

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R SM.1268-3
(08/2014)

Método para medir la máxima desviación de frecuencia de las emisiones de radiodifusión en frecuencia modulada (FM) en las estaciones de comprobación técnica

Serie SM
Gestión del espectro

Prólogo

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

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

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

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

Publicación electrónica
Ginebra, 2015

© UIT 2015

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.1268-3

Método para medir la máxima desviación de frecuencia de las emisiones de radiodifusión en frecuencia modulada (FM) en las estaciones de comprobación técnica

(1997-1999-2011-2014)

Cometido

Esta Recomendación describe métodos para medir la desviación y la potencia múltiplex de las estaciones de radiodifusión en frecuencia modulada (FM) durante la emisión normal del programa y para verificar que se cumplen las condiciones supuestas por los procedimientos de planificación de la red de radiodifusión.

Término

Radiodifusión FM, desviación de frecuencia, potencia de modulación, medición, comprobación técnica.

Recomendaciones e Informes de la UIT conexas

Recomendación UIT-R BS.412.

NOTA – En todos los casos debe utilizarse la última edición de la Recomendación/Informe en vigor.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a)* que los parámetros de planificación de las redes de radiodifusión FM figuran en la Recomendación UIT-R BS.412;
- b)* que las relaciones de protección para la planificación de las frecuencias de los transmisores de radiodifusión se basan en un valor máximo de la desviación de frecuencia de ± 75 kHz (o de ± 50 kHz) y una potencia máxima de la señal de modulación que no rebase la potencia de un tono sinusoidal que provoca una desviación de frecuencia de ± 19 kHz;
- c)* que algunas transmisiones de radiodifusión rebasan la máxima desviación de frecuencia y/o la potencia de modulación debido a los distintos tipos de programas, a las componentes adicionales de la señal compuesta (por ejemplo, sistema de transmisión radioeléctrica de datos (RDS, *radio data system*) y a la compresión del audio;
- d)* que es necesario limitar la desviación de cresta de la frecuencia y la potencia de modulación para la protección mutua de la planificación de radiodifusión y el servicio de radionavegación aeronáutica en las bandas de frecuencias por encima de 108 MHz;
- e)* que es necesario realizar comprobaciones técnicas de las emisiones difundidas para evitar que las transmisiones de radiodifusión rebasen la máxima desviación de frecuencia y la máxima potencia de modulación;
- f)* que es necesario utilizar procedimientos de medición comunes para lograr una aceptación mutua de los resultados de las medidas por las partes interesadas; por ejemplo, organismos gestores de las frecuencias, servicios de comprobación técnica y entidades de radiodifusión;
- g)* que está aumentando el número de estaciones de radiodifusión que utilizan señales adicionales, tales como las del RDS, y señales de datos de alta velocidad y estos sistemas son muy sensibles a la interferencia procedente de los canales adyacentes,

reconociendo

- a) que el método descrito en el Anexo 1 es una sencilla prueba de «si o no» basada en una máscara de espectro, que no puede sustituir a la realización de mediciones precisas de la desviación de frecuencia;
- b) que el método descrito en el Anexo 1 no puede aplicarse a transmisiones con desviaciones de cresta de 50 kHz, debido a que no se dispone de una máscara de espectro adecuada;
- c) que el método descrito en el Anexo 2 sólo es aplicable a transmisiones con desviaciones de cresta de 50 kHz,

recomienda

- 1 que el método descrito en el Anexo 1 se utilice como una verificación para determinar si la desviación de frecuencia de una estación de radiodifusión MF rebasa los límites establecidos;
- 2 que se emplee el método descrito en el Anexo 2 cuando sea necesario conocer los valores de la desviación de frecuencia y la potencia de modulación.

Anexo 1

Método basado en una máscara de espectro sencilla para determinar si se rebasan los límites de la desviación de frecuencia

1 Requisitos

Para esta medida puede utilizarse cualquier analizador de espectro y receptor de prueba con capacidades de analizador.

2 Conexión del transmisor y el analizador de espectro

Con la ayuda de una antena de medición.

