f = I_f - O_f$$

donde:

k_f: factor de calibración a la frecuencia *f* (dB)

I_f: potencia de entrada (entregada por el generador calibrado), a la frecuencia *f* (dBW o dBm)

O_f: potencia de salida (determinada por el receptor de medición) a la frecuencia *f* (dBW o dBm).

Este factor de calibración representa la pérdida de inserción total de todos los dispositivos conectados entre el generador y el receptor de medida.

Si se efectúan mediciones de calibración individual de los dispositivos, la calibración del montaje de medición en su totalidad se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$k_{ms,f} = \sum_i k_{i,f}$$

donde:

$k_{ms,f}$: factor de calibración del montaje de medida, a la frecuencia *f* (dB)

$k_{i,f}$: factor de calibración individual de cada dispositivo en la cadena de medición, a la frecuencia *f* (dB).

Durante la medición de los niveles no esenciales reales, $P_{r,f}$ (dBW o dBm) es la potencia (indicada en el receptor de medición) de la emisión en el dominio fuera de banda en la frecuencia *f*. La potencia de la emisión en el dominio fuera de banda, $P_{s,f}$ (la misma unidad que para $P_{r,f}$) en la frecuencia, *f*, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$P_{s,f} = P_{r,f} + k_{ms,f}$$

3.2.2 Método de sustitución

Este método no requiere la calibración de todos los componentes de medición, sino que se registra la potencia de salida recogida en el receptor de medida. Este nivel de potencia se hace coincidir entonces con una señal del ancho de la banda adecuadoa producida por un generador de señal calibrado que se sustituye al EUT. La potencia suministrada por el generador resulta ser la potencia de la emisión en el dominio fuera de banda.

3.2.3 Mediciones específicas

Se presenta a continuación una metodología para las emisiones generadas por la modulación y la intermodulación.

3.2.3.1 Ancho de banda ocupado

– Se activa el transmisor sobre una carga adaptada utilizando la modulación adecuada (véase el § 1.5).

– Utilizando un analizador de espectro acoplado para medir la potencia sobre la carga, se visualiza la densidad espectral de potencia de la emisión en una gama de frecuencias equivalente al 500% del ancho de banda de emisión necesario. En dicho ancho de banda se integra la potencia total de emisión de toda la gama de frecuencias, siendo el resultado P_{REF}.

  NOTA 1 – El ancho de banda de resolución debe ser tan aproximada como sea posible al ancho de banda de referencia, pero en cualquier caso, debe ser menor del 5% del ancho de banda ocupado si la medición se utiliza para verificar una clase de emisión).

– Se registra la frecuencia por encima de la frecuencia central de emisión a la cual la potencia total por encima de la misma es aproximadamente igual al 0,5% de P_{REF}.

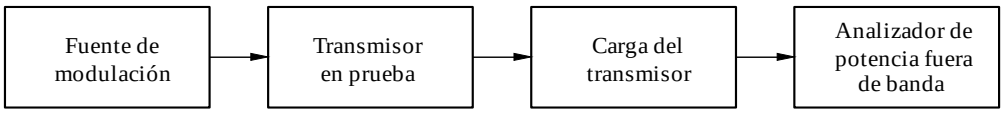
– Se registra la frecuencia por debajo de la frecuencia central de emisión a la cual la potencia total por debajo de la misma es aproximadamente igual 0,5% de P_{REF}.

La diferencia entre dichas frecuencias es el ancho de banda ocupado medida para esta emisión.

