

RECOMENDACION UIT-R BS.1615

«Parámetros de planificación» para la radiodifusión sonora digital en frecuencias inferiores a 30 MHz

(Cuestión UIT-R 223/10)

(2003)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que el UIT-R está realizando estudios urgentes relativos al desarrollo de emisiones de radiodifusión con modulación digital en las bandas de frecuencia inferiores a 30 MHz atribuidas al servicio de radiodifusión;
- b) que en la Recomendación UIT-R BS.1514 se describe un sistema digital adecuado para la radiodifusión en bandas de frecuencia inferiores a 30 MHz;
- c) que en la Recomendación mencionada en el *considerando* b) no se han incluido valores de protección de RF aplicables a todas las combinaciones relevantes de emisiones analógicas y digitales, ya sean deseadas o no deseadas;
- d) que en la Recomendación mencionada en el *considerando* b) no se han incluido valores de mínima intensidad de campo utilizable para emisiones de señales digitales deseadas;
- e) que durante algún tiempo continuarán las emisiones analógicas en las bandas de frecuencia de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas;
- f) que la disponibilidad de un conjunto consistente de «parámetros de planificación» facilitará la introducción de emisiones digitales en dichas bandas de frecuencia,

recomienda

- 1 que en la introducción de servicios de radiodifusión digital en las bandas de frecuencia inferiores a 30 MHz se utilicen como modelo los valores de mínima intensidad de campo utilizable¹ incluidos en el Anexo 1;
- 2 que en la introducción de servicios de radiodifusión digital en las bandas a que se hace referencia en el *recomienda* 1 se utilicen como modelo los valores de las relaciones de protección de radiofrecuencia² incluidos en los Anexos 2 y 3,

invita al UIT-R

- 1 a que desarrolle el soporte lógico adecuado para la introducción de emisiones de radiodifusión digital en las bandas de radiodifusión en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas, teniendo en cuenta los «parámetros de planificación» incluidos en los Anexos a esta Recomendación, y a que participe activamente en dicho desarrollo.

¹ En lo que se refiere a los valores de mínima intensidad de campo utilizable del Anexo 1 en las bandas de radiodifusión en zonas tropicales, éstos constituyen una primera aproximación, siendo necesarias pruebas de funcionamiento real para verificar la validez de los mismos.

² Los parámetros proporcionados en esta Recomendación para la radiodifusión digital en ondas kilométricas y hectométricas tienen que ser aprobados por una conferencia de radiocomunicaciones competente. Sin embargo, hasta que se celebre dicha conferencia, estos parámetros pueden utilizarse de manera provisional, para permitir la introducción de los sistemas de radiodifusión digital de forma experimental.

Anexo 1

Mínima intensidad de campo utilizable para radiodifusión sonora digital (DSB) (sistema mundial de radiodifusión digital, DRM, *Digital Radio Mondiale*) en frecuencias inferiores a 30 MHz

1 Introducción

La información de campo mínimo utilizable incluido en este Anexo se basa en medidas realizadas utilizando el sistema DRM. Los valores son el resultado de medidas de la relación S/N obtenidas tras aplicar el procedimiento del Apéndice 1 a este Anexo. Durante la evaluación de los valores de S/N se ha tenido en cuenta la influencia de los diversos parámetros del sistema y las condiciones de propagación en las distintas bandas de frecuencia.

2 Parámetros de transmisión relevantes

2.1 Modos de robustez del sistema DRM

En la especificación del sistema DRM se definen cuatro modos de robustez con distintos parámetros (número y separación de subportadoras, longitud útil del símbolo y de su intervalo de guarda, etc.) para el esquema de transmisión de multiplexión por división en frecuencia ortogonal (MDFO) y para las condiciones de propagación en las bandas de frecuencia en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas (véase el Cuadro 1).

CUADRO 1

Modos de robustez del DRM

Modo de robustez	Condiciones típicas de propagación	Bandas de frecuencias preferidas
A	Canales de onda de superficie con desvanecimiento reducido	Ondas kilométricas y hectométricas
B	Canales selectivos en tiempo y frecuencia, con dispersión de retardo superior	Ondas hectométricas y decamétricas
C	Como el modo de robustez B, pero con dispersión Doppler superior	Sólo ondas decamétricas
D	Como el modo de robustez B, pero con retardo y efecto Doppler severo	Sólo ondas decamétricas

2.2 Tipos de ocupación del espectro

Para cada modo de robustez, la anchura de banda ocupada de la señal puede variarse en función de la banda de frecuencia y de la aplicación deseada. En el Cuadro 2 se muestran los tipos de ocupación de espectro especificados.

CUADRO 2

**Anchura de banda (kHz) de las combinaciones
de modos de robustez DRM**

Modo de robustez	Tipo de ocupación del espectro			
	0	1	2	3
A	4,208	4,708	8,542	9,542
B	4,266	4,828	8,578	9,703
C	–	–	–	9,477
D	–	–	–	9,536
Anchura de banda nominal (kHz)	4,5	5	9	10

Las anchuras de banda de la última fila del Cuadro 2 son las anchuras de banda nominales de los respectivos tipos de ocupación del espectro de la señal DRM, y los valores de las filas A a D son las anchuras de banda exactas de señal para las distintas combinaciones de modo de robustez.

2.3 Modulación y niveles de protección

Los servicios de audio se transmiten en el canal de servicio principal (MSC, *main service channel*) del múltiplex DRM. Para todos los modos de robustez se definen dos esquemas de modulación distintos (MAQ-16 o MAQ-64) para el MSC, que pueden utilizarse de forma combinada con uno de los dos (MAQ-16) o cuatro (MAQ-64) niveles de protección, respectivamente.

Cada nivel de protección se caracteriza por un conjunto específico de parámetros para los dos (MAQ-16) o tres (MAQ-64) codificadores convolucionales, resultando en un índice de codificación medio para el proceso de codificación global multinivel en el modulador. Para el nivel de protección MAQ-16, el nivel de protección N.º 0 corresponde a un índice de codificación medio de 0,5; el N.º 1 a un índice de 0,62. Para los niveles de protección MAQ-64, del N.º 0 al N.º 3 corresponden a índices de codificación medios de 0,5; 0,6; 0,71 y 0,78 respectivamente.

3 Cálculo de la mínima intensidad de campo utilizable

Para conseguir una calidad de servicio suficientemente elevada en un servicio de audio digital DRM, es necesario que la BER sea de aproximadamente 1×10^{-4} . La S/N requerida a la entrada del receptor para conseguir dicha BER es función, además de los parámetros del sistema, de las condiciones de propagación en las distintas bandas de frecuencia. En los Apéndices 2 y 3 a este Anexo se incluye información detallada al respecto.

Sobre la base de dichos valores de S/N , puede calcularse la mínima intensidad de campo utilizable aplicando el procedimiento propuesto en el Apéndice 1 a este Anexo. En los Cuadros 3 a 6 siguientes figuran los valores resultantes relevantes. Para las bandas de frecuencia en ondas kilométricas y hectométricas (Cuadros 3 a 5) sólo se incluyen resultados para el modo de robustez DRM de Tipo A. Si se desea utilizar uno de dichos modos de robustez en las bandas mencionadas, los valores de intensidad de campo correspondientes pueden calcularse con la ayuda de los valores de S/N para dichos modos que se incluyen en el Apéndice 2 a este Anexo.

CUADRO 3

Mínima intensidad de campo utilizable (dB(μ V/m)) para conseguir una BER de 1×10^{-4} en el modo de robustez A de DRM con los tipos de ocupación del espectro 0 ó 2 (4,5 ó 9 kHz) en función del esquema de modulación y del nivel de protección en ondas kilométricas (propagación por onda de superficie)

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Modo de robustez /tipo de ocupación del espectro	
			A/0 (4,5 kHz)	A/2 (9 kHz)
MAQ-16	0	0,5	39,3	39,1
	1	0,62	41,4	41,2
MAQ-64	0	0,5	44,8	44,6
	1	0,6	46,3	45,8
	2	0,71	48,0	47,6
	3	0,78	49,7	49,2

CUADRO 4

Mínima intensidad de campo utilizable (dB(μ V/m)) para conseguir una BER de 1×10^{-4} en el modo de robustez A de DRM con tipos de ocupación del espectro en función del esquema de modulación y del nivel de protección en ondas hectométricas (propagación por onda de superficie)

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Modo de robustez /tipo de ocupación del espectro	
			A/0 (4,5 kHz), A/1 (5 kHz)	A/2 (9 kHz), A/3 (10 kHz)
MAQ-16	0	0,5	33,3	33,1
	1	0,62	35,4	35,2
MAQ-64	0	0,5	38,8	38,6
	1	0,6	40,3	39,8
	2	0,71	42,0	41,6
	3	0,78	43,7	43,2

CUADRO 5

Mínima intensidad de campo utilizable (dB(μ V/m)) para conseguir una BER de 1×10^{-4} en el modo de robustez A de DRM con tipos de ocupación del espectro en función del esquema de modulación y del nivel de protección en ondas hectométricas (propagación por onda de superficie y propagación ionosférica)

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Modo de robustez /tipo de ocupación del espectro	
			A/0 (4,5 kHz), A/1 (5 kHz)	A/2 (9 kHz), A/3 (10 kHz)
MAQ-16	0	0,5	34,3	33,9
	1	0,62	37,2	37,0
MAQ-64	0	0,5	39,7	39,4
	1	0,6	41,1	40,8
	2	0,71	44,2	43,7
	3	0,78	47,4	46,5

CUADRO 6

Gama de valores de mínima intensidad de campo utilizable (dB(μ V/m)) para conseguir una BER de 1×10^{-4} en el modo de robustez B de DRM con los tipos de ocupación del espectro 1 ó 3 (5 ó 10 kHz) en función del esquema de modulación y del nivel de protección en ondas decamétricas

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Modo de robustez /tipo de ocupación del espectro	
			B/1 (5 kHz)	B/3 (10 kHz)
MAQ-16	0	0,5	19,2-22,8	19,1-22,5
	1	0,62	22,5-25,6	22,2-25,3
MAQ-64	0	0,5	25,1-28,3	24,6-27,8
	1	0,6	27,7-30,4	27,2-29,9

NOTA 1 – La obtención de los valores de los Cuadros 3 a 6 se basa en el nivel de ruido intrínseco de un receptor digital, tal como se muestra en la última fila del Cuadro del Apéndice 1 al presente Anexo. Sin embargo, cuando el efecto del ruido externo es superior al del ruido intrínseco del receptor, el valor de ruido externo debe sustituir al correspondiente valor de ruido intrínseco del Apéndice 1 al presente Anexo. La adaptación de los valores para la intensidad de campo mínimo utilizable de los Cuadros 3 a 6 puede realizarse posteriormente de conformidad con los procedimientos descritos en el Apéndice 1 al presente Anexo.

En el cálculo de la intensidad de campo no se han considerado hasta ahora cambios en el diseño de la antena ni en su integración en los receptores modernos (véase también el Apéndice 1 al presente Anexo).

En el Cuadro 6 se muestra la gama de valores de mínima intensidad de campo utilizable necesaria para conseguir el objetivo de BER en canales en ondas decamétricas utilizando el modo de robustez B. Esta gama de valores permite tener una idea de la dispersión de los resultados debida a condiciones variables de propagación en el canal (para más información sobre la evaluación de la calidad de funcionamiento del sistema véase el Apéndice 2 a este Anexo). Para las bandas de frecuencia en ondas kilométricas y hectométricas, los valores de intensidad de campo para otros modos de robustez pueden calcularse utilizando los valores de S/N del Apéndice 2 a este Anexo. Solamente el modo A no es aplicable a las transmisiones en ondas decamétricas debido a la falta de robustez de los parámetros MDFO (longitud del intervalo de guarda y separación de frecuencia de las subportadoras).

A diferencia de los valores de los Cuadros 3 a 5, los resultados para los niveles de protección N.º 2 y N.º 3 en combinación con MAQ-64, no están incluidos en el Cuadro 6 para las bandas de frecuencia en ondas decamétricas, debido a la ocurrencia de episodios de umbrales mínimos de bits erróneos, incluso para valores superiores de S/N , causados por una protección débil contra errores. Por lo tanto, dichos niveles de protección no son recomendables para la transmisión en ondas decamétricas sobre canales con un comportamiento fuertemente selectivo en tiempo y/o frecuencia (véanse los Apéndices 2 y 3 a este Anexo).

4 Comentarios adicionales

En las pruebas de campo del DRM se ha comprobado que la intensidad del desvanecimiento en el caso de la señal de banda ancha digital MDFO es sensiblemente menor al que se produce en el caso de transmisión MA analógica (principalmente la portadora) en las mismas condiciones de propagación. Este hecho debe tenerse en cuenta, ya sea en el algoritmo de predicción de la intensidad de campo media (véase la Recomendación UIT-R P.533) o en el cálculo de la fiabilidad de la transmisión (véase la Recomendación UIT-R P.842), mediante la modificación de los

correspondientes márgenes de desvanecimiento. Además, la Recomendación UIT-R P.842 – Cálculo de la fiabilidad y la compatibilidad de los sistemas radioeléctricos en ondas decamétricas, hace simplificaciones poco probables de ser aplicadas en el caso de modulaciones digitales.

Apéndice 1 al Anexo 1

Procedimiento para estimar la mínima intensidad de campo utilizable

1 La recepción se realiza utilizando receptores con antenas integradas, tal como se define en la Recomendación UIT-R BS.703 – Características de los receptores de referencia de radiodifusión sonora con modulación de amplitud para fines de planificación.

2 Sensibilidad del receptor

		Doble banda lateral (DBL) (MA)		Digital		
1	Calidad de recepción requerida	Relación S/N en las frecuencias de audio: 26 dB con índice de modulación del 30% (-10,5 dB), (Recomendación UIT-R BS.703)		BER de 1×10^{-4}		
2	C/N requerida para la calidad anterior (dB)	26 + 10,5 = 36,5		x		
3	Anchura de banda FI del receptor (kHz)	8		10 (ruido intrínseco del receptor 1 dB superior que en el caso de DBL)		
4	Sensibilidad del receptor para la C/N anterior (dB($\mu V/m$))	Ondas kilométricas	66	Requerido en la Recomendación UIT-R BS.703	$30,5 + x$	(x dB superior al ruido intrínseco del receptor)
		Ondas hectométricas	60		$24,5 + x$	
		Ondas decamétricas	40		$4,5 + x$	
5	Ruido intrínseco del receptor relacionado con la intensidad de campo, para la sensibilidad anterior (dB($\mu V/m$))	Ondas kilométricas	29,5	(36,5 dB (C/N) por debajo de la sensibilidad)	30,5	(1 dB superior que en el caso de DBL)
		Ondas hectométricas	23,5		24,5	
		Ondas decamétricas	3,5 ⁽¹⁾		4,5	

⁽¹⁾ Este valor de 3,5 dB($\mu V/m$) también está incluido en el Anexo 4 a la Recomendación UIT-R BS.560.

NOTA 1 – En el caso de receptor digital, debe utilizarse la expresión S/N en lugar de la relación C/N utilizada en el receptor de DBL analógico.

NOTA 2 – El ruido intrínseco del receptor de referencia de DBL puede considerarse 36,5 dB por debajo de la sensibilidad.

NOTA 3 – El ruido intrínseco del receptor digital de referencia se estima que es aproximadamente 1 dB superior al de DBL debido a la diferencia de anchura de banda de la FI. La sensibilidad del receptor digital de referencia para una S/N de x dB se calcula como x dB por encima de ella. El valor de x es el del Cuadro 8.

NOTA 4 – El aumento de la pérdida de antena en cualquier receptor que utilice una antena integrada de pequeño tamaño aumenta directamente el ruido intrínseco del receptor relacionado con la intensidad de campo. Esto debe tenerse en cuenta.

3 Otros factores que deben considerarse

Deben tenerse en cuenta el nivel de ruido externo (el cada vez mayor ruido generado por el hombre) y la naturaleza impulsiva de alguno de los ruidos externos. La Recomendación UIT-R P.372 analiza el ruido radioeléctrico, incluyendo información sobre el ruido impulsivo. Ello ayuda a conocer los niveles de ruido a los que debe hacer frente un sistema digital. También se incluye el efecto integrado de tormentas lejanas y se modelan las características estadísticas de la función de densidad de probabilidad de la amplitud. En la Recomendación UIT-R P.372 se establece cómo puede aplicarse dicha información.