3 Condiciones de medición

- Durante 3 mediciones de 5 min cada una, el transmisor sometido a prueba debe modularse con un material de programa representativo para ese transmisor en particular. Se pueden llevar a cabo mediciones adicionales para asegurar que el material del programa es verdaderamente representativo.
- No deben aparecer interferencias impulsivas (por ejemplo, interferencia procedente de una fuente de ignición).
- La relación señal/interferencia + ruido debe ser ≥ 50 dB.

4 Ajustes del analizador de espectro

El analizador de espectro debe ajustarse de la forma siguiente:

- frecuencia central (CF) = f_0 (frecuencia portadora del transmisor);
- RBW 10 kHz (filtro de FI);
- VBW 10 kHz (filtro de vídeo);
- intervalo: 340 kHz;
- tiempo de barrido: 340 ms (1 ms/kHz);
- modo máxima retención;
- la atenuación de entrada depende del nivel de entrada.

Los ajustes para analizadores con procesamiento digital de la señal (DSP, *digital signal processor*) serán distintos pero deben proporcionar resultados equivalentes.

5 Instrucciones para la medición

- a) Se registra la señal de transmisor durante un periodo de 5 min.
- b) Debe utilizarse la observación del analizador y de los controles acústicos del receptor para asegurar que no se evalúan resultados de mediciones distorsionados por interferencia impulsiva. Por esta misma razón, se repiten dos veces las mediciones.
- c) Se superpone la medición gráfica a la máscara descrita en el § 7.
- d) El centro del eje x de la máscara deberá corresponder con la frecuencia central (f_0).
- e) Se ajusta el nivel de referencia de manera que la máxima amplitud de la medición corresponda a 0 dB.
- f) Se determina si la medición se encuentra dentro de los límites de la máscara.

6 Límites

Si alguno de los espectros medidos rebasa los valores de la máscara, se considera que la desviación del transmisor no satisface los requisitos.

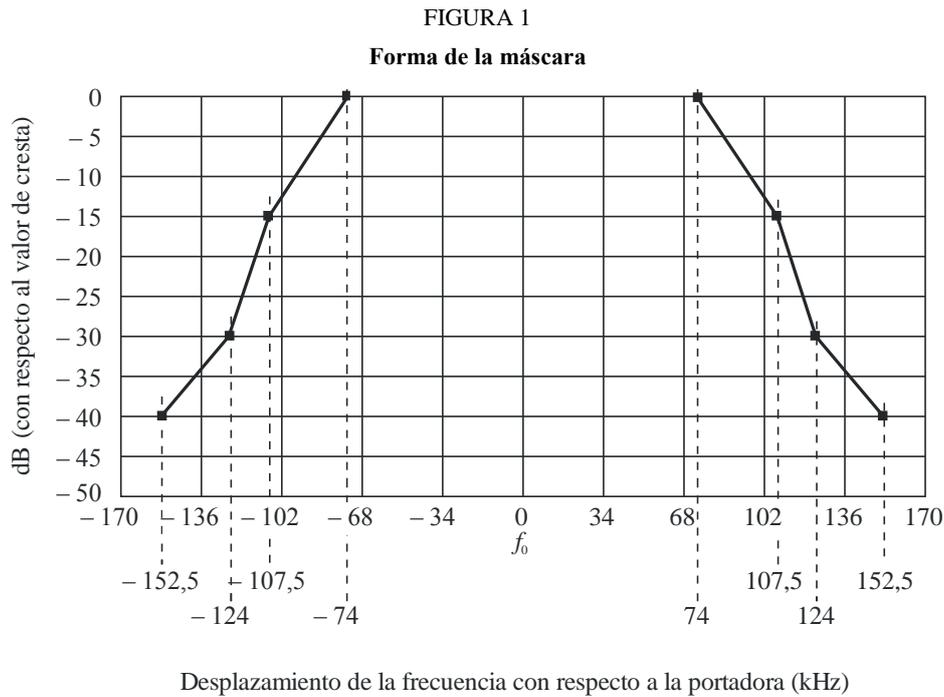
7 Construcción de la máscara

- a) La calibración de la máscara debe ser coherente con los ajustes del analizador.
- b) El centro del eje x se ajusta a f_0 .
- c) La cima del eje y corresponde al nivel de referencia 0 dB.
- d) Las siguientes coordenadas deben estar unidas por líneas rectas:

| Eje x (kHz) | Eje y (dB) |
|----------------|---------------|
| $f_0 - 74$ | 0 |
| $f_0 - 107,5$ | -15 |
| $f_0 - 124$ | -30 |
| $f_0 - 152,5$ | -40 |

| Eje x (kHz) | Eje y (dB) |
|----------------|---------------|
| $f_0 + 74$ | 0 |
| $f_0 + 107,5$ | -15 |
| $f_0 + 124$ | -30 |
| $f_0 + 152,5$ | -40 |

La representación gráfica de la máscara se muestra en la Fig. 1.