3.2.3.2 Emisiones fuera de banda debidas a la modulación

FIGURA 55

Diagrama de bloques del método simplificado de medición



SM:154149

a) El equipo se conecta tal como se muestra en la Fig. 55. El transmisor se ajusta para producir el nivel deseado a la frecuencia asignada.

b) Los niveles de ajuste y los marcadores del ancho de banda de medida del analizador, se centran a la frecuencia de funcionamiento del transmisor y, simultáneamente, a las frecuencias de la banda adyacente superior e inferior. Los anchos de banda de resolución y de vídeo se fijan de forma adecuada al ancho de banda de modulación.

c) Se activa el transmisor sobre una carga adaptada utilizando la modulación adecuada (véase el § 1.5).

d) Se mide la potencia en el analizador de potencia de la banda adyacente sobre el ancho de banda autorizado del transmisor, que se denomina P_{REF}.

e) Se mide entonces la potencia en el analizador de potencia de la banda adyacente sobre el ancho de banda de medida especificada centrada en las frecuencias de la banda adyacente superior e inferior. El valor correspondiente a la frecuencia inferior se denomina P_{ADJL}, y el valor correspondiente a la frecuencia superior se denomina P_{ADJU}.

f) Se calcula la relación de potencia con respecto a la banda adyacente inferior, $RPBA_L$:

$$RPBA_L = P_{REF} - P_{ADJL}$$

g) Se calcula la relación de potencia con respecto a la banda adyacente superior, $RPBA_U$:

$$RPBA_U = P_{REF} - P_{ADJU}$$

h) La relación de potencia con respecto a la banda adyacente, $RPBA_1$, es el menor de los valores $RPBA_L$ y $RPBA_U$.

i) Los pasos anteriores se repiten para la banda adyacente *N*-ésima.

3.2.3.3 Medición de la densidad espectral de potencia

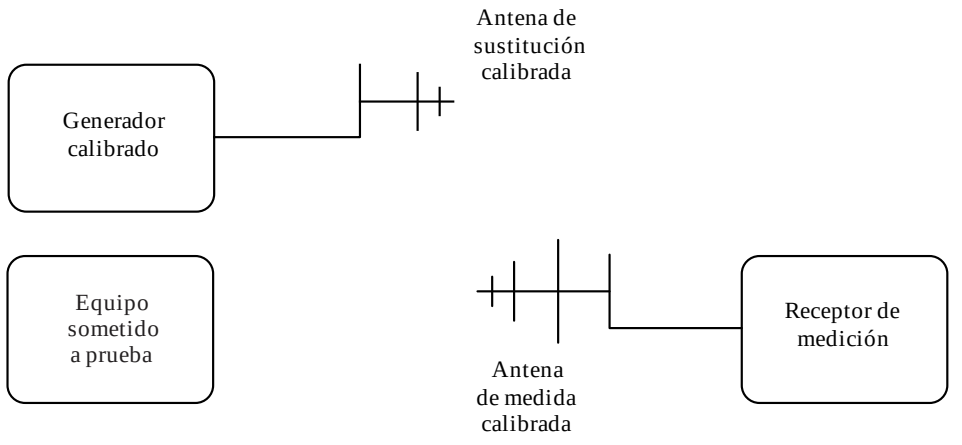
En esta medición se utiliza un analizador de espectro a fin de comparar simultáneamente la densidad espectral de potencia de una emisión con un conjunto de segmentos de líneas espectrales límites para verificar que la emisión no supera los límites en ninguna frecuencia de la gama de frecuencias de medida.

3.3 Método 2 – medición de la p.i.r.e. dentro de banda y fuera de banda

En la Fig. 56 se muestra la disposición empleada para la medición de la p.i.r.e. fuera de banda.

FIGURA 56

Disposición simplificada del montaje para la medición de la p.i.r.e. de la emisión en el dominio fuera de banda



Las mediciones de la emisión en el dominio fuera de banda pueden realizarse en condiciones de campo lejano y de campo cercano, pues en bandas relativamente estrechas las condiciones de radiación no varían de forma sustancial y sólo deben realizarse medidas relativas. La medición de la p.i.r.e. de las emisiones en el dominio fuera de banda en cualquier dirección, en ambas polarizaciones y para cualquier frecuencia, puede ser una tarea que conlleve mucho tiempo, aunque la utilización de técnicas que verifiquen el cumplimiento que utilicen mediciones relativas puede reducir el trabajo necesario. La utilización de este método para la medición de radares debe hacerse de acuerdo con las directrices de la Recomendación UIT-R M.1177.