Apéndice 2 al Anexo 1

Relaciones S/N requeridas para la recepción de DRM

1 Introducción

En la Recomendación UIT-R BS.1514 se recomienda la utilización del sistema DRM para la DSB en bandas de frecuencias de radiodifusión inferiores a 30 MHz. A fin de conseguir una calidad de servicio suficientemente elevada para los programas de audio digital transmitidos mediante este sistema, es necesario una BER de aproximadamente 1×10^{-4} . En este Apéndice se dan valores de relaciones S/N necesarias para conseguir dicho nivel de BER en condiciones típicas de propagación en las bandas de frecuencia pertinentes. Los valores se han obtenido mediante la realización de pruebas con equipos de reciente desarrollo y sobre la base de las especificaciones del DRM publicadas como TS 101 980 (V1.1.1) de septiembre de 2001 por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI). Con dichos valores de S/N , las mínimas intensidades de campo utilizables pueden calcularse aplicando el procedimiento propuesto en el Apéndice 1 al Anexo 1.

2 Valores de S/N para ondas kilométricas y hectométricas

En el Apéndice 3 al Anexo 1, se incluye una descripción detallada de los modelos de canal de transmisión utilizados para evaluar la calidad de funcionamiento del sistema. El modo de canal N.º 1 representa el comportamiento típico de un canal de transmisión con propagación por onda de superficie durante las horas diurnas en las bandas de ondas kilométricas y hectométricas. En el Cuadro 7 se presentan los valores de S/N requeridos para los distintos modos de robustez y sus tipos de ocupación de espectro típicos (2 para el modo A, es decir, anchura de banda nominal del canal de 9 kHz, y 3, es decir, 10 kHz, para los restantes) para conseguir una BER de 1×10^{-4} en dicho canal.

CUADRO 7

***S/N* (dB) para conseguir una BER de 1×10^{-4} para todos los modos de robustez DRM con los tipos de ocupación de espectro 2 ó 3 (9 ó 10 kHz) en función del esquema de modulación y del nivel de protección para el modelo de canal N.º 1**

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Modo de robustez/tipo de ocupación del espectro			
			A/2 (9 kHz)	B/3 (10 kHz)	C/3 (10 kHz)	D/3 (10 kHz)
MAQ-16	0	0,5	8,6	9,3	9,6	10,2
	1	0,62	10,7	11,3	11,6	12,1
MAQ-64	0	0,5	14,1	14,7	15,1	15,9
	1	0,6	15,3	15,9	16,3	17,2
	2	0,71	17,1	17,7	18,1	19,1
	3	0,78	18,7	19,3	19,7	21,4

Para transmisiones reales basadas en propagación por onda de superficie sólo se recomienda la utilización del modo de robustez A debido a que permite una velocidad de datos de servicio más elevada. Los valores para los otros modos se incluyen en el Cuadro 7 sólo como referencia. La degradación de la calidad de servicio en términos de *S/N* comparada con el modo A puede explicarse por el hecho de que la relación entre el número de subportadoras de datos y de señales piloto varía según el modo. En función de la robustez del modo, aumenta el número de portadoras de señales piloto que deben alimentarse en potencia en comparación con las subportadoras de datos, por lo que la potencia media utilizable por las subportadoras de datos disminuye.

Para las aplicaciones de radiodifusión simultánea (*simulcast*) en una anchura de banda nominal de canal de 9 ó 10 kHz, son adecuados los tipos de ocupación de espectro 0 y 1 del DRM. Sólo los modos de robustez A y B proporcionan esta característica. En el Cuadro 8 figuran los correspondientes valores de *S/N* para el modelo de canal N.º 1.

CUADRO 8

***S/N* (dB) para conseguir una BER de 1×10^{-4} para los modos de robustez A y B de DRM con los tipos de ocupación de espectro 0 ó 1 (4,5 ó 5 kHz) en función del esquema de modulación y del nivel de protección para el modelo de canal N.º 1**

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Modo de robustez/tipo de ocupación del espectro	
			A/0 (4,5 kHz)	B/1 (5 kHz)
MAQ-16	0	0,5	8,8	9,5
	1	0,62	10,9	11,5
MAQ-64	0	0,5	14,3	14,9
	1	0,6	15,8	16,2
	2	0,71	17,5	17,9
	3	0,78	19,2	19,5

Para la aplicación del modo de robustez A con los tipos de ocupación del espectro 1 ó 3, o del modo B con los tipos 0 ó 2, también se recomiendan los valores de S/N de los Cuadros 7 y 8 debido a que las diferencias en calidad de funcionamiento son inferiores a 0,1 dB.

A diferencia del modelo de canal N.º 1, el modelo de canal N.º 2 representa un modelo de propagación en ondas hectométricas durante la noche que incluye, además de la onda de superficie, una onda ionosférica retardada. La S/N requerida para este modelo de canal se muestra en el Cuadro 9. Sólo se presentan valores para los modos de robustez relevantes A y B (también para tipos con una menor ocupación espectral).

CUADRO 9

S/N (dB) para conseguir una BER de 1×10^{-4} para los modos de robustez A y B de DRM con distintos tipos de ocupación espectral en función del esquema de modulación y del nivel de protección para el modelo de canal N.º 2

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Modo de robustez/tipo de ocupación del espectro			
			A/0 (4,5 kHz)	A/2 (9 kHz)	B/1 (5 kHz)	B/3 (10 kHz)
MAQ-16	0	0,5	9,8	9,4	10,3	10,2
	1	0,62	12,7	12,5	13,2	13,1
MAQ-64	0	0,5	15,2	14,9	15,8	15,6
	1	0,6	16,6	16,3	17,3	16,9
	2	0,71	19,7	19,2	20,4	19,7
	3	0,78	22,9	22,0	22,8	22,3

En comparación con la propagación puramente por onda de superficie, la calidad de funcionamiento del sistema se degrada debido a la mayor selectividad de frecuencia y especialmente al comportamiento del canal lentamente selectivo con el tiempo de la onda ionosférica. Los valores indican la correlación existente entre la codificación del canal y la degradación de la S/N , es decir, cuando aumenta la velocidad de codificación también aumenta la degradación. Para una correcta interpretación de los resultados, debe considerarse que en el supuesto de la misma potencia de ruido que para la onda de superficie pura, la potencia adicional de la onda ionosférica produce una ganancia de la señal recibida de aproximadamente 1 dB es decir, la degradación resultante en dicho caso es marginal, al menos para una intensidad suficiente del esquema de protección de errores aplicado (niveles de protección N.º 0 y N.º 1).

3 Valores de S/N en ondas decamétricas

En los Cuadros 10 a 13 se muestran los valores de S/N para los tres modos de robustez que se adaptan a la transmisión en ondas decamétricas para los modelos de canal N.º 3 a N.º 6. El modo A no es aplicable en ondas decamétricas debido a la falta de robustez de los parámetros de MDFO (duración del intervalo de guarda y separación de frecuencia de las subportadoras). En el modo B se incluyen los resultados para los tipos de ocupación de espectro 1 y 3. Solamente el modo de robustez D es aplicable a canales con retardos de trayecto extremadamente prolongados y con dispersiones Doppler tal como se definen para el modelo de canal N.º 6, que es un ejemplo típico de incidencia casi vertical en zonas tropicales de propagación por onda ionosférica.

CUADRO 10

***S/N* (dB) para conseguir una BER de 1×10^{-4} para el modo de robustez B de DRM con el tipo 1 de ocupación espectral en función del esquema de modulación y del nivel de protección para los modelos de canal N.º 3 a N.º 6**

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	N.º de modelo de canal			
			3	4	5	6
MAQ-16	0	0,5	18,3	16,2	14,7	–
	1	0,62	21,1	19,3	18,0	–
MAQ-64	0	0,5	23,8	21,5	20,6	–
	1	0,6	25,9	23,7	23,2	–
	2	0,71	29,0 ⁽¹⁾	27,0 ⁽¹⁾	29,4 ⁽¹⁾	–
	3	0,78	31,2 ⁽¹⁾	30,0 ⁽¹⁾	–	–

⁽¹⁾ Niveles de protección no recomendados para ser utilizados en condiciones de propagación en ondas decamétricas con desvanecimiento severo selectivo en tiempo y frecuencia.

CUADRO 11

***S/N* (dB) para conseguir una BER de 1×10^{-4} para el modo de robustez B de DRM con el tipo 3 de ocupación espectral en función del esquema de modulación y del nivel de protección para los modelos de canal N.º 3 a N.º 6**

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	N.º de modelo de canal			
			3	4	5	6
MAQ-16	0	0,5	18,0	16,0	14,6	–
	1	0,62	20,8	19,0	17,7	–
MAQ-64	0	0,5	23,3	21,3	20,1	–
	1	0,6	25,4	23,5	22,7	–
	2	0,71	28,3 ⁽¹⁾	26,8 ⁽¹⁾	27,0 ⁽¹⁾	–
	3	0,78	30,9 ⁽¹⁾	29,7 ⁽¹⁾	–	–

⁽¹⁾ Niveles de protección no recomendados para ser utilizados en condiciones de propagación en ondas decamétricas con desvanecimiento severo selectivo en tiempo y frecuencia.

CUADRO 12

***S/N* (dB) para conseguir una BER de 1×10^{-4} para el modo de robustez C de DRM con el tipo 3 de ocupación espectral en función del esquema de modulación y del nivel de protección para los modelos de canal N.º 3 a N.º 6**

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	N.º de modelo de canal			
			3	4	5	6
MAQ-16	0	0,5	18,0	16,5	14,6	–
	1	0,62	20,9	19,1	17,6	–
MAQ-64	0	0,5	23,6	21,3	20,2	–
	1	0,6	25,6	23,7	22,3	–
	2	0,71	29,0 ⁽¹⁾	26,8 ⁽¹⁾	26,4 ⁽¹⁾	–
	3	0,78	32,3 ⁽¹⁾	29,6 ⁽¹⁾	33,3 ⁽¹⁾	–

⁽¹⁾ Niveles de protección no recomendados para ser utilizados en condiciones en propagación de ondas decamétricas con desvanecimiento severo selectivo en tiempo y frecuencia.

CUADRO 13

***S/N* (dB) para conseguir una BER de 1×10^{-4} para el modo de robustez D de DRM con el tipo 3 de ocupación espectral en función del esquema de modulación y del nivel de protección para los modelos de canal N.º 3 a N.º 6**

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	N.º de modelo de canal			
			3	4	5	6
MAQ-16	0	0,5	18,5	16,9	15,3	16,0
	1	0,62	21,2	19,9	18,3	19,2
MAQ-64	0	0,5	24,2	22,2	20,8	22,1
	1	0,6	26,3	24,5	22,9	25,2
	2	0,71	29,2 ⁽¹⁾	27,6 ⁽¹⁾	27,2 ⁽¹⁾	29,3 ⁽¹⁾
	3	0,78	32,1 ⁽¹⁾	31,7 ⁽¹⁾	35,5 ⁽¹⁾	32,5 ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Niveles de protección no recomendados para ser utilizados en condiciones de propagación en ondas decamétricas con desvanecimiento severo selectivo en tiempo y frecuencia.

Para la modulación MAQ-16, así como para MAQ-64 con una buena protección contra errores (niveles de protección N.º 0 y N.º 1), el modo de robustez B consigue la mejor calidad de funcionamiento, es decir, los valores de *S/N* más bajos para conseguir una transmisión de audio de alta calidad. En el modelo de canal N.º 5, en el que domina el efecto del desvanecimiento rápido en ambos trayectos, la mayor robustez de los modos C y D juega, a la vista de la sincronización y estimación de canal, un papel cada vez más importante cuando la intensidad de codificación es reducida.

Sin embargo, los resultados para los niveles de protección N.º 2 y N.º 3 en combinación con MAQ-64 muestran una degradación creciente de la calidad de funcionamiento debida a la ocurrencia de algún episodio de umbral mínimo de bits erróneos, incluso para un valor más elevado

de S/N . Por lo tanto, dichos niveles de protección no son recomendables para la transmisión en ondas decamétricas sobre canales con un comportamiento fuertemente selectivo en frecuencia y tiempo, tal como ocurre en los modelos de canal N.º 3 y N.º 6. También debe tenerse en cuenta que los valores que se muestran en los Cuadros representan casos típicamente malos de transmisión en ondas decamétricas, pero no necesariamente los peores que pueden ocurrir. Los valores de S/N para ondas decamétricas y para ondas hectométricas con propagación por onda ionosférica constituyen un índice útil para conseguir la calidad de servicio requerida, aunque ésta no puede garantizarse en cualquier circunstancia.

Apéndice 3 al Anexo 1

Predicción y modelado de la propagación radioeléctrica para la DSB en frecuencias inferiores a 30 MHz

1 Introducción

Para poner en marcha la DSB, debe tenerse en cuenta el efecto de los canales radioeléctricos en la calidad de recepción en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas. En principio, las tres son canales con trayectos múltiples, pues tanto la superficie de la Tierra como la ionosfera participan en los mecanismos de la propagación electromagnética. En el resto de este Apéndice se describen métodos para predecir y simular los perfiles de los trayectos múltiples.

2 Predicción de la propagación ionosférica en ondas decamétricas

Para la propagación ionosférica, la Recomendación UIT-R P.533 – Método para la predicción de la propagación de las ondas decamétricas, proporciona parámetros relativos al modo de propagación radioeléctrica y a la intensidad de campo. El retardo de un modo de propagación individual, tal como predice la Recomendación para distancias de hasta 7 000 km viene dado por la expresión siguiente:

$$\tau = (p'/c) \times 10^3 \quad \text{ms}$$

donde:

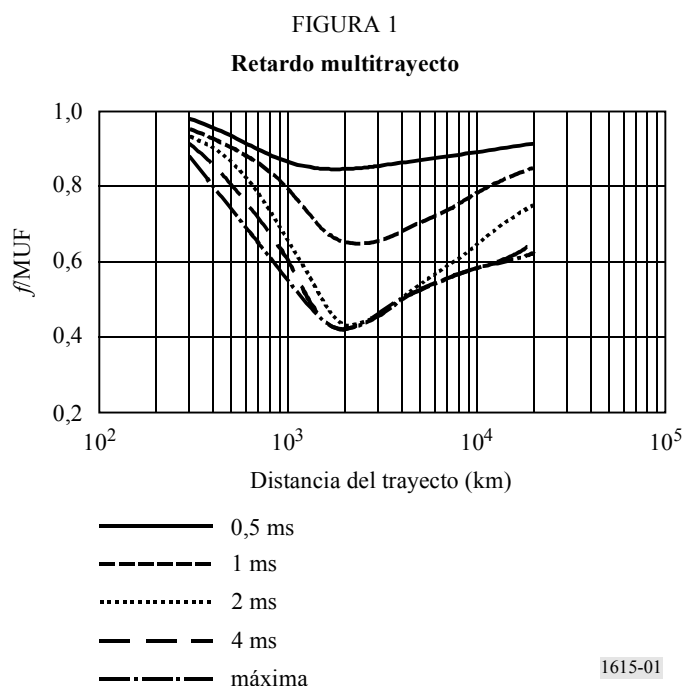
p' : es la distancia real (km)

c : es la velocidad de la luz (km/s).

Los valores de retardo para cada modo individual pueden utilizarse conjuntamente con la intensidad de campo predicha para cada modo, de conformidad con el procedimiento descrito en el § 5.1.3 de la Recomendación UIT-R P.533 para obtener el perfil del retardo medio, estimando así la dispersión temporal multitrayecto.

Cuando sólo se utiliza un modo de propagación (por ejemplo, un salto F), la propagación puede incluir hasta cuatro componentes multitrayecto, ya que pueden existir los modos O y X (componentes de polarización magneto-iónica) y los rayos de ángulo elevado y de ángulo bajo a frecuencias próximas a la máxima frecuencia utilizable (MUF). Cuando la relación entre la frecuencia de trabajo y la MUF supera 0,9, los componentes magneto-iónicos son distinguibles

entre sí, existiendo de dos a cuatro rayos con potencias relativas idénticas y una dispersión temporal total de aproximadamente 0,3 a 0,6 ms. Conforme la relación entre frecuencia de trabajo y MUF baja de 0,9, los modos O y X se fusionan y el rayo de ángulo elevado se desenfoca y llega a desaparecer, limitando la dispersión total en el trayecto. A título orientativo, en la Fig. 1 se muestran valores típicos de la dispersión multitrayecto máxima para varias distancias y relaciones entre la frecuencia de trabajo y la MUF de trayecto instantánea.