SM.1268-01

Anexo 2

Método de medición de la máxima desviación de frecuencia de las emisiones de radiodifusión MF a utilizar en las estaciones de comprobación técnica

1 Consideraciones generales

1.1 Definiciones

Desviación de frecuencia:

En el caso de modulación de frecuencia se trata de la desviación de la frecuencia con respecto a la frecuencia de la portadora sin modular f_0 .

Desviación instantánea:

En el caso de modulación de frecuencia, la desviación instantánea $\Delta f(t)$ es la diferencia entre la frecuencia instantánea en un instante determinado (t) y la frecuencia portadora sin modular (f_0). La frecuencia instantánea es:

$$f(t) = f_0 + \Delta f(t)$$

Desviación de cresta:

En el caso de modulación de frecuencia, la desviación de cresta Δf es el máximo absoluto de la diferencia entre la frecuencia portadora sin modular (f_0) y la frecuencia instantánea $f(t)$.

Señal compuesta:

Esta señal incluye toda la información de estereofonía (comprendido el tono piloto) y puede incorporar también la radioseñal de tráfico, la señal RDS y otras señales adicionales.

Potencia de modulación (también denominada potencia multiplex):

Se trata de la potencia relativa promediada P_{mod} a lo largo de 60 s de la señal de modulación, de acuerdo con la fórmula:

$$\text{Potencia de modulación} = 10 \log \left\{ (2/60 \text{ s}) \int (\Delta f(t)/19 \text{ kHz})^2 dt \right\} \quad \text{dBr}$$

0 dBr:

Es la potencia media de una señal equivalente a la potencia de un tono sinusoidal que provoca una desviación de cresta de ± 19 kHz.

1.2 Introducción

Existen varias razones, tales como una reducción del tiempo necesario para realizar las mediciones, que hacen conveniente llevar a cabo las mediciones de desviación de frecuencia en el propio trayecto y no directamente a la salida del transmisor. Para evitar incertidumbres en las mediciones es necesario que la señal que va a medirse se adapte a las características indicadas a continuación y que el equipo de medida cumpla los requisitos descritos en el § 3.

1.3 Límites

Se aplican las relaciones de protección especificadas en la Recomendación UIT-R BS.412 para la planificación de los transmisores de radiodifusión sonora MF con la condición de que no se rebase el valor de desviación de cresta de ± 75 kHz y que la potencia de modulación promediada a lo largo de cualquier intervalo de 60 s no supere la de un solo tono sinusoidal que provoque una desviación de cresta de ± 19 kHz.

1.4 Tiempo de observación

El tiempo de observación debe ser al menos de 15 min. En algunos casos puede que sea necesaria 1 h o más para asegurarse de que se mide material de programa representativo que da lugar a los valores máximos de desviación de frecuencia y potencia de modulación.

2 Condiciones necesarias para las mediciones**2.1 Valor necesario de la relación de niveles de las señales de RF deseada/no deseada, E_n/E_s , en el equipo de medida**

Esta relación depende de las características del equipo utilizado para las mediciones y de la precisión requerida. Para obtener la precisión requerida definida en los § 3.1 y 3.2, el nivel de las emisiones no deseadas debe encontrarse por debajo de los valores indicados en los Cuadros 1 y 2.