3.3.1 Emplazamiento de prueba para la medición de las emisiones radiadas

3.3.1.1 Emplazamiento de prueba para frecuencias por debajo de 30 MHz

Por debajo de 30 MHz, las pruebas se realizan normalmente *in situ* en lugar de utilizar un emplazamiento de pruebas específico.

3.3.1.2 Emplazamientos de prueba en frecuencias comprendidas entre 30 y 1 000 MHz

El emplazamiento de prueba se validará efectuando mediciones de atenuación del emplazamiento para campos con ambas polarizaciones, horizontal y vertical, tal como se describe en la Publicación 16-1:1999-10 del CISPR. Un emplazamiento de medición se considera aceptable si las mediciones de atenuación del emplazamiento para las polarizaciones horizontal y vertical están dentro de ±4 dB de la atenuación teórica del emplazamiento.

El emplazamiento de prueba será característicamente plano, libre de conductores aéreos y de estructuras reflectoras cercanas, suficientemente amplio como para permitir ubicar la antena a la distancia especificada y proporcionar una separación adecuada entre la antena, el EUT y las estructuras reflectoras. Se dice que una estructura es reflectora cuando su material de construcción es principalmente conductor. El emplazamiento de prueba deberá tener un plano de tierra metálico horizontal. La realización de las medidas se ve notablemente aliviada dado que para las emisiones en el dominio fuera de banda sólo se realizan mediciones relativas.

También pueden realizarse pruebas en una sala apantallada de absorción. En ese caso, las paredes y el techo de la sala apantallada deben estar cubiertos de materiales absorbentes que garanticen una reflexión muy baja de la potencia. Las medidas de validación de dichas cámaras anecoicas son muy importantes para garantizar que las medidas de atenuación en el emplazamiento se realizan dentro del criterio de ±4 dB (véanse las Publicaciones 16-1 y 22 de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI)/CISPR).

El plano de tierra conductor se debe extender 1 m como mínimo de la periferia del EUT y de la antena de medición más grande, y abarcar la zona entera entre el EUT y la antena. Debe ser de metal sin orificios ni aberturas, con dimensiones mayores que un décimo de la longitud de onda a la frecuencia más elevada de medición. Si los requisitos de atenuación del emplazamiento de prueba no se satisfacen, puede ser necesario un plano de tierra conductor de mayor dimensión. Estos requisitos también se aplican en el caso de cámaras semianecoicas.

Actualmente se dispone de equipos adicionales que actúan como emplazamientos para mediciones de emisiones en el dominio no esencial. Se trata de diversos tipos de cámaras, tales como cámaras anecoicas completas (FAR, *fully anechoic room*), cámaras en modo de propagación excitado (SMC, *stirred mode chambers*), y sistemas de ondas electromagnéticas transversales (TEM, *transverse electromagnetic*) o TEM en gigahertzios (GTEM). El recinto SMC se describe en la Publicación 16-1 de CEI/CISPR. Se han publicado proyectos de textos (en otoño de 2000) de los proyectos de Norma CEI 61000-4-20 (TEM) y CEI 61000-4-21 (SMC).

3.3.1.3 Emplazamiento de prueba para el rango de frecuencias por encima de 1 GHz

(Véase la Publicación 16-1:1999-10 del CISPR, se está analizando la posibilidad de establecer requisitos de validación.)

Las pruebas se pueden realizar en una cámara completamente anecoica. También comienzan a estar disponibles cámaras de reverberación.

3.3.2 Método directo

Para este esquema, es necesario calibrar individualmente los componentes (filtro(s), cables) o calibrar todo el conjunto de medida. Véase el § 3.2.1 relativo al esquema directo la determinación del factor de calibración del conjunto de medición a la frecuencia *f*.