Estos valores pueden no ser aplicables a trayectos que atraviesan la región ecuatorial (baja inclinación magnética) después del atardecer, o en regiones donde se producen fenómenos boreales durante épocas de perturbaciones ionosféricas. En tales casos, la dispersión temporal puede aumentar hasta un máximo de aproximadamente 4 ms. Es probable que este efecto sea más severo durante los periodos en los que tienen lugar irregularidades ionosféricas ecuatoriales, es decir, marzo-abril, junio y septiembre-octubre.

Para calibrar la estructura del modo y el desvanecimiento multimodo de señales ionosféricas en ondas decamétricas, cada modo puede describirse de forma aproximada mediante una distribución Rice-Nakagami, en la que el factor k representa la relación entre la reflexión especular y la reflexión difusa de la capa.

3 Predicción de la propagación por onda de superficie y por onda ionosférica en ondas hectométricas

En lo que se refiere a las ondas hectométricas, se recomienda utilizar el enfoque simplificado de la Recomendación UIT-R P.1321 – Factores de propagación que afectan a los sistemas con técnicas de modulación digital en ondas kilométricas y hectométricas, tanto para las predicciones de ondas de superficie como de onda ionosférica.

4 Modelización de los canales de propagación

El enfoque consiste en utilizar modelos estocásticos variables con el tiempo junto con estadísticas estacionarias y definir modelos para condiciones buenas, moderadas y malas tomando valores de parámetros adecuados del modelo general. Uno de dichos modelos, con parámetros adaptables, es el modelo de dispersión estacionaria no correlada de sentido amplio (WSSUS, *wide sense stationary uncorrelated scattering*). La justificación para utilizar el enfoque estacionario con distintos conjuntos de parámetros reside en que los resultados obtenidos en canales reales corresponden a curvas de BER situadas entre el caso mejor y el caso peor obtenidos mediante simulación.

Los modelos de canal se han generado a partir de las ecuaciones siguientes, en las que $e(t)$ y $s(t)$ son las envolventes complejas de las señales de entrada y de salida respectivamente:

$$s(t) = \sum_{k=1}^n \rho_k c_k(t) e(t - \Delta_k) \quad (1)$$

Se trata de una línea de retardo con tomas en la que:

ρ_k : es la atenuación del trayecto número k (enumerado en el Cuadro 14)

Δ_k : es el retardo relativo del trayecto número k (enumerado en el Cuadro 14).

Los pesos de las derivaciones función del tiempo $\{c_k(t)\}$ son procesos aleatorios gaussianos estacionarios de valor complejo y media cero. Las magnitudes de $|c_k(t)|$ tienen una distribución de Rayleigh y las fases $\Phi(t)$ están distribuidas uniformemente.

Para cada peso $\{c_k(t)\}$ existe un proceso estocástico, caracterizado por su varianza y su espectro de densidad de potencia (PDS, *power density spectrum*). La varianza es una medida de la potencia media de señal que se recibe a través de este trayecto y se define mediante la atenuación relativa ρ_k , y el PDS determina la velocidad media de la variación temporal. La anchura del PDS se cuantifica mediante un número al que hace referencia como dispersión Doppler, D_{sp} , del trayecto (enumerado en el Cuadro 14).

Puede existir una frecuencia central del PDS distinta de cero que puede interpretarse como un desplazamiento medio de frecuencia o desplazamiento Doppler, D_{sh} (enumerado en el Cuadro 14).

El PDS se modela filtrando ruido blanco (es decir, un PDS constante) y es igual a:

$$\Phi_{n_t, n_r}(f) = N_0 |H(f)|^2 \quad (2)$$

$H(f)$ es la función de transferencia del filtro. Los procesos estocásticos de cada trayecto individual se convierten en procesos de Rayleigh. Para el trayecto ionosférico, se demuestra que la forma gaussiana es una buena aproximación a las observaciones reales.

El perfil Doppler de cada trayecto k se define como:

$$|H(f)|^2 = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_d^2}} e^{-\frac{(f-D_{sh})^2}{2\sigma_d^2}} \quad (3)$$

La dispersión Doppler está presente a ambos lados de la distribución y contiene el 68% de la potencia:

$$D_{sp} = 2\sigma_d \quad (4)$$

CUADRO 14

Conjunto de modelos de canal de transmisión

Modelo de canal N.º 1 (ruido gaussiano blanco aditivo)		Buena:	Ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas		
		Típica/moderada:	Ondas kilométricas con S/N variable		
		Mala:			
	Trayecto 1				
Retardo, Δ_k (ms)	0				
Ganancia del trayecto, valor eficaz, ρ_k	1				
Desplazamiento Doppler, D_{sh} (Hz)	0				
Dispersión Doppler, D_{sp} (Hz)	0				

Modelo de canal N.º 2 (onda de superficie + ionosférica)		Buena:	Ondas hectométricas y decamétricas		
		Típica/moderada:			
		Mala:			
	Trayecto 1	Trayecto 2			
Retardo, Δ_k (ms)	0	1			
Ganancia del trayecto, valor eficaz, ρ_k	1	0,5			
Desplazamiento Doppler, D_{sh} (Hz)	0	0			
Dispersión Doppler, D_{sp} (Hz)	0	0,1			

Modelo de canal N.º 3		Buena:	Ondas decamétricas		
		Típica/moderada:	Ondas hectométricas		
		Mala:			
	Trayecto 1	Trayecto 2	Trayecto 3	Trayecto 4	
Retardo, Δ_k (ms)	0	0,7	1,5	2,2	
Ganancia del trayecto, valor eficaz, ρ_k	1	0,7	0,5	0,25	
Desplazamiento Doppler, D_{sh} (Hz)	0,1	0,2	0,5	1,0	
Dispersión Doppler, D_{sp} (Hz)	0,1	0,5	1,0	2,0	

Modelo de canal N.º 4		Buena:	Ondas decamétricas		
		Típica/moderada:			
		Mala:			
	Trayecto 1	Trayecto 2			
Retardo, Δ_k (ms)	0	2			
Ganancia del trayecto, valor eficaz, ρ_k	1	1			
Desplazamiento Doppler, D_{sh} (Hz)	0	0			
Dispersión Doppler, D_{sp} (Hz)	1	1			

CUADRO 14 (*Fin*)

Modelo de canal N.º 5		Buena: Típica/moderada: Mala: Ondas decamétricas		
	Trayecto 1	Trayecto 2		
Retardo, Δ_k (ms)	0	4		
Ganancia del trayecto, valor eficaz, ρ_k	1	1		
Desplazamiento Doppler, D_{sh} (Hz)	0	0		
Dispersión Doppler, D_{sp} (Hz)	2	2		

Modelo de canal N.º 6 (incidencia casi vertical en zonas tropicales)		Buena: Típica/moderada: Mala: Ondas decamétricas		
	Trayecto 1	Trayecto 2	Trayecto 3	Trayecto 4
Retardo, Δ_k (ms)	0	2	4	6
Ganancia del trayecto, valor eficaz, ρ_k	0,5	1	0,25	0,0625
Desplazamiento Doppler, D_{sh} (Hz)	0	1,2	2,4	3,6
Dispersión Doppler, D_{sp} (Hz)	0,1	2,4	4,8	7,2

Anexo 2

Relaciones de protección de RF para la DSB (sistema DRM) en frecuencias inferiores a 30 MHz

1 Introducción

La especificación del sistema DRM permite varios modos de robustez (A a D) y de tipos de ocupación del espectro (0 a 5) de las señales DRM. En este Anexo sólo se utilizan determinadas combinaciones de modo de robustez (A a D) y de tipo de ocupación de espectro (0 a 3). Los parámetros de las combinaciones de modo utilizadas, es decir, el correspondiente número de subportadoras y la separación entre las mismas en la señal MDFO dan lugar a las anchuras de banda que figuran en las filas A a D del Cuadro 15.

CUADRO 15

Anchuras de banda para combinaciones de modo DRM (kHz)

Modo de robustez	Tipo de ocupación de espectro			
	0	1	2	3
A	4,208	4,708	8,542	9,542
B	4,266	4,828	8,578	9,703
C				9,477
D				9,536
Anchura de banda nominal (kHz)	4,5	5	9	10

Las anchuras de banda de la última fila del Cuadro 15 son las anchuras de banda nominales de las respectivas ocupaciones de espectro de la señal DRM y los valores de las filas A a D son las anchuras de banda de señal exactas para las diferentes combinaciones de modo.

2 Relaciones de protección de RF

Las combinaciones de tipos de ocupación de espectro y de modos de robustez dan lugar a varios espectros de RF del transmisor que causan niveles de interferencias distintos y que, por tanto, requieren relaciones de protección de RF diferentes. En el Apéndice 2 a este Anexo se describe con detalle el método de cálculo empleado. Las diferencias entre las relaciones de protección para los distintos modos de robustez DRM son bastante reducidas. Por lo tanto, las relaciones de protección de RF de los Cuadros siguientes se limitan al modo de robustez B. En el Apéndice 1 a este Anexo se presentan resultados de cálculos adicionales.

En el Cuadro 16 se muestran los resultados de los cálculos para una señal MA interferida por una digital, y en el Cuadro 17, el caso de una señal digital interferida por una señal MA. Estos valores están calculados para señales MA con una elevada compresión. En el Cuadro 18 se muestran las relaciones de protección de RF para señales digitales interferidas por otras señales digitales. En el Cuadro 19 se muestran los valores de corrección para la recepción DRM utilizando distintos esquemas de modulación y niveles de protección.

Los valores de los Cuadros 16 a 18 representan relaciones de protección de RF relativas, $A_{RF_relativa}$. Para el caso de señales exclusivamente MA, la relación de protección relativa es la diferencia en dB entre la relación de protección cuando las portadoras de los transmisores deseado y no deseado tienen una diferencia en frecuencia de Δf Hz y la relación de protección cuando las portadoras de dichos transmisores tienen la misma frecuencia (Recomendación UIT-R BS.560), es decir, relación de protección de RF cocanal, A_{RF} , que se corresponde con la relación de protección de AF, A_{AF} . En el caso de una señal digital, el valor relevante para la determinación de la diferencia de frecuencia es su frecuencia nominal, en lugar de la frecuencia portadora. Para los tipos de ocupación de espectro 2 y 3, la frecuencia nominal coincide con la frecuencia central del bloque MDFO, mientras que para los tipos 0 y 1, la frecuencia central está desplazada aproximadamente 2,2 y 2,4 kHz, respectivamente, por encima de la frecuencia nominal. Debido a que el espectro de la señal interferente es distinto al espectro de AF de una señal MA analógica, los valores de la relación de protección de RF relativa para interferencia cocanal son distintos de cero.

Para ajustar el Cuadro 16 a un determinado escenario de planificación de MA, la relación de protección de AF relevante debe añadirse a los valores del Cuadro para obtener la relación de protección de RF requerida (véase el Apéndice 2 al presente Anexo). Un valor relevante puede ser determinado teniendo en cuenta:

- para la banda de ondas decamétricas, la relación de protección de AF de 17 dB, valor adoptado para la planificación de radiodifusión en ondas decamétricas por la CAMR HFBC-87 para una señal MA interferida por otra señal MA;
- para las bandas de ondas kilométricas y hectométricas, la relación de protección de AF de 30 dB, valor adoptado por la Conferencia Administrativa Regional de Radiodifusión en ondas kilométricas y hectométricas para las Regiones 1 y 3 (Ginebra, 1975) para una señal MA interferida por otra señal MA.

Si la señal deseada es DRM, la relación de protección de AF debe sustituirse como parámetro de calidad de servicio por la relación S/I necesaria para conseguir una determinada BER. En los cálculos se supone un valor umbral de BER de 1×10^{-4} (véase el Anexo 1). Los valores de la relación de protección de los Cuadros 17 y 18 se basan en modulación MAQ-64 y en el nivel de protección N.º 1. Para otras combinaciones, a los valores de S/I incluidos en los Cuadros anteriores deben añadirse los valores de corrección del Cuadro 19.

CUADRO 16

**Relaciones de protección de RF relativas entre sistemas de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz (dB)
Señal MA interferida por una señal digital**

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencias $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B_{DRM} (kHz)	$A_{AF}^{(1),(2)}$ (dB)
MA	DRM_B0 ⁽³⁾	-50,4	-50,4	-49	-35,5	-28,4	6,4	6,6	-30,9	-46,7	-48,2	-50,4	-50,4	-50,4	4,5	-
MA	DRM_B1 ⁽⁴⁾	-51	-50,5	-47,6	-32	-23,8	6	6	-31,1	-45,7	-47,4	-51	-51	-51	5	-
MA	DRM_B2	-48,8	-46,9	-43,5	-34,4	-29,7	3,4	6,5	3,4	-29,7	-34,4	-43,5	-46,9	-48,8	9	-
MA	DRM_B3	-47,2	-45,3	-41,9	-32	-25,9	3	6	3	-25,9	-32	-41,9	-45,3	-47,2	10	-

B_{DRM} : anchura de banda nominal de la señal DRM

DRM_B0: señal DRM, modo de robustez B, tipo de ocupación espectral 0

- (1) La relación de protección de RF para una señal MA interferida por una señal digital puede calcularse sumando a valores del Cuadro un valor adecuado a la relación de protección de AF de conformidad con un determinado escenario de planificación.
- (2) Los valores de este Cuadro hacen referencia al caso específico de una elevada compresión MA. Por consistencia con el Cuadro 17, se ha supuesto la misma profundidad de modulación para la señal MA, a saber, la asociada con una elevada compresión. Para ofrecer una protección adecuada de señales MA con niveles normales de compresión (tal como se define en el Apéndice 1 al Anexo 2), los valores del Cuadro deben aumentarse para tener en cuenta la diferencia entre compresión normal y elevada.
- (3) La frecuencia central de la transmisión DRM_B0 está desplazada aproximadamente 2,2 kHz por encima de la frecuencia nominal.
- (4) La frecuencia central de la transmisión DRM_B1 está desplazada aproximadamente 2,4 kHz por encima de la frecuencia nominal.

CUADRO 17

**Relaciones de protección de RF relativas entre sistemas de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz (dB)
Señal digital (MAQ-64, nivel de protección N.º 1) interferida por una señal MA**

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B_{DRM} (kHz)	S/I (dB)
DRM_B0 ⁽¹⁾	MA	-57,7	-55,5	-52,2	-46,1	-45	-36,2	0	-3,5	-30,9	-41,1	-46,9	-50,6	-53	4,5	4,6
DRM_B1 ⁽²⁾	MA	-57,4	-55,2	-51,9	-45,9	-44,7	-36	0	-0,2	-22	-37,6	-46	-49,6	-52	5	4,6
DRM_B2	MA	-54,6	-52,4	-48,8	-42,8	-33,7	-6,4	0	-6,4	-33,7	-42,8	-48,8	-52,4	-54,6	9	7,3
DRM_B3	MA	-53,9	-51,5	-48	-39,9	-25	-3,1	0	-3,1	-25	-39,9	-48	-51,5	-53,9	10	7,3

S/I : relación señal/interferencia para una BER de 1×10^{-4}

- (1) La frecuencia central de la transmisión DRM_B0 está desplazada aproximadamente 2,2 kHz por encima de la frecuencia nominal.
- (2) La frecuencia central de la transmisión DRM_B1 está desplazada aproximadamente 2,4 kHz por encima de la frecuencia nominal.