Los receptores de medición normalmente cuentan con filtros gaussianos o de canal. En entornos reales, puede que los filtros gaussianos sean menos adecuados que los filtros de canal para efectuar las mediciones de desviación de cresta.

a) **Receptores de medición con filtros de FI gaussianos**

CUADRO 1

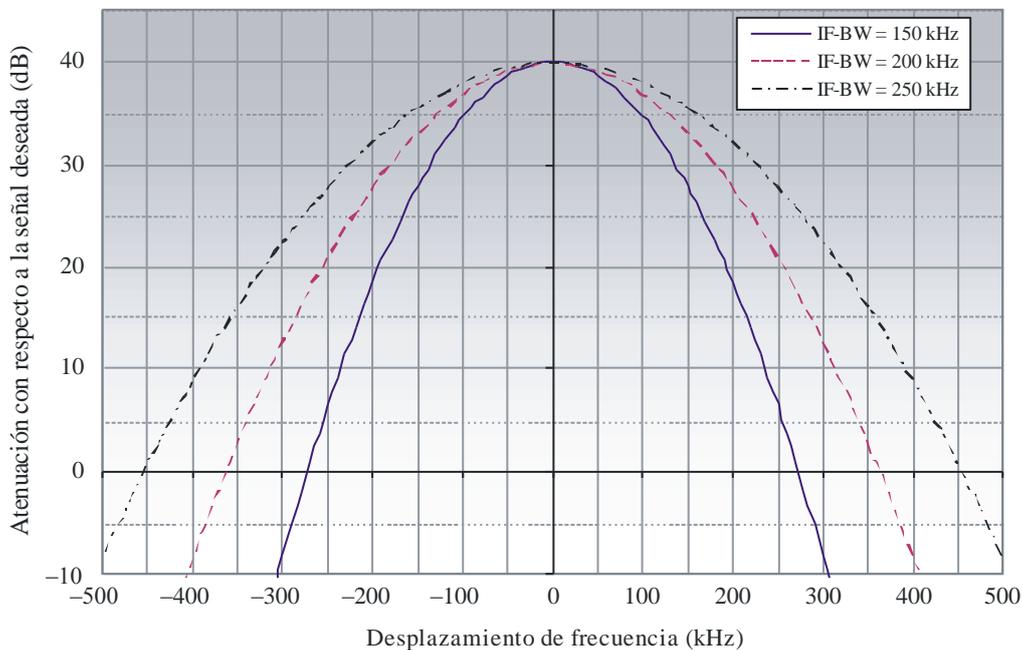
| Diferencia de frecuencia $\pm \Delta f$ (kHz) | Relación de protección necesaria (dB) |
|--|---|
| 0 | 40 |
| X | $40 - 20 * \log \left(e^{-\ln \sqrt{2} * \left(\frac{2X}{B} \right)^2} \right)$ |

En el Cuadro 1, «B» es la anchura de banda a 3 dB nominal del filtro de medición, en kHz.

El siguiente diagrama ilustra las relaciones de protección necesarias con tres ejemplos de anchura de banda de medición.

FIGURA 2

Relaciones de protección necesarias para receptores con filtros gaussianos



IF-BW = Anchura de banda FI

SM.1268-02

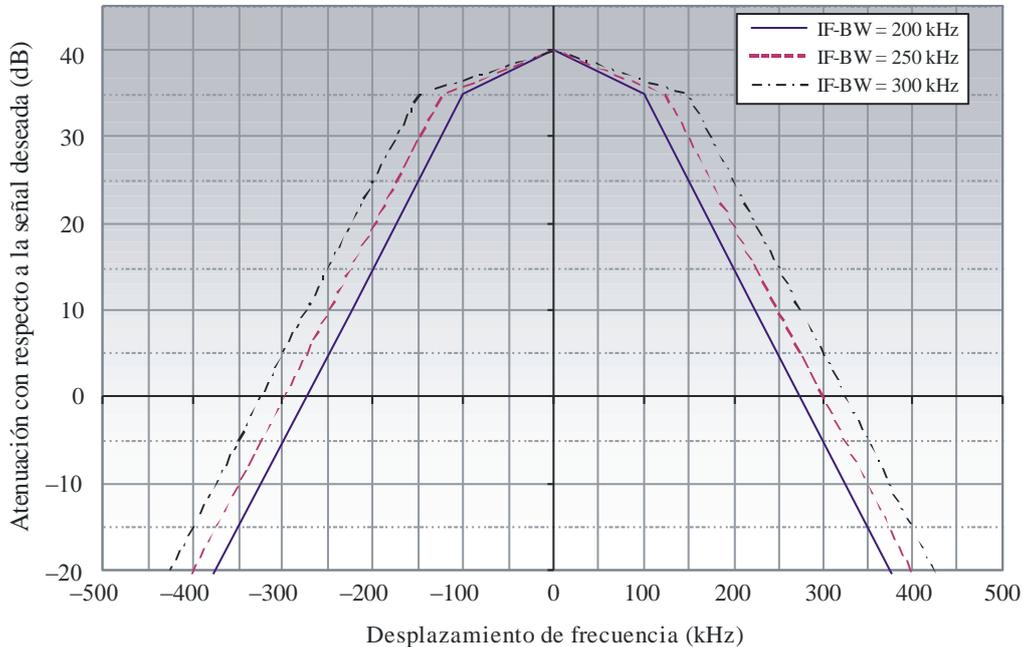
b) **Receptores de medición con filtros de canal**