La p.i.r.e. de la emisión en el dominio fuera de banda, $P_{s,f}$, a la frecuencia *f*, viene dada para condiciones de espacio libre por la fórmula siguiente:

$$P_{s,f} = P_{r,f} + k_{ms,f} - G_f + 20 \log f + 20 \log d - 27{,}6$$

donde:

$P_{r,f}$: lectura de la potencia de la emisión en el dominio fuera de banda en el receptor de medida a la frecuencia *f* (dBW o dBm, la misma unidad que $P_{s,f}$)

$k_{ms,f}$: factor de calibración de la configuración de medición a la frecuencia *f* (dB)

G_f: ganancia de la antena de medición calibrada a la frecuencia *f* (dBi)

f: frecuencia de la emisión en el dominio fuera de banda (MHz)

d: distancia (m) entre la antena transmisora y la antena de medición calibrada.

3.3.3 Método de sustitución

Para este esquema se utiliza una antena de sustitución calibrada y un generador calibrado, ajustándose la fuente de la prueba para la misma señal fuera de banda recibida (véase información adicional detallada en la Publicación 16-2:1996-11 del CISPR).

Anexo 14

Aplicación de las Recomendaciones UIT-R SM.1541 y UIT-R SM.1540

Las máscaras genéricas fuera de banda tienen por objeto ser aplicadas:

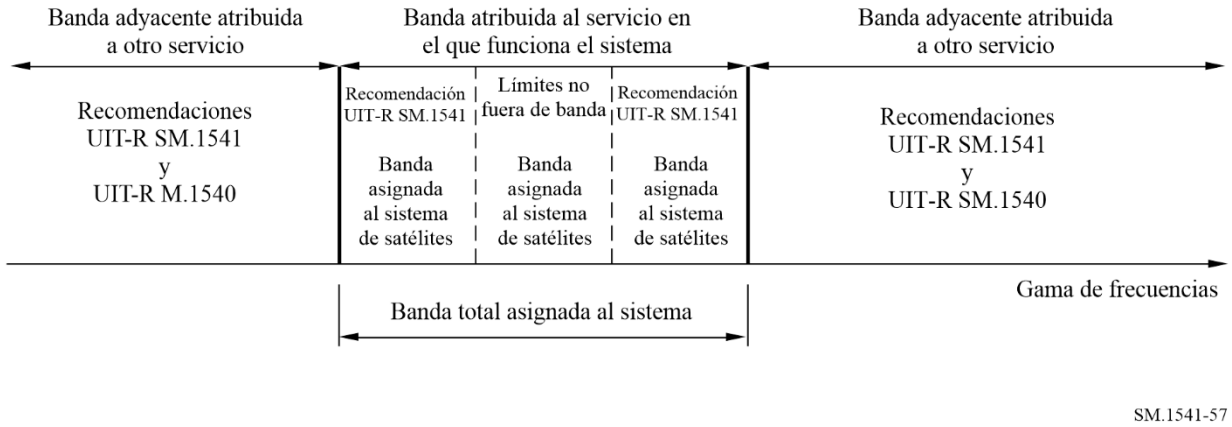
– fuera de la banda asignada al sistema cuyas emisiones en el dominio fuera de banda se están considerando, pero dentro de la banda atribuida al servicio en la cual funciona el sistema considerado; y

– dentro de las bandas adyacentes atribuidas. La Recomendación UIT-R SM.1540 proporciona directrices para emisiones muy próximas a los límites de la banda total asignada y que tienen emisiones en el dominio fuera de banda que caen dentro de una banda adyacente atribuida a otro servicio.

Todo ello se resume en la Fig. 57.

FIGURA 57

Gama de frecuencias en las que se aplican las máscaras fuera de banda genéricas



Nota a la Fig. 57: Esta Recomendación, relativa a emisiones en el dominio fuera de banda, se aplica desde el límite extremo de la banda total asignada hasta el inicio del dominio no esencial.