CUADRO 18

Relaciones de protección de RF relativas entre sistemas de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz (dB)
Señal digital (MAQ-64, nivel de protección N.º 1) interferida por otra señal digital

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B_{DRM} (kHz)	S/I (dB)
DRM_B0	DRM_B0	-60	-59,9	-60	-55,2	-53,2	-40,8	0	-40,8	-53,2	-55,2	-60	-59,9	-60	4,5	16,2
DRM_B0	DRM_B1	-60,1	-60	-59,5	-52,5	-50,4	-37,4	0	-40	-51,6	-53,6	-59,8	-60	-60,1	5	15,7
DRM_B0	DRM_B2	-57,4	-55,7	-52,9	-46,7	-45,1	-36,6	0	-0,8	-35,6	-38,4	-47,7	-51,5	-53,6	9	13,2
DRM_B0	DRM_B3	-55,2	-53,6	-50,7	-44,5	-42,9	-33,1	0	-0,1	-13,6	-36,2	-45,5	-49,3	-51,4	10	12,6
DRM_B1	DRM_B0	-59,4	-59,5	-59,5	-55	-53	-40,8	0	-37,9	-51,7	-53,9	-59,4	-59,5	-59,4	4,5	16,2
DRM_B1	DRM_B1	-60	-60	-59,5	-52,8	-50,8	-37,8	0	-37,8	-50,8	-52,8	-59,5	-60	-60	5	16,2
DRM_B1	DRM_B2	-57,1	-55,4	-52,6	-46,4	-44,9	-36,4	0	-0,1	-13,7	-36,8	-46,6	-50,5	-52,7	9	13,2
DRM_B1	DRM_B3	-55,5	-53,8	-51	-44,8	-43,3	-33,5	0	-0,1	-8,1	-35,2	-45	-48,9	-51,1	10	13,2
DRM_B2	DRM_B0	-57	-56,8	-54,8	-43,4	-39,1	-0,7	0	-40,6	-52,2	-53,9	-57	-57	-57	4,5	15,9
DRM_B2	DRM_B1	-56,9	-56,1	-52,7	-40,2	-14,1	-0,1	0	-39,7	-50,8	-52,5	-56,9	-57	-57	5	15,4
DRM_B2	DRM_B2	-55,1	-53,1	-49,5	-40,7	-38,1	-3,7	0	-3,7	-38,1	-40,7	-49,5	-53,1	-55,1	9	15,9
DRM_B2	DRM_B3	-52,9	-51	-47,4	-38,6	-16,6	-3,2	0	-3,2	-16,6	-38,6	-47,4	-51	-52,9	10	15,4
DRM_B3	DRM_B0	-56,4	-56,2	-53,8	-41,1	-14,1	-0,1	0	-37,7	-50,9	-52,8	-56,4	-56,4	-56,4	4,5	15,9
DRM_B3	DRM_B1	-56,8	-55,7	-52,1	-38,2	-8,2	-0,1	0	-37,6	-50,1	-51,9	-56,7	-57	-57	5	15,9
DRM_B3	DRM_B2	-54,3	-52,3	-48,6	-39,3	-16,7	-3,1	0	-3,1	-16,7	-39,3	-48,6	-52,3	-54,3	9	15,9
DRM_B3	DRM_B3	-52,7	-50,7	-47	-37,7	-11,1	-3,1	0	-3,1	-11,1	-37,7	-47	-50,7	-52,7	10	15,9

CUADRO 19

Valores de corrección de S/I de los Cuadros 17 y 18 utilizados para otras combinaciones de esquema de modulación y de N.º de nivel de protección

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Valores de corrección (dB) para el modo de robustez/ tipo de ocupación espectral DRM	
			B/0 (4,5 kHz), B/1 (5 kHz)	B/2 (9 kHz), B/3 (10 kHz)
MAQ-16	0	0,5	-6,7	-6,6
	1	0,62	-4,7	-4,6
MAQ-64	0	0,5	-1,3	-1,2
	1	0,6	0,0	0,0
	2	0,71	1,7	1,8
	3	0,78	3,3	3,4

3 Reducción de la potencia de RF para la DSB

La introducción de una señal digital en un entorno existente debe realizarse garantizando que la nueva señal no causará a las estaciones de MA una interferencia superior a la que causa la señal MA a la que sustituye la señal digital. Los valores de reducción de potencia necesarios para cumplir este requisito pueden determinarse fácilmente cuando se conocen las relaciones de protección de RF de una señal MA interferida por una señal MA y la de una señal MA interferida por una señal digital.

La relación de protección de RF es la diferencia entre la potencia requerida para la señal deseada y para la señal no deseada con la que se consigue una determinada calidad (ya sea la S/N de audio analógico o de señal digital). Cuando la calidad de audio deseada es comparable en el caso de señal MA interferida por señal MA al caso de señal MA interferida por señal digital, la diferencia en la relación de protección de RF es la reducción de potencia requerida.

La Recomendación UIT-R BS.560 contiene las relaciones de protección relativas de RF para señales MA interferidas por señales MA (véase el Cuadro 20).

CUADRO 20

Relaciones de protección de RF relativas para una señal MA interferida por otra señal MA

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)												
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20
MA	MA	-55,4	-53,3	-49,5	-35,5	-29,0	-2,5	0,0	-2,5	-29,0	-35,5	-49,5	-53,3	-55,4

Con dicha información, la reducción de potencia requerida para los distintos modos DRM puede calcularse como la diferencia entre los valores del Cuadro 23 y del Cuadro 20. Los resultados se recogen en el Cuadro 21.

CUADRO 21

Reducción de potencia necesaria

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B_{DRM} (kHz)	A_{AF} (dB)
MA	DRM_A0	5	2,9	0,4	-0,1	0,5	9	6,6	-28,6	-17,9	-12,8	-0,9	2,9	5	4,5	-
MA	DRM_A1	4,5	2,7	1,6	3	4,5	8,6	6,1	-28,8	-17	-12,2	-1,4	2,4	4,5	5	-
MA	DRM_A2	6,5	6,3	5,9	1	-0,8	5,9	6,6	5,9	-0,8	1	5,9	6,3	6,5	9	-
MA	DRM_A3	8	7,8	7,4	3,1	2,5	5,6	6,1	5,6	2,5	3,1	7,4	7,8	8	10	-
MA	DRM_B0	5	2,9	0,5	0	0,6	8,9	6,6	-28,4	-17,7	-12,7	-0,9	2,9	5	4,5	-
MA	DRM_B1	4,4	2,8	1,9	3,5	5,2	8,5	6	-28,6	-16,7	-11,9	-1,5	2,3	4,4	5	-
MA	DRM_B2	6,6	6,4	6	1,1	-0,7	5,9	6,5	5,9	-0,7	1,1	6	6,4	6,6	9	-
MA	DRM_B3	8,2	8	7,6	3,5	3,1	5,5	6	5,5	3,1	3,5	7,6	8	8,2	10	-
MA	DRM_C3	7,9	7,7	7,3	2,9	2,3	5,6	6,1	5,6	2,3	2,9	7,3	7,7	7,9	10	-
MA	DRM_D3	8	7,8	7,3	3,1	2,5	5,6	6,1	5,6	2,5	3,1	7,3	7,8	8	10	-

En el Cuadro 21 puede apreciarse que para algunos modos, la reducción de potencia requerida para restringir la interferencia sobre transmisiones MA para determinadas separaciones de frecuencia, es ligeramente superior al valor cocanal. En tal caso, debe considerarse si la señal con modulación digital es en algún caso interferente para una de dichas separaciones de frecuencia, y si se trata de la interferencia más fuerte. En tal caso, debe tenerse en cuenta el valor más elevado.

Apéndice 1 al Anexo 2

Relaciones de protección de RF calculadas para DSB (sistema DRM) en frecuencias inferiores a 30 MHz

1 Introducción

En este Apéndice se presenta información adicional sobre relaciones de protección de RF calculadas necesarias para MA y recepción DRM. Las relaciones de protección de RF se obtienen mediante los parámetros incluidos en el § 1 del Apéndice 2 al presente Anexo y aplicando el método de cálculo descrito en el § 2 del mismo Apéndice.

2 Parámetros de cálculo

2.1 Señal analógica

Transmisor MA

- Frecuencia de corte o anchura de banda: $F_{tx} = 4,5$ kHz, es decir, $B = 9$ kHz
- Pendiente del filtro paso bajo de AF: -60 dB/octava, comenzando en 0 dB en F_{tx}

(Véase la Fig. 6 del Apéndice 2 a este Anexo)

- Distorsión armónica: $k_2 = 0$ $k_3 = 0,7\%$ (–43 dB)
- Intermodulación: $d_3 = -40$ dB
- Umbral de ruido: –60,3 dBc/kHz

Con los anteriores parámetros, el espectro de RF calculado satisface la máscara espectral de la Recomendación UIT-R SM.328.

Modulación MA

- Señal moduladora para la onda no deseada: ruido coloreado conforme a la Recomendación UIT-R BS.559
- Profundidad de modulación: $m_{v,ef} = 25\%$ (corresponde a una señal de programa con compresión normal)
- Compresión elevada: aumenta la potencia en la banda lateral en 6,5 dB con compresión normal

Receptor MA

- Curva de selectividad: $B_{AF} = 2,2$ kHz, pendiente = 35 dB/octava, véanse las Figs. 2 y 3
- Evaluación de la señal de audio: valor eficaz (r.m.s.) utilizado para la evaluación de la señal³
- Relación de protección de AF: valor deseado.

2.2 Señal DRM

La especificación DRM permite varios modos de robustez (A a D) y tipos de ocupación del espectro (0 a 5) de señales DRM. En este Apéndice sólo se utilizan determinadas combinaciones de modos de robustez (A a D) y de tipos de ocupación del espectro (0 a 3). Los parámetros para las combinaciones de modo utilizadas, es decir, el número de subportadoras y la correspondiente separación entre subportadoras en la señal MDFO da lugar a las anchuras de banda que se recogen en las filas A a D del Cuadro 22.

CUADRO 22

Anchuras de banda para combinaciones de modo DRM (kHz)

Modo de robustez	Tipo de ocupación del espectro			
	0	1	2	3
A	4,208	4,708	8,542	9,542
B	4,266	4,828	8,578	9,703
C				9,477
D				9,536
Anchura de banda nominal (kHz)	4,5	5	9	10

³ Ponderación sofométrica conforme a la Recomendación UIT-R BS.468.

Las anchuras de banda de la última fila del Cuadro 22 son las anchuras de banda nominales para las respectivas ocupaciones de espectro de la señal DRM, y los valores de las filas A a D son las anchuras de banda de señal exactas para las distintas combinaciones de modo.

Transmisor de señales digitales

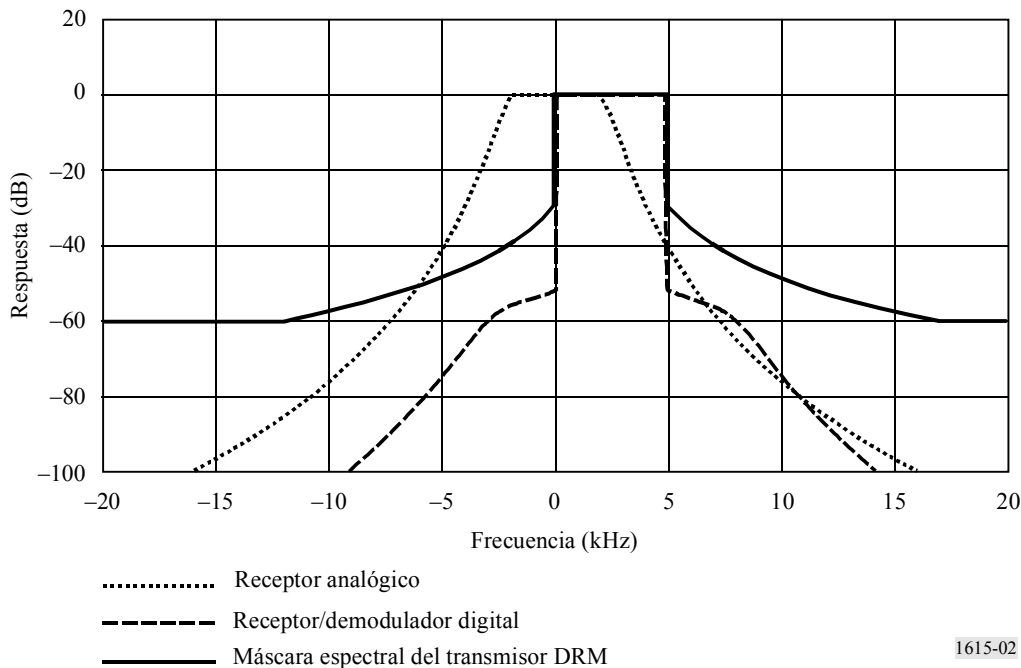
- Anchuras de banda: véase el Cuadro 22
- Máscaras espectrales: calculadas conforme a la Recomendación UIT-R SM.328, § 6.3.3 del Anexo 1, utilizando las anchuras de banda exactas F del Cuadro 22. Ello incluye una atenuación de 30 dB a $\pm 0,53 F$, a partir de la cual existe una pendiente de -12 dB/octava hasta -60 dB. En las Figs. 2 y 3 se representan ejemplos de máscaras para los tipos de ocupación del espectro 1 (5 kHz) y 3 (10 kHz) (incluyendo las curvas de los filtros para receptores MA y digitales).

Receptor/demodulador para señales digitales

- Anchuras de banda: véase el Cuadro 22
- Distancia de hombros: 52 dB⁴
- Filtro de FI adicional: B_{IF} = anchura de banda nominal DRM + 6 kHz, pendiente = 35 dB/octava⁴
- Curva de selectividad: véanse ejemplos en las Figs. 2 y 3
- S/I requerida para una BER de 1×10^{-4} : válida para MAQ-64, nivel de protección N.º 1

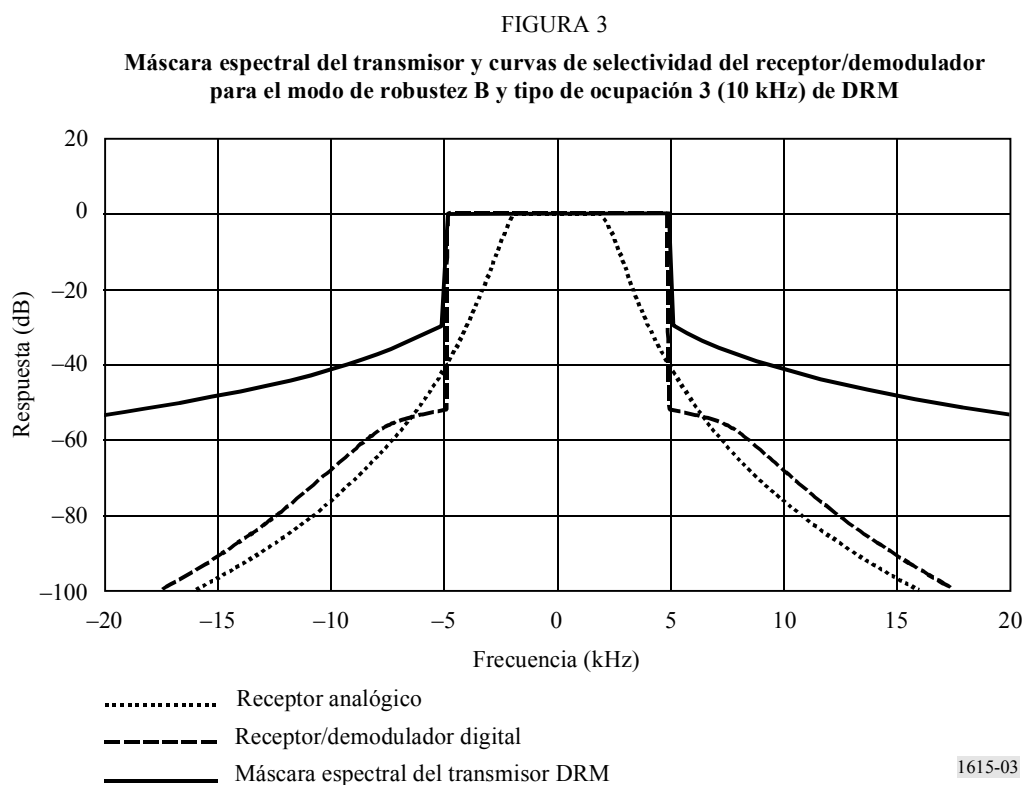
FIGURA 2

Máscara espectral del transmisor y curvas de selectividad del receptor/demodulador para el modo de robustez B y tipo de ocupación 1 (5 kHz) de DRM



1615-02

⁴ Estos parámetros se han elegido para aproximar las relaciones de protección de RF calculadas a los valores medidos.



3 Relaciones de protección de RF

Las combinaciones de tipos de ocupación espectral y de modos de robustez dan lugar a varios espectros de RF del transmisor, que causan distintas interferencias y que, por tanto, requieren distintas relaciones de protección de RF. En el Apéndice 2 a este Anexo se describe con detalle el método de cálculo aplicado.

En el Cuadro 23 se muestran los resultados de los cálculos para una señal MA interferida por una señal digital y en el Cuadro 24 los de una señal digital interferida por una señal MA. Estos valores están calculados para señales MA con una elevada compresión. En el Cuadro 25 se muestran las relaciones de protección de RF para una señal digital interferida por otra señal digital para todas las combinaciones de modo digitales, pero sólo para emparejamientos de combinaciones de modo idénticas, por ejemplo, señal digital con modo B3 (modo de robustez B, ocupación de espectro 3) interferida por una señal digital B3. El Cuadro 26 muestra relaciones de protección de RF entre casos de ocupación espectral idénticas y diferentes, pero únicamente para el modo de robustez B. En los Cuadros 27 a 29 se muestran los factores de corrección para distintos esquemas de modulación.

CUADRO 23

**Relaciones de protección de RF relativas entre sistemas de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz (dB)
Señal MA interferida por una señal digital**

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B_{DRM} (kHz)	$A_{AF}^{(1), (2)}$ (dB)
MA	DRM_A0	-50,4	-50,4	-49,1	-35,6	-28,5	6,5	6,6	-31,1	-46,9	-48,3	-50,4	-50,4	-50,4	4,5	-
MA	DRM_A1	-50,9	-50,6	-47,9	-32,5	-24,5	6,1	6,1	-31,3	-46	-47,7	-50,9	-50,9	-50,9	5	-
MA	DRM_A2	-48,9	-47	-43,6	-34,5	-29,8	3,4	6,6	3,4	-29,8	-34,5	-43,6	-47	-48,9	9	-
MA	DRM_A3	-47,4	-45,5	-42,1	-32,4	-26,5	3,1	6,1	3,1	-26,5	-32,4	-42,1	-45,5	-47,4	10	-
MA	DRM_B0	-50,4	-50,4	-49	-35,5	-28,4	6,4	6,6	-30,9	-46,7	-48,2	-50,4	-50,4	-50,4	4,5	-
MA	DRM_B1	-51	-50,5	-47,6	-32	-23,8	6	6	-31,1	-45,7	-47,4	-51	-51	-51	5	-
MA	DRM_B2	-48,8	-46,9	-43,5	-34,4	-29,7	3,4	6,5	3,4	-29,7	-34,4	-43,5	-46,9	-48,8	9	-
MA	DRM_B3	-47,2	-45,3	-41,9	-32	-25,9	3	6	3	-25,9	-32	-41,9	-45,3	-47,2	10	-
MA	DRM_C3	-47,5	-45,6	-42,2	-32,6	-26,7	3,1	6,1	3,1	-26,7	-32,6	-42,2	-45,6	-47,5	10	-
MA	DRM_D3	-47,4	-45,5	-42,2	-32,4	-26,5	3,1	6,1	3,1	-26,5	-32,4	-42,2	-45,5	-47,4	10	-

A_{AF} : relación de protección de AF

DRM_A0: señal DRM, modo de robustez A, tipo de ocupación 0

- (1) La relación de protección de RF para una señal MA interferida por una señal digital puede calcularse sumando a los valores del Cuadro un valor adecuado a la relación de protección de AF de conformidad con un determinado escenario de planificación.
- (2) Los valores del Cuadro hacen referencia al caso específico de elevada compresión MA. Por consistencia con el Cuadro 25, se ha supuesto la misma profundidad de modulación para la señal MA, a saber, la asociada con una elevada compresión. Para ofrecer una relación de protección adecuada de señales MA con niveles normales de compresión (tal como se define en el Apéndice 1 al Anexo 2) los valores del Cuadro deben aumentarse para tener en cuenta la diferencia entre compresión normal y elevada.

CUADRO 24

Relaciones de protección de RF relativas entre sistemas de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz (dB)
 Señal digital (MAQ-64, nivel de protección N.º 1) interferida por una señal MA

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B_{DRM} (kHz)	S/I (dB)
DRM_A0	MA	-57,7	-55,5	-52,2	-46,2	-45	-36,7	0	-3,5	-31,2	-41,1	-47	-50,7	-53	4,5	4,2
DRM_A1	MA	-57,5	-55,2	-52	-45,9	-44,8	-36,6	0	-0,6	-22,8	-38,4	-46,1	-49,8	-52,2	5	4,2
DRM_A2	MA	-54,7	-52,4	-48,8	-42,9	-34	-6,5	0	-6,5	-34	-42,9	-48,8	-52,4	-54,7	9	6,7
DRM_A3	MA	-54	-51,7	-48,1	-40,6	-25,8	-3,6	0	-3,6	-25,8	-40,6	-48,1	-51,7	-54	10	6,7
DRM_B0	MA	-57,7	-55,5	-52,2	-46,1	-45	-36,2	0	-3,5	-30,9	-41,1	-46,9	-50,6	-53	4,5	4,6
DRM_B1	MA	-57,4	-55,2	-51,9	-45,9	-44,7	-36	0	-0,2	-22	-37,6	-46	-49,6	-52	5	4,6
DRM_B2	MA	-54,6	-52,4	-48,8	-42,8	-33,7	-6,4	0	-6,4	-33,7	-42,8	-48,8	-52,4	-54,6	9	7,3
DRM_B3	MA	-53,9	-51,5	-48	-39,9	-25	-3,1	0	-3,1	-25	-39,9	-48	-51,5	-53,9	10	7,3
DRM_C3	MA	-54	-51,7	-48,1	-40,9	-26,1	-3,8	0	-3,8	-26,1	-40,9	-48,1	-51,7	-54	10	7,7
DRM_D3	MA	-54	-51,7	-48,1	-40,7	-25,8	-3,6	0	-3,6	-25,8	-40,7	-48,1	-51,7	-54	10	8,6

CUADRO 25

Relaciones de protección de RF relativas entre sistemas de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz (dB)
 Señal digital (MAQ-64, nivel de protección N.º 1) interferida por otra señal digital
 (modos de robustez y tipos de ocupación espectral idénticos)

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B_{DRM} (kHz)	S/I (dB)
DRM_A0	DRM_A0	-60,1	-60	-60	-55,4	-53,4	-41,2	0	-41,2	-53,4	-55,4	-60	-60	-60,1	4,5	15,8
DRM_A1	DRM_A1	-60	-60	-59,7	-53,3	-51,3	-38,4	0	-38,4	-51,3	-53,3	-59,7	-60	-60	5	15,8
DRM_A2	DRM_A2	-55,1	-53,1	-49,6	-40,8	-38,3	-3,8	0	-3,8	-38,3	-40,8	-49,6	-53,1	-55,1	9	15,3
DRM_A3	DRM_A3	-53	-51	-47,3	-38,1	-12,1	-3,2	0	-3,2	-12,1	-38,1	-47,3	-51	-53	10	15,3
DRM_B0	DRM_B0	-60	-59,9	-60	-55,2	-53,2	-40,8	0	-40,8	-53,2	-55,2	-60	-59,9	-60	4,5	16,2
DRM_B1	DRM_B1	-60	-60	-59,5	-52,8	-50,8	-37,8	0	-37,8	-50,8	-52,8	-59,5	-60	-60	5	16,2
DRM_B2	DRM_B2	-55,1	-53,1	-49,5	-40,7	-38,1	-3,7	0	-3,7	-38,1	-40,7	-49,5	-53,1	-55,1	9	15,9
DRM_B3	DRM_B3	-52,7	-50,7	-47	-37,7	-11,1	-3,1	0	-3,1	-11,1	-37,7	-47	-50,7	-52,7	10	15,9
DRM_C3	DRM_C3	-53,2	-51,1	-47,5	-38,3	-12,6	-3,2	0	-3,2	-12,6	-38,3	-47,5	-51,1	-53,2	10	16,3
DRM_D3	DRM_D3	-53	-51	-47,4	-38,1	-12,2	-3,2	0	-3,2	-12,2	-38,1	-47,4	-51	-53	10	17,2

CUADRO 26

Relaciones de protección de RF relativas entre sistemas de radiodifusión en frecuencias inferiores a 30 MHz (dB)
Señal digital (MAQ-64, nivel de protección N.º 1) interferida por otra señal digital

Señal deseada	Señal no deseada	Separación de frecuencia $f_{no\ deseada} - f_{deseada}$ (kHz)													Parámetros	
		-20	-18	-15	-10	-9	-5	0	5	9	10	15	18	20	B_{DRM} (kHz)	S/I (dB)
DRM_B0	DRM_B0	-60	-59,9	-60	-55,2	-53,2	-40,8	0	-40,8	-53,2	-55,2	-60	-59,9	-60	4,5	16,2
DRM_B0	DRM_B1	-60,1	-60	-59,5	-52,5	-50,4	-37,4	0	-40	-51,6	-53,6	-59,8	-60	-60,1	5	15,7
DRM_B0	DRM_B2	-57,4	-55,7	-52,9	-46,7	-45,1	-36,6	0	-0,8	-35,6	-38,4	-47,7	-51,5	-53,6	9	13,2
DRM_B0	DRM_B3	-55,2	-53,6	-50,7	-44,5	-42,9	-33,1	0	-0,1	-13,6	-36,2	-45,5	-49,3	-51,4	10	12,6
DRM_B1	DRM_B0	-59,4	-59,5	-59,5	-55	-53	-40,8	0	-37,9	-51,7	-53,9	-59,4	-59,5	-59,4	4,5	16,2
DRM_B1	DRM_B1	-60	-60	-59,5	-52,8	-50,8	-37,8	0	-37,8	-50,8	-52,8	-59,5	-60	-60	5	16,2
DRM_B1	DRM_B2	-57,1	-55,4	-52,6	-46,4	-44,9	-36,4	0	-0,1	-13,7	-36,8	-46,6	-50,5	-52,7	9	13,2
DRM_B1	DRM_B3	-55,5	-53,8	-51	-44,8	-43,3	-33,5	0	-0,1	-8,1	-35,2	-45	-48,9	-51,1	10	13,2
DRM_B2	DRM_B0	-57	-56,8	-54,8	-43,4	-39,1	-0,7	0	-40,6	-52,2	-53,9	-57	-57	-57	4,5	15,9
DRM_B2	DRM_B1	-56,9	-56,1	-52,7	-40,2	-14,1	-0,1	0	-39,7	-50,8	-52,5	-56,9	-57	-57	5	15,4
DRM_B2	DRM_B2	-55,1	-53,1	-49,5	-40,7	-38,1	-3,7	0	-3,7	-38,1	-40,7	-49,5	-53,1	-55,1	9	15,9
DRM_B2	DRM_B3	-52,9	-51	-47,4	-38,6	-16,6	-3,2	0	-3,2	-16,6	-38,6	-47,4	-51	-52,9	10	15,4
DRM_B3	DRM_B0	-56,4	-56,2	-53,8	-41,1	-14,1	-0,1	0	-37,7	-50,9	-52,8	-56,4	-56,4	-56,4	4,5	15,9
DRM_B3	DRM_B1	-56,8	-55,7	-52,1	-38,2	-8,2	-0,1	0	-37,6	-50,1	-51,9	-56,7	-57	-57	5	15,9
DRM_B3	DRM_B2	-54,3	-52,3	-48,6	-39,3	-16,7	-3,1	0	-3,1	-16,7	-39,3	-48,6	-52,3	-54,3	9	15,9
DRM_B3	DRM_B3	-52,7	-50,7	-47	-37,7	-11,1	-3,1	0	-3,1	-11,1	-37,7	-47	-50,7	-52,7	10	15,9

CUADRO 27

Valores de corrección de *S/I* aplicables a los valores de los Cuadros 24 y 25 para otras combinaciones de esquema de modulación y N.º de nivel de protección

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Valores de corrección (dB) para el modo de robustez/tipo de ocupación espectral DRM	
			A/0 (4,5 kHz), A/1 (5 kHz)	A/2 (9 kHz), A/3 (10 kHz)
MAQ-16	0	0,5	-7,0	-6,7
	1	0,62	-4,9	-4,6
MAQ-64	0	0,5	-1,5	-1,2
	1	0,6	0,0	0,0
	2	0,71	1,7	1,8
	3	0,78	3,4	3,4

CUADRO 28

Valores de corrección de *S/I* aplicables a los valores de los Cuadros 24, 25 y 26 para otras combinaciones de esquema de modulación y N.º de nivel de protección

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Valores de corrección (dB) para el modo de robustez/tipo de ocupación espectral DRM	
			B/0 (4,5 kHz), B/1 (5 kHz)	B/2 (9 kHz), B/3 (10 kHz)
MAQ-16	0	0,5	-6,7	-6,6
	1	0,62	-4,7	-4,6
MAQ-64	0	0,5	-1,3	-1,2
	1	0,6	0,0	0,0
	2	0,71	1,7	1,8
	3	0,78	3,3	3,4

CUADRO 29

Valores de corrección de *S/I* aplicables a los valores de los Cuadros 24 y 25 para otras combinaciones de esquema de modulación y N.º de nivel de protección

Esquema de modulación	N.º de nivel de protección	Índice de codificación medio	Valores de corrección (dB) para el modo de robustez/tipo de ocupación espectral DRM	
			C/3 (10 kHz)	D/3 (10 kHz)
MAQ-16	0	0,5	-6,7	-7,0
	1	0,62	-4,7	-5,1
MAQ-64	0	0,5	-1,2	-1,3
	1	0,6	0,0	0,0
	2	0,71	1,8	1,9
	3	0,78	3,4	4,2

Los valores de los Cuadros 23 a 26 representan relaciones de protección de RF relativas, $A_{RF_relativa}$. Para el caso de señales exclusivamente MA, la relación de protección relativa es la diferencia (dB) entre la relación de protección cuando las portadoras de los transmisores deseados y no deseados tienen una diferencia de frecuencia de Δf Hz, y la relación de protección cuando las portadoras de dichos transmisores tienen la misma frecuencia (Recomendación UIT-R BS.560), es decir, relación de protección de RF cocanal, A_{RF} que se corresponde con la relación de protección de AF, A_{AF} . En el caso de una señal digital, el valor relevante para determinar la diferencia de frecuencia es su frecuencia nominal, y no la frecuencia portadora. Para los tipos de ocupación del espectro 2 y 3, la frecuencia nominal se corresponde con la frecuencia central del bloque MDFO, mientras que para los tipos 0 y 1, la frecuencia central está desplazada aproximadamente 2,2 y 2,4 kHz, respectivamente, por encima de la frecuencia nominal. Debido a que el espectro de la señal interferente es distinto del espectro de AF de una señal MA analógica, los valores de la relación de protección relativa de AF para interferencia cocanal son distintos de cero.

Para ajustar el Cuadro 23 a un determinado escenario de planificación de MA, la relación de protección de AF relevante debe añadirse a los valores del Cuadro para obtener la relación de protección de RF requerida (véase el Apéndice 2 a este Anexo). Un valor relevante puede ser determinado teniendo en cuenta:

- para la banda de ondas decamétricas, la relación de protección de AF de 17 dB; valor adoptado para la planificación de la radiodifusión en ondas decamétricas por la CAMR HFBC-87 para una señal MA interferida por otra señal MA;
- para las bandas de ondas kilométricas y hectométricas, la relación de AF de 30 dB, valor adoptado por la Conferencia Administrativa Regional de Radiodifusión en ondas kilométricas y hectométricas para las Regiones 1 y 3 (Ginebra, 1975) para una señal MA interferida por otra señal MA.

Si la señal deseada es DRM, la relación de protección de AF debe sustituirse como parámetro de la calidad de servicio por la relación S/I necesaria para conseguir una determinada BER. En los cálculos se supone un valor umbral de BER de 1×10^{-4} (véase el Anexo 1). Los valores de la relación de protección de los Cuadros 24 y 25 se basan en la modulación MAQ-64 y en el nivel de protección N.º 1. Para otras combinaciones, a los valores de S/I incluidos en los Cuadros anteriores deben añadirse los valores de corrección del Cuadro 26.

Apéndice 2 al Anexo 2

Método de medida y determinación de las relaciones de protección de RF

1 Método de medida de conformidad con la Recomendación UIT-R BS.559

1.1 Método de cálculo

Se ha decidido que las relaciones de protección de RF deben determinarse utilizando el método de cálculo que se señala en el § 2 de este Apéndice.

1.2 Relación de potencia de RF MA/digital

La potencia de RF de una señal MA es la potencia de la portadora MA, mientras que la potencia de RF de una señal digital es la potencia total en la anchura de banda de la señal deseada.

1.3 Características del receptor

1.3.1 Curva de selectividad del receptor MA

Se ha decidido utilizar para el cálculo de las relaciones de protección de RF la curva de selectividad de un receptor de MA moderno (anchura de banda de AF = 2,2 kHz, pendiente = 35 dB/octava). Otras razones para esta decisión han sido la previsible escasa influencia sobre las relaciones de protección y que dicha curva de selectividad no es demasiado optimista.

1.3.2 Receptor digital: *S/I* requerida

Para el cálculo de las relaciones de protección de RF, la *S/I* medida del sistema digital se utiliza junto con las respectivas relaciones de protección. Por lo tanto, los valores proporcionados podrán ser ulteriormente revisados para tener en cuenta desarrollos futuros.

1.4 Utilización de la máscara espectral DRM

Debido a que las señales digitales no deben causar una interferencia superior a la producida por las transmisiones MA existentes, se ha decidido aplicar la máscara espectral DRM medida para el cálculo de las relaciones de protección de RF.

1.5 Separaciones de frecuencia

Las relaciones de protección de RF deben obtenerse para las separaciones de frecuencia siguientes:

- Separación de canales de 9 kHz: 0 kHz, 9 kHz, 18 kHz;
- Separación de canales de 10 kHz: 0 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 15 kHz, 20 kHz.

2 Determinación de las relaciones de protección de RF para DSB en las bandas de radiodifusión inferiores a 30 MHz

2.1 Introducción

Para poder introducir un sistema DRM en un entorno existente, debe asegurarse que la señal modulada digitalmente no causa sobre otras estaciones MA existentes más interferencia que la que produce la señal MA a la que sustituye el sistema DRM. Por otro lado, la interferencia procedente de las estaciones MA existentes debe de ser suficientemente baja como para permitir una recepción fiable de la señal digital. Por lo tanto, son necesarias relaciones de protección para los cuatro casos siguientes:

- recepción MA interferida por transmisiones MA (MA-MA).
- recepción MA interferida por señales con modulación digital (MA-DIG).
- recepción de señales con modulación digital interferidas por transmisiones MA (DIG-MA).
- recepción de señales con modulación digital interferidas por señales con modulación digital (DIG-DIG).

Las relaciones de protección de RF pueden medirse utilizando directamente el método descrito en la Recomendación UIT-R BS.559 o utilizando un método adaptado, teniendo en cuenta las distintas características de modulación, o bien, pueden ser calculadas. El primero de los casos anteriores, (MA-MA) está incluido en las curvas de relaciones de protección de la Recomendación UIT-R BS.560. Para limitar el número de mediciones complejas que se deben realizar, y en la medida en que sólo exista un número reducido de receptores de señales con modulación digital, puede ser útil calcular las relaciones de protección de RF para los restantes casos. El cálculo de las relaciones de protección tiene la ventaja adicional de que los parámetros del sistema aplicados pueden modificarse fácilmente.

Para determinar las relaciones de protección se ha desarrollado un modelo de cálculo basado en un método numérico que permite calcular las relaciones de protección para sistemas de transmisión MA y en la Recomendación UIT-R BS.559. Este método permite obtener, para determinados supuestos, relaciones de protección bastante similares a las obtenidas mediante la Recomendación UIT-R BS.560. La diferencia entre los valores calculados para MA-MA y las curvas de las relaciones de protección de la UIT son despreciables (véanse en el Cuadro 30 las dos últimas columnas $\Delta A_{RI}/\text{dB}$). Por lo tanto, este modelo también puede utilizarse para calcular relaciones de protección de RF con suficiente precisión para una señal MA interferida por DRM.

Las relaciones de protección de RF para el caso de una señal DRM interferida por MA o por DRM, también pueden calcularse utilizando este modelo, pero en ese caso existen más incertidumbres debido a que la calidad de funcionamiento de los receptores DRM y la influencia de las portadoras MA sobre la recepción DRM no son aún suficientemente conocidas.

2.2 Modelo de cálculo

2.2.1 Método de cálculo

Las relaciones de protección de RF se calculan simulando los transmisores de las señales deseadas y no deseadas e inyectando sus señales con distintas separaciones de canal en un receptor simulado (véase la Fig. 4). La relación de protección de RF requerida es la diferencia entre la respuesta a la señal no deseada y a la señal deseada.

La interferencia total sobre la señal deseada se calcula tomando la suma de potencia de la interferencia causada por las bandas laterales de la señal no deseada y la interferencia causada por la portadora de RF (en el caso de señales MA).

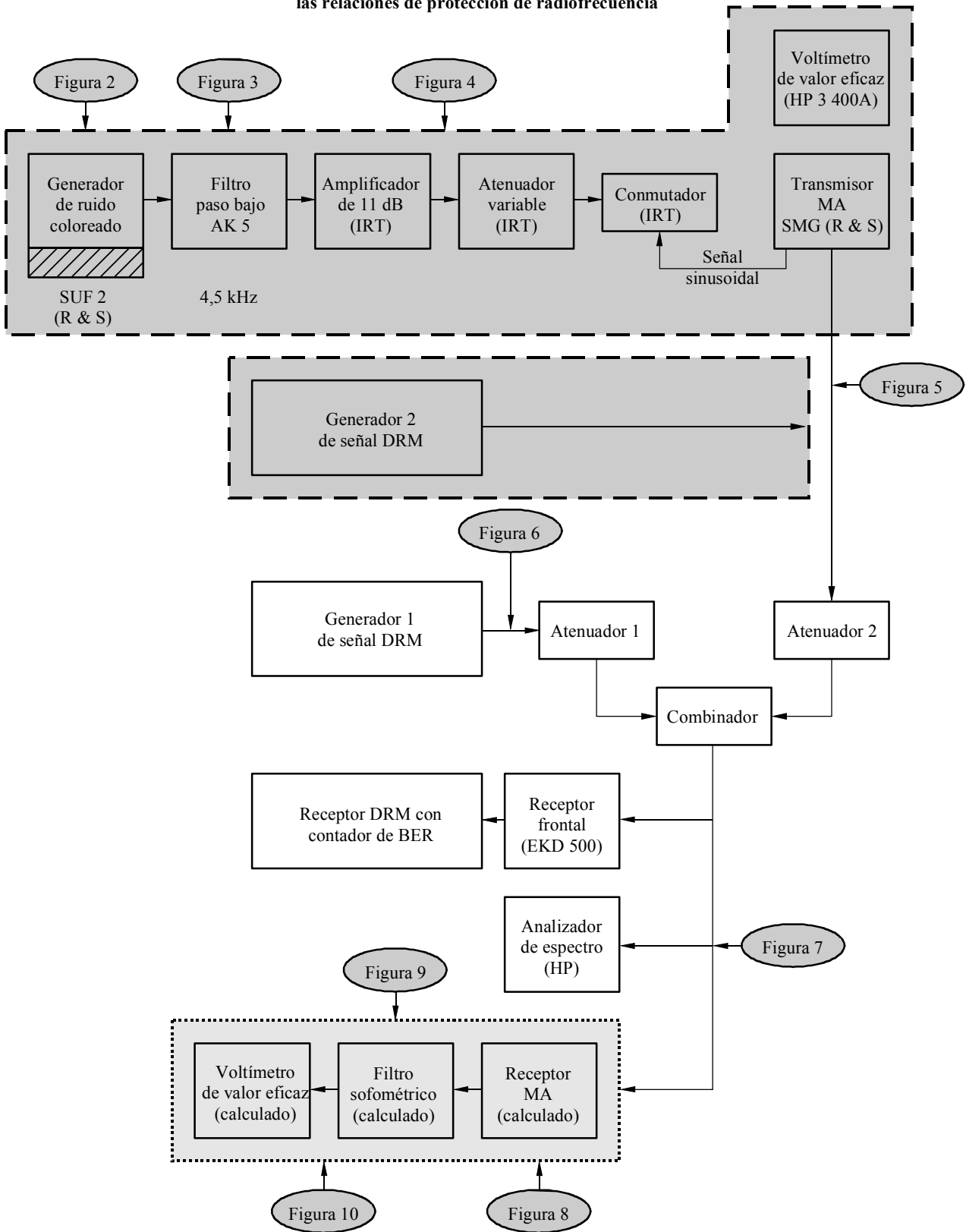
Este cálculo permite obtener relaciones de protección de RF relativas. La relación de protección de RF absoluta para proteger el servicio MA existente, se obtiene añadiendo la relación de protección de AF deseada (véase el § 3.4) aplicando la ecuación siguiente:

$$A_{RF} = A_{RF_relativa} + A_{AF} \quad (5)$$

La protección de RF para DRM se obtiene mediante un cálculo similar. En lugar de la relación de protección de AF, se tiene en cuenta la relación S/I requerida (véase el § 3.7) para una BER especificada:

$$A_{RF} = A_{RF_relativa} + S/I \quad (6)$$

FIGURA 4
Configuración de prueba para el cálculo y/o medición de las relaciones de protección de radiofrecuencia



Se añade cuando se requiere

Simulado para el cálculo

2.3 Modelo del transmisor

En el § 3 se presenta el conjunto completo de parámetros del transmisor utilizados para el cálculo.

En el caso de transmisiones MA, se supone una modulación con ruido coloreado de conformidad con la Recomendación UIT-R BS.559 (véase el § 3.3), tal como se recomienda para la medición de relaciones de protección de MA. La distribución espectral de la señal radiada se compone de la señal moduladora, la distorsión armónica, la intermodulación, el filtro del transmisor y el nivel umbral de ruido (véanse los § 3.1 y 3.2).

Para transmisores con modulación digital, se utiliza el espectro medido de los transmisores DRM o un espectro teórico supuesto que cumpla los requisitos de las emisiones fuera de banda (véanse los § 3.1, 3.5 y 3.6).

2.4 Modelo del receptor

En el § 3 se presenta el conjunto completo de parámetros del receptor utilizados para el cálculo.

Para la verificación del método de cálculo, en el caso de recepción MA, se utilizan las características del receptor de medición con filtro paso de banda (MBF, *measurement receiver with band-pass filter*) (véase el § 3.4 y la Fig. 11a). Las componentes espectrales situadas dentro de su banda de paso se ponderan de conformidad con la Recomendación UIT-R BS.468 (véase la Fig. 12) y se suman sus potencias, ya sea como señal deseada o como señal no deseada.

Las características de un receptor de señales con modulación digital vienen dadas por su selectividad (véanse los § 3.1 y 3.7). Se suma la potencia de todas las componentes espectrales situadas dentro de la banda de paso, ya sea como señales deseadas o como señales no deseadas.

2.5 Ampliación ulterior del modelo de cálculo

Puede ser necesario ampliar el modelo de cálculo para calcular las relaciones de protección de RF en el caso de transmisiones simultáneas (SIM, *simulcast*), lo cual conduce a tener que considerar cinco casos de interferencia adicionales:

- recepción MA interferida por transmisiones simultáneas (MA-SIM).
- recepción de señales con modulación digital interferidas (DIG) por transmisiones simultáneas (DIG-SIM).
- recepción simultánea interferida por transmisiones MA (SIM-MA).
- recepción simultánea interferida por señales con modulación digital (SIM-DIG).
- recepción simultánea interferida por transmisiones simultáneas (SIM-SIM).

3 Parámetros del sistema supuestos

3.1 Máscaras espectrales

Las máscaras espectrales correspondientes a transmisiones MA están basadas en un modelo que tiene en cuenta la distorsión no lineal del transmisor y/o de la señal moduladora, así como a un determinado umbral de ruido. En el caso de transmisores con MA, el modelo de cálculo incluye la distorsión armónica de segundo y tercer orden, así como la intermodulación de tercer orden. En el caso de transmisores con modulación digital, se utilizan espectros medidos o supuestos.

La conformación del espectro para los transmisores MA se realiza mediante un filtro paso bajo con los parámetros incluidos en el § 3.2 (véanse las Figs. 5, 6 y 7). La curva de selectividad del receptor MA es la incluida en el § 3.4.

Los parámetros incluidos en los § 3.2, 3.3 y 3.4 se han elegido para los modelos de transmisor y receptor MA porque son los habituales en las transmisiones MA y porque en el caso de señales MA interferidas por señales MA dan lugar a las relaciones de protección de la Recomendación UIT-R BS.560.

En las Figs. 8, 9, 10 y 11 se representan gráficamente las curvas de selectividad del receptor y las máscaras espectrales que resultan de los parámetros especificados en las cláusulas siguientes.

3.2 Transmisores MA (Figs. 5 a 8)

- potencia en la banda lateral: $N_{sb} = N_c * m^2/2$
- potencia total: $N_{total} = N_c * (1 + m^2/2)$
- frecuencia de corte o anchura de banda: $F_{tx} = \pm 4,5$ kHz, es decir, $B = 9$ kHz
- pendiente del filtro paso bajo en AF: 60 dB/octava, comenzando en 0 dB a F_{tx}
(véase la Fig. 6)
- distorsión armónica: $k_2 = 0$ $k_3 = 0,7\%$ (–43 dB)
- intermodulación: $d_3 = -40$ dB
- umbral de ruido: –60,3 dBc/kHz.

Con los parámetros anteriores, el espectro de RF calculado de la señal MA satisface la máscara espectral de la Recomendación UIT-R SM.328.

3.3 Modulación MA (Figs. 5 a 7)

- señal moduladora: ruido coloreado según la Recomendación UIT-R BS.559
- profundidad de modulación: $m_{v.ef.} = 25\%$ (correspondiente a una señal de programa con compresión normal)
- compresión elevada: aumento de la potencia de la señal moduladora en 6,5 dB (puede conseguirse mediante un compresor con una ganancia de compresión de 15 dB y una relación de compresión de 2:1).

3.4 Receptor MA (Figs. 11a y 11b)

- curva de selectividad: como MBF, o un receptor MA moderno con $B = 4,4$ kHz, pendiente = 35 dB/octava⁵
- medición de señal de audio: valor eficaz⁶
- relación de protección de AF: valor deseado.

3.5 Transmisor de señales digitales

- potencia en la banda lateral: $N_{sb} = N_{total}$
- potencia de la portadora: $N_c = 0$
- anchura de banda: $B = 9$ kHz o 10 kHz.

3.6 Modulación digital (Figs. 9a y 9b)

- espectro: definido por la señal medida del transmisor o la máscara espectral requerida.

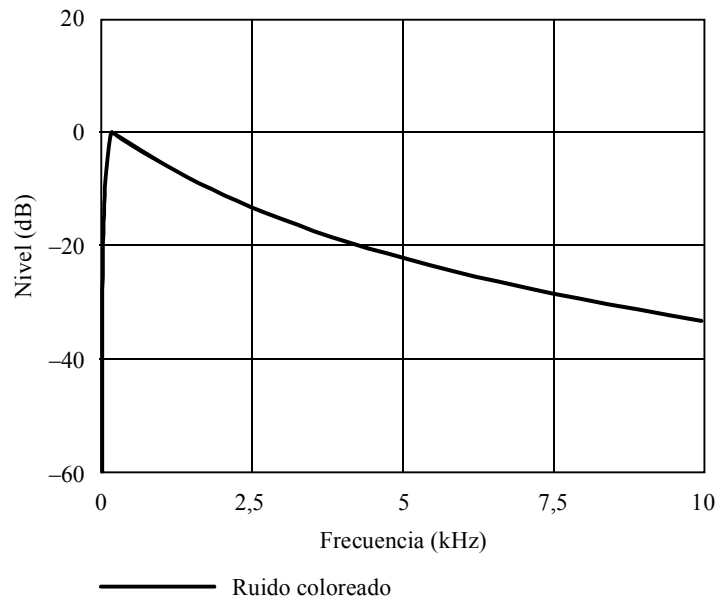
3.7 Receptor de señales digitales (Fig. 9a)

- anchura de banda: $B = 9$ kHz o 10 kHz
- curva de selectividad: espectro del receptor (Figs. 2 y 3)
- relación S/I : S/I requerida para conseguir una BER de 1×10^{-4} en función del modo de robustez, tipo de ocupación del espectro, esquema de modulación y nivel de protección.

⁵ Se considera que un receptor MA moderno tiene una anchura de banda de AF de 2,2 kHz y que la curva de selectividad tiene una pendiente de 35 dB/octava. Ello significa una atenuación de aproximadamente 41,5 dB a una separación de frecuencia de 5 kHz (véase la Fig. 11b). La elección de dicho tipo de receptor se basa en mediciones realizadas con 27 receptores MA realizadas por la «Deutsche Welle» entre 1989 y 1997.

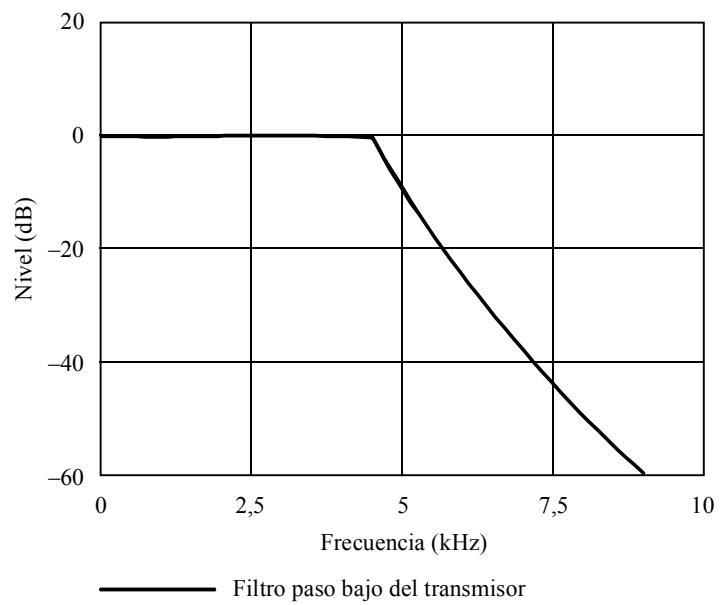
⁶ Ponderación sofométrica conforme a la Recomendación UIT-R BS.468.

FIGURA 5
Características del filtro de conformación de ruido



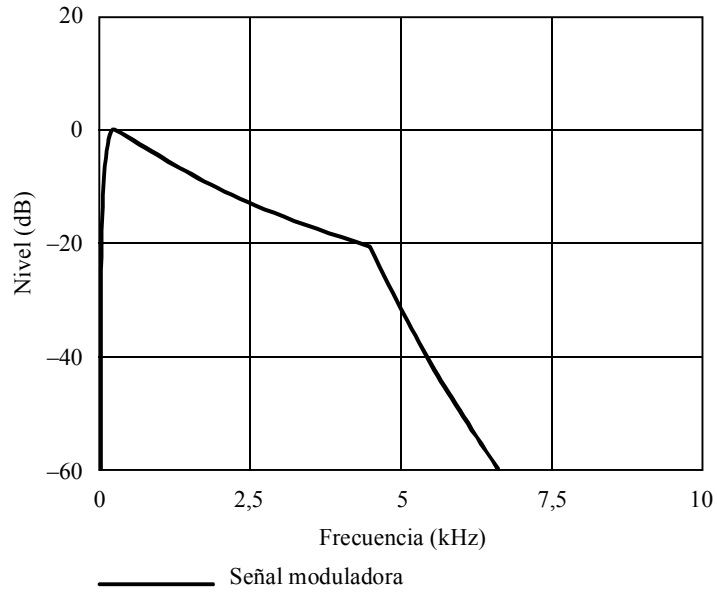
1615-05

FIGURA 6
Filtro paso bajo utilizado en la transmisión MA



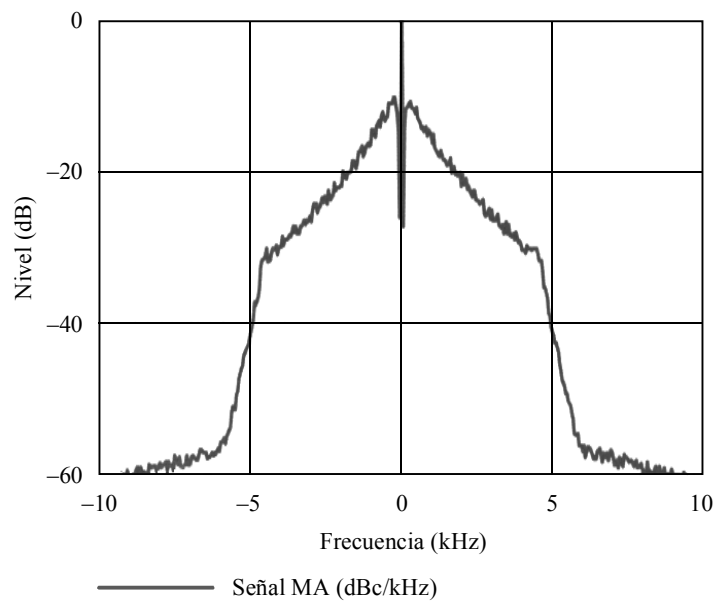
1615-06

FIGURA 7
Señal moduladora para MA



1615-07

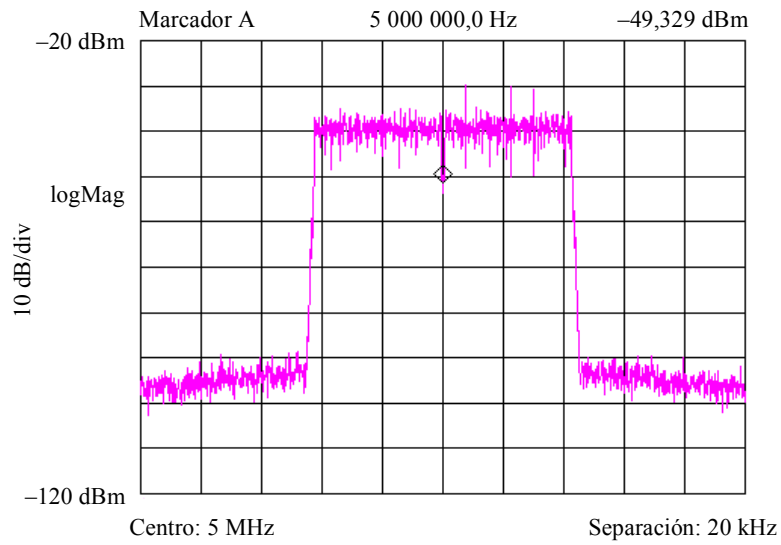
FIGURA 8
Señal MA modulada con ruido coloreado



1615-08

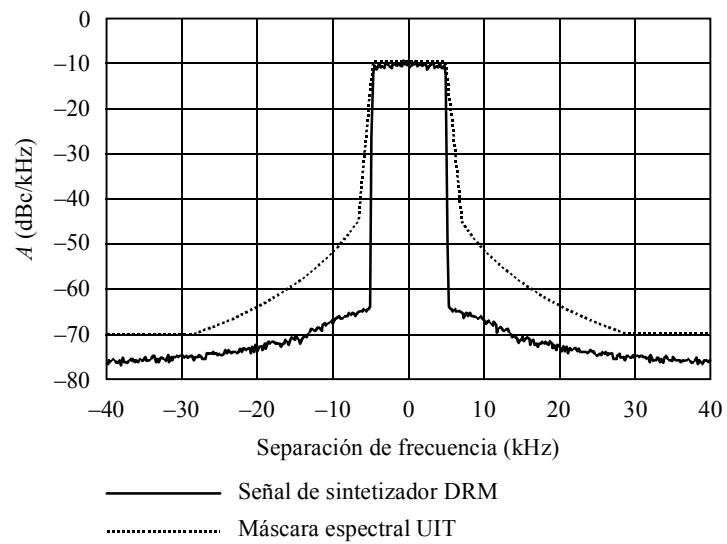
FIGURA 9a

Señal sintetizadora DRM (MAQ-64, 9 kHz)



1615-09a

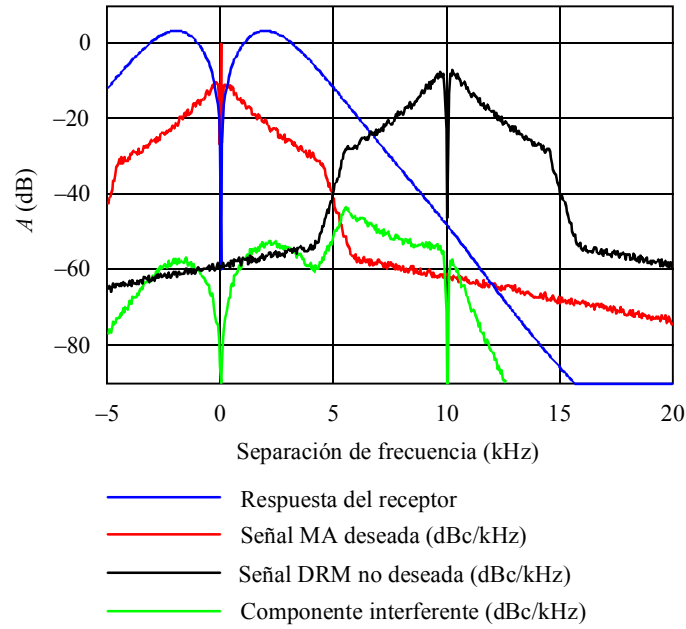
FIGURA 9b

Señal sintetizadora DRM (MAQ-64, 9 kHz)
y máscara espectral UIT

1615-09b

FIGURA 10a

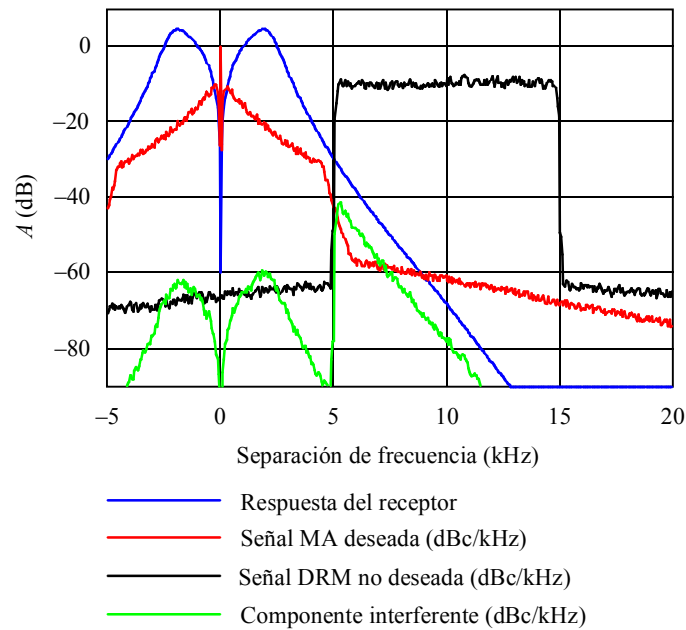
Señal MA interferida por otra señal MA



1615-10a

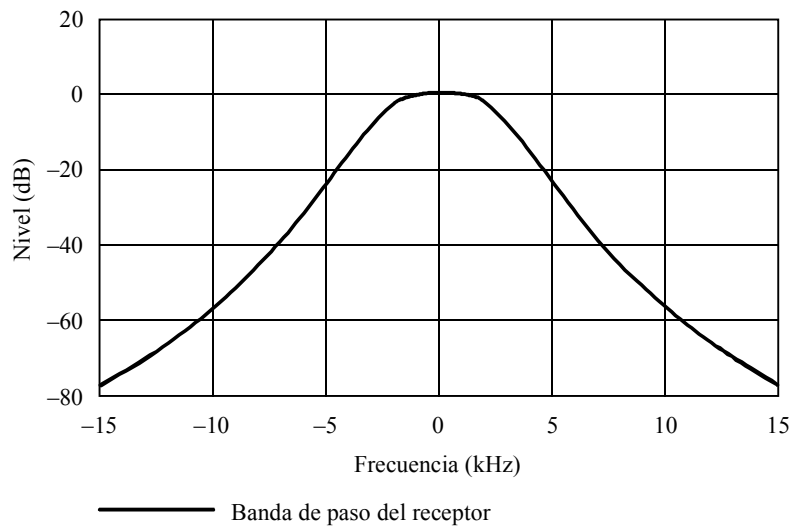
FIGURA 10b

Señal MA interferida por una señal DRM



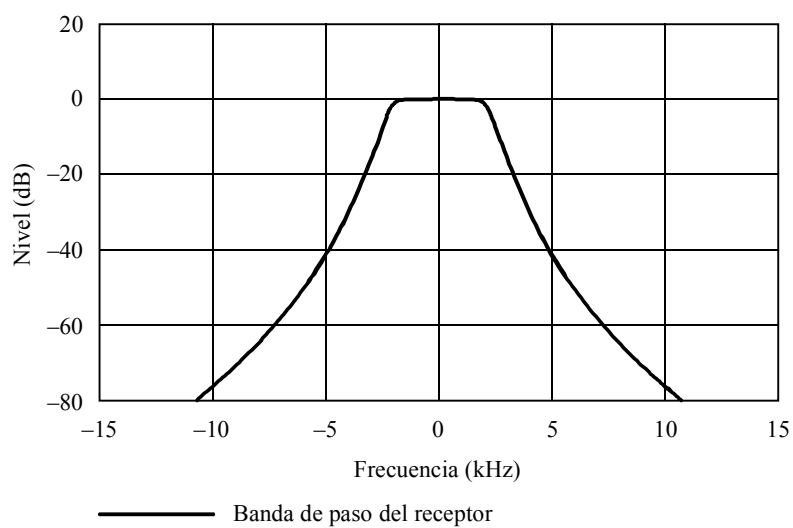
1615-10b

FIGURA 11a

Curva de selectividad del receptor MBF

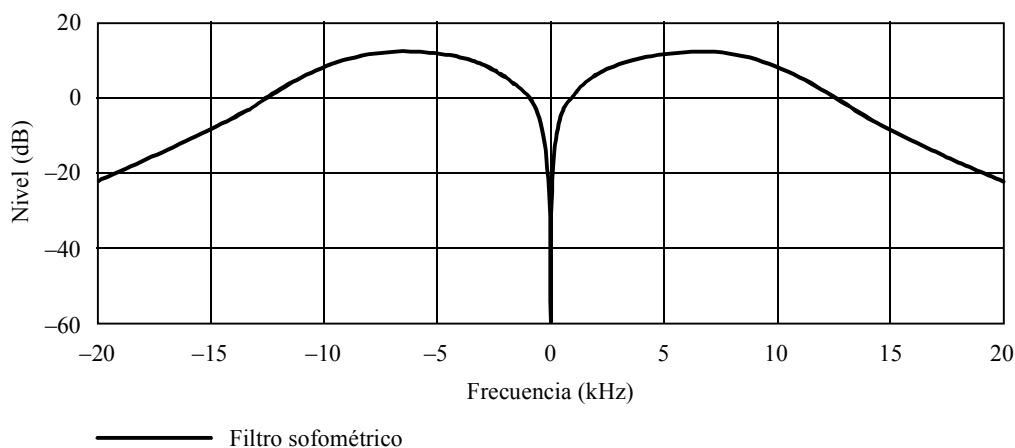
1615-11a

FIGURA 11b

Curva de selectividad de un receptor MA moderno

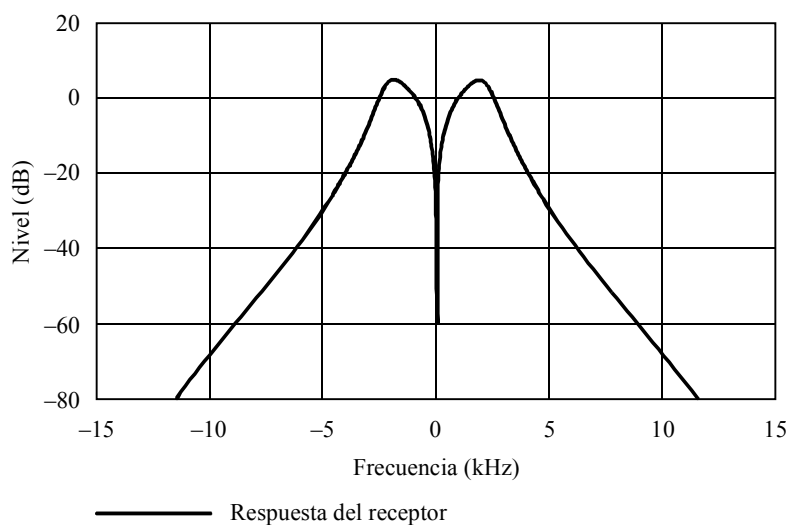
1615-11b

FIGURA 12
Conformación de señal mediante filtro sofométrico



1615-12

FIGURA 13
Respuesta del receptor incluyendo curva de selectividad y filtro sofométrico



1615-13

4 Verificación del método de cálculo

La utilización del modelo de cálculo desarrollado, de los parámetros del sistema del § 3 y de una relación de protección de AF de 30 dB, permite alcanzar, en el caso de señal MA interferida por otra señal MA (MA-MA), los resultados que se muestran en el Cuadro 30 y en las Figs. 14 y 15. Las relaciones de protección de RF calculadas se muestran para separaciones de frecuencia de hasta 20 kHz y para compresiones normales y altas de las señales MA transmitidas. En la Fig. 14, sólo se representan los valores de relación de protección relativas de RF.

CUADRO 30

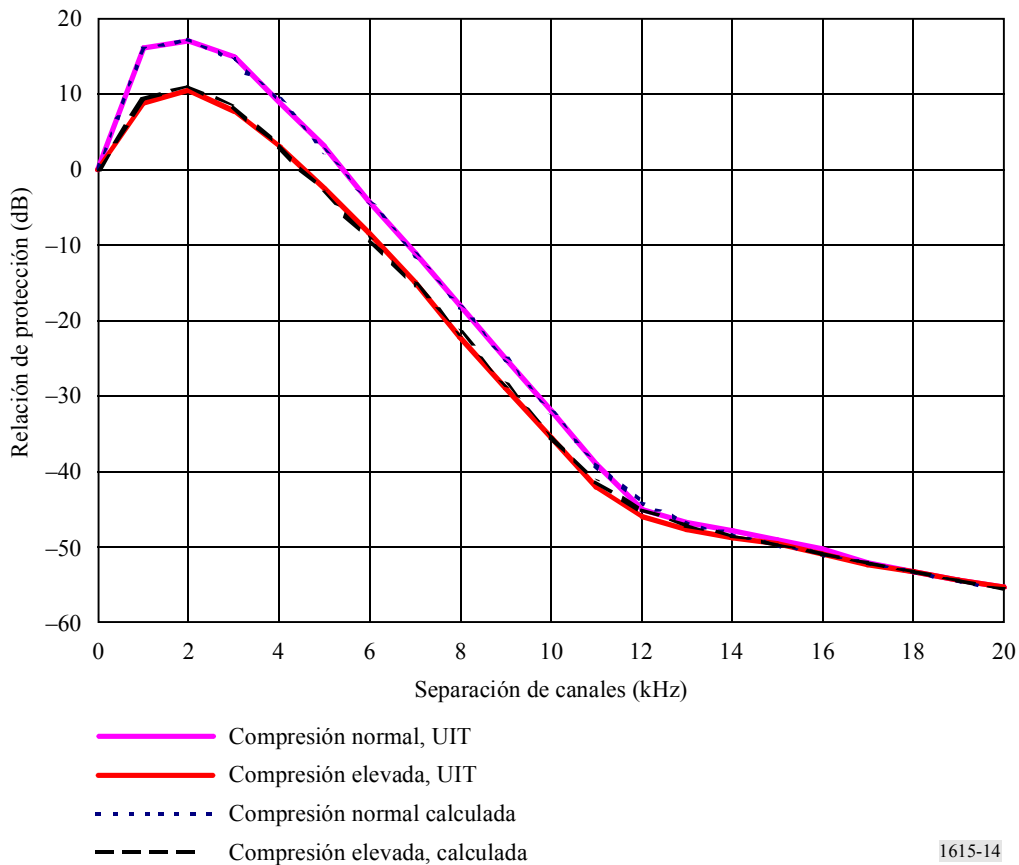
Relaciones de protección de RF calculadas A_{RF} para MA, valores de A_{ITU} y de error de cálculo ΔA_{RI} de la UIT para transmisiones MA

Deseada: MA		No deseada: MA		$A_{AF}: 30 \text{ dB}$		
$\Delta f/\text{kHz}$	A_{RF}/dB		A_{ITU}/dB		$\Delta A_{RI}/\text{dB}$	
0	30	30	30	30	0	0
5	32,4	27	33	27,5	-0,6	-0,5
9	4,7	1,4	5	1	-0,3	0,4
10	-2,4	-5,4	-2	-5,5	-0,4	0,1
15	-19,6	-19,7	-19	-19,5	-0,6	-0,2
18	-23,3	-23,3	-23,3	-23,3	0	0
20	-25,6	-25,7	-25,4	-25,4	-0,2	-0,3
	Compresión normal	Compresión elevada	Compresión normal	Compresión elevada	Compresión normal	Compresión elevada

La comparación de los valores calculados con las relaciones de protección de RF de la Recomendación UIT-R BS.560 muestra que el error de cálculo es inferior a 0,6 dB.

FIGURA 14

Relaciones de protección de radiofrecuencia relativas a la señal MA interferida por otra señal MA



5 Aplicación a señales con modulación digital

El pequeño error de cálculo con que se determinan las relaciones de protección de RF en el caso de señales MA interferidas por señales MA, muestra que este método también puede utilizarse con una precisión suficiente para calcular las relaciones de protección para señales MA interferidas por señales con modulación digital, a condición que se conozca el espectro de la señal digital interferente.

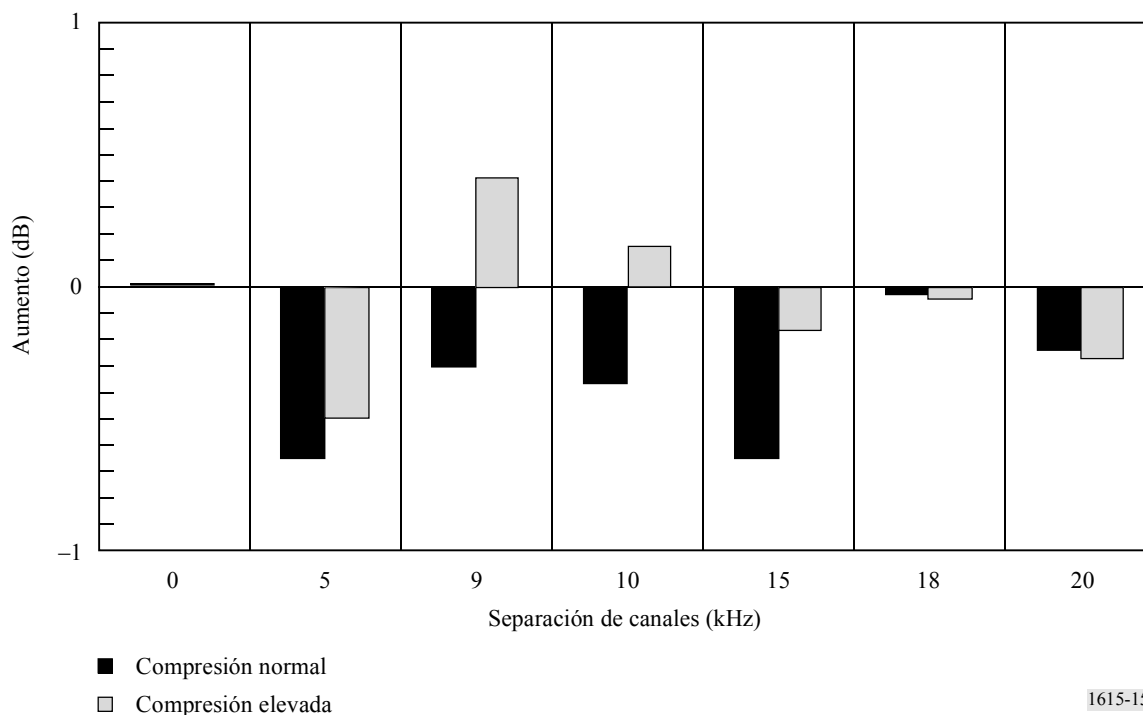
En el caso de señales con modulación digital interferidas por señales MA o por otras señales con modulación digital, deben conocerse la curva de selectividad y las características de demodulación del receptor. Por lo tanto, este método sólo puede aplicarse con ciertas restricciones, por ejemplo, para investigar la influencia de diversos espectros sobre la base de los resultados conocidos de mediciones.

6 Resumen

El modelo de cálculo descrito se ha utilizado para determinar las relaciones de protección de RF de señales de DSB en las bandas de radiodifusión inferiores a 30 MHz. La precisión que se consigue es suficiente para fines de planificación. Los cálculos se deben basar en los espectros medidos del transmisor o en una máscara espectral que debe satisfacerse para cumplir los requisitos relativos a emisiones fuera de banda. Sólo si fuera necesario, los resultados de los cálculos se deben verificar y ser completados con los resultados de mediciones.

FIGURA 15

Error de cálculo de las relaciones de protección de radiofrecuencia de señales MA interferidas por otras señales MA



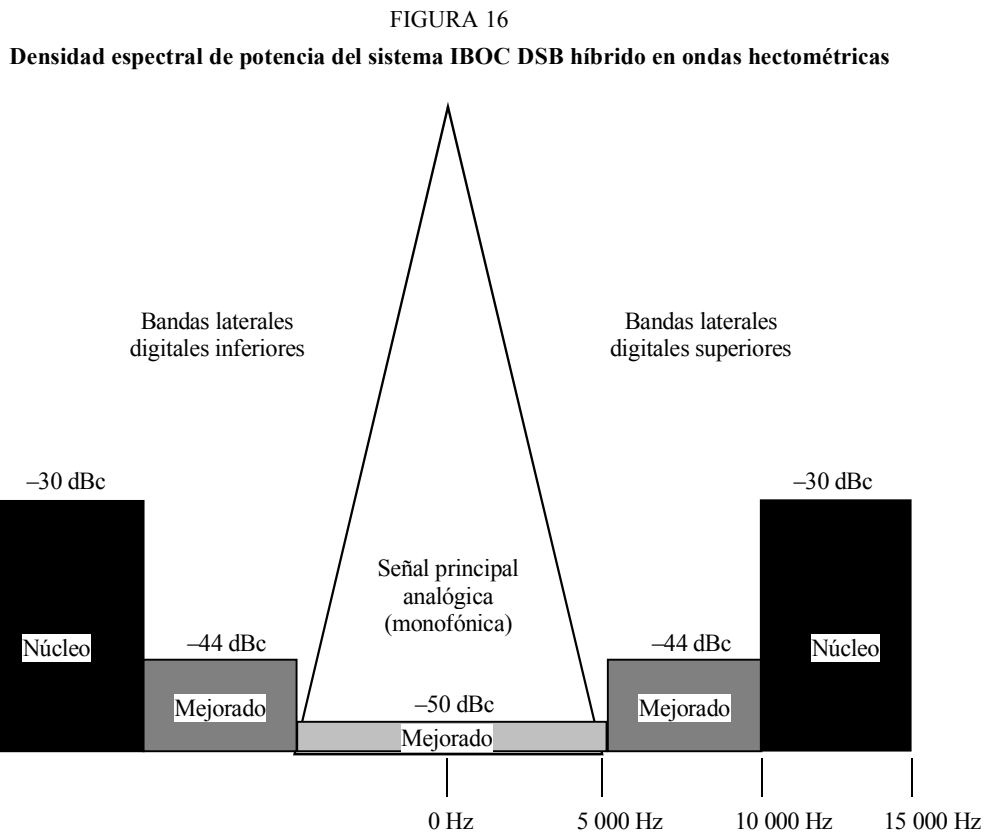
Anexo 3

Relaciones de protección de RF medidas para el sistema funcionamiento en la banda y en el mismo canal (IBOC, *in band on-channel*) DSB en ondas hectométricas

1 Introducción

El sistema IBOC DSB funciona en dos modos posibles: en modo híbrido y en modo completamente digital. Está diseñado para operar en el espectro analógico disponible y, por lo tanto, con los niveles de interferencia actualmente existentes. La calidad de funcionamiento del sistema IBOC DSB está principalmente limitada por la interferencia procedente de las transmisiones analógicas existentes, estando el sistema limitado en potencia a fin de proteger las señales de radiodifusión en canales adyacentes.

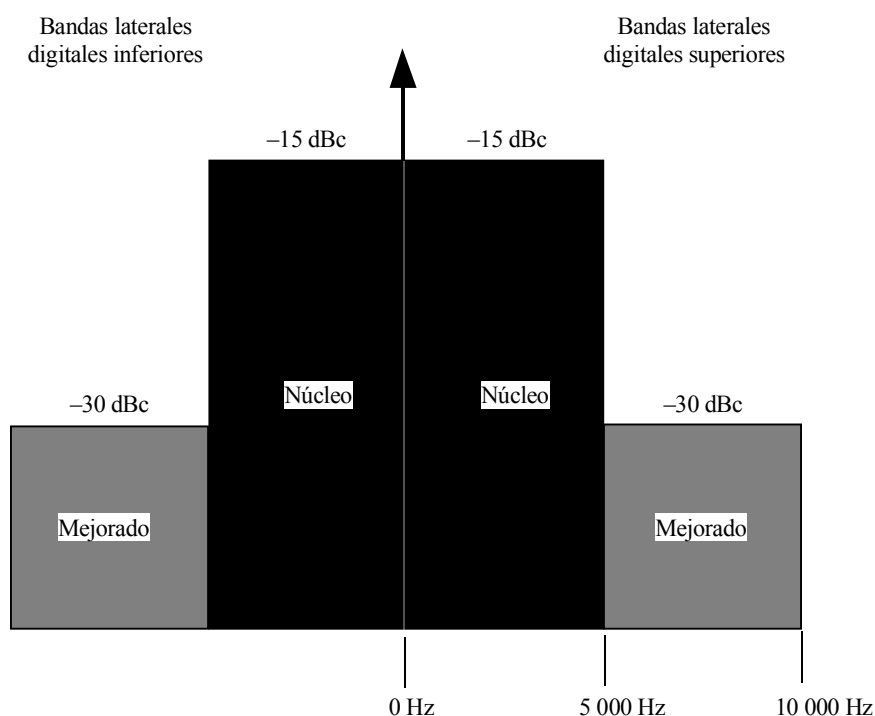
El término «híbrido» hace referencia a la transmisión simultánea de una señal DSB analógica con la señal digital, tal como se representa en la Fig. 16. Esta Figura muestra las diversas componentes digitales de baja potencia. Consta de componentes «núcleo» en la banda de ± 10 a 15 kHz desde la frecuencia central de la señal DSB, más los componentes «mejorados» internos a la señal «núcleo» que se añaden a la calidad de la señal de audio cuando la S/N lo permite.



1615-16

El término «completamente digital» hace referencia a una señal sólo digital, cuyo nivel de potencia y composición espectral se muestra en la Fig. 17.

FIGURA 17
**Densidad espectral de potencia del sistema IBOC DSB
 totalmente digital en ondas hectométricas**



1615-17

2 Relaciones de protección de RF

Los Cuadros 31 a 33 se han obtenido de mediciones realizadas en laboratorio utilizando excitadores IBOC Generation 2 y receptores de referencia. La señal interferente era una transmisión híbrida cuyas componentes analógicas estaban moduladas por ruido impulsivo procesado a +125, con una profundidad de modulación del -99%.

Las relaciones entre señal deseada y no deseada se expresan para las calidades de audio núcleo y mejorado. La relación señal deseada/no deseada para audio mejorado representa el punto de cambio a audio núcleo en los modos híbrido y completamente digital. Las relaciones señal deseada/ no deseada para el audio núcleo representan el punto de cambio a analógico para el modo híbrido y el punto de fallo para el modo completamente digital.

CUADRO 31

Relaciones de protección de RF Componente digital del modo híbrido interferido por un modo híbrido

Interferente híbrido	Audio núcleo (dB)	Audio mejorado (dB)
Cocanal	9,2	11,0
Primer adyacente	-14,5	6,8
Segundo adyacente ⁽¹⁾	-62,5	-44,0

⁽¹⁾ En el caso de la calidad de funcionamiento del segundo canal adyacente, la fuente primaria de fallo del audio núcleo digital es la sobrecarga frontal.

CUADRO 32

Relaciones de protección de RF
Componente digital del modo híbrido interferido por un modo completamente digital

Interferente híbrido	Núcleo (dB)	Mejorado (dB)
Cocanal	1,75	1,5
Primer adyacente	-14,25	7,0
Segundo adyacente ⁽¹⁾	-62,5	-44,5

⁽¹⁾ En el caso de la calidad de funcionamiento del segundo canal adyacente, la fuente primaria de fallo del audio núcleo digital es la sobrecarga frontal.

CUADRO 33

Relaciones de protección de RF
Modo completamente digital interferido por otro modo completamente digital

Interferente digital	Núcleo (dB)	Mejorado (dB)
Cocanal	12	12
Primer adyacente ⁽¹⁾	-23/-29	-23/-29
Segundo adyacente ⁽²⁾	-	-

⁽¹⁾ El sistema tiene dificultades para la adquisición cuando la señal interferente en el primer adyacente es superior a -23 dB. Sin embargo, una vez realizada la adquisición, la interferencia puede aumentar a -29 dB antes de que se produzca fallo.

⁽²⁾ En el caso de la calidad de funcionamiento del segundo canal adyacente, la fuente de fallo primaria del audio núcleo y del audio mejorado digital es la sobrecarga frontal.

3 Separación de canales

Las relaciones de protección incluidas en esta Recomendación se basan en una separación de canales de 10 kHz. Ulteriormente se publicarán relaciones de protección para otras separaciones de canales cuando se hayan realizado las correspondientes pruebas de laboratorio.

4 Las horas nocturnas y otras consideraciones sobre la protección de ondas ionosféricas

Las relaciones de protección que se presentan en esta Recomendación son representativas en condiciones estacionarias y sirven adecuadamente para la planificación aplicable a horas diurnas. Las administraciones pueden tener en cuenta un factor adicional para compensar las condiciones de desvanecimiento de las ondas ionosféricas.

5 Conclusión

La calidad de funcionamiento del sistema en presencia de interferencia cocanal y de canal adyacente demuestra la fiabilidad del mismo y su capacidad para operar en el entorno analógico actualmente existente.