CUADRO 2

| Diferencia de frecuencia $\pm \Delta f$ (kHz) | Relación de protección necesaria (dB) |
|--|--|
| 0 | 40 |
| $B/2$ | 35 |
| X (para $X > B/2$) | $35 - 0,2 * (X - B/2)$ |

En el Cuadro 2, «B» es la anchura de banda a 3 dB nominal del filtro de medición, en kHz. Se utiliza interpolación lineal entre valores discretos. El siguiente diagrama ilustra las relaciones de protección necesarias con tres ejemplos de anchura de banda de medición.

FIGURA 3
Relaciones de protección necesarias para receptores con filtros de canal



IF-BW = Anchura de banda FI

SM.1268-03

Es fundamental respetar las relaciones de protección aplicables antes indicadas porque incluso un pequeño incremento en los niveles de la señal deseada dará lugar a importantes errores de medición.

2.2 Propagación multitrayecto y distorsión

Las señales retardadas procedentes del transmisor deseado así como las señales procedentes de otros transmisores cocanal o de canal adyacente deberán ser lo suficientemente pequeñas para asegurar que los resultados de la medición no resultan influenciados por los efectos de la propagación multitrayecto. En caso de recepción multitrayecto únicamente, se considera suficiente que el producto del tiempo de retardo por la relación de amplitudes en porcentaje sea:

$$(U_r/U_d) \cdot \tau < 64\% \cdot \mu\text{s} \tag{1}$$

donde:

U_r : amplitud de la señal reflejada

U_d : amplitud de la señal directa

τ : tiempo de retardo.

Una forma más general de expresar la distorsión creada por la recepción multitrayecto y las señales procedentes de otros transmisores se basa en el hecho de que todas estas componentes dan lugar a una cierta modulación de amplitud de la señal recibida. Esta modulación de amplitud resultante se define mejor por el máximo gradiente de la dependencia de la amplitud de RF sobre la RF y se

denomina grado de distorsión. Su valor puede medirse fácilmente con medidores de reflexión. El máximo gradiente admisible correspondiente para la recepción estereofónica es:

$$d(U/U_d)/df < 0,4\%/kHz \quad (2)$$

donde:

U : amplitud total de la señal recibida.

Es fundamental que el grado de distorsión no rebase los límites anteriores porque incluso un pequeño incremento dará lugar a importantes errores de medición.

2.3 Nivel de la señal deseada a la entrada del receptor

Para asegurar un valor suficiente de la relación señal/ruido en audiofrecuencia, el nivel de entrada de la señal deseada en el receptor debe ser al menos -47 dBm¹.

3 Características de un equipo de medida adecuado

Para asegurar que se observan todos los valores de cresta de las desviaciones de frecuencia, el equipo tiene que ser capaz de detectar la desviación producida por la componente mayor de la señal en banda base o de la señal compuesta.

Por ello, si se utiliza un equipo de medición digital, tiene que tener una velocidad de muestreo de 200 kHz o superior en función de la frecuencia máxima de la señal compuesta.

3.1 Mediciones de la reflexión

Debido a la falta de directividad de las antenas de medición, en la mayoría de los casos no será posible medir las intensidades de campo de las emisiones deseada y no deseada por separado y utilizar la fórmula (1) para calcular el grado de distorsión y la propagación multitrayecto. Una forma más práctica de medir este parámetro es el empleo de medidores de reflexión que miden realmente la cantidad de modulación de amplitud en la señal recibida y calculan el grado de propagación multitrayecto mediante la fórmula (2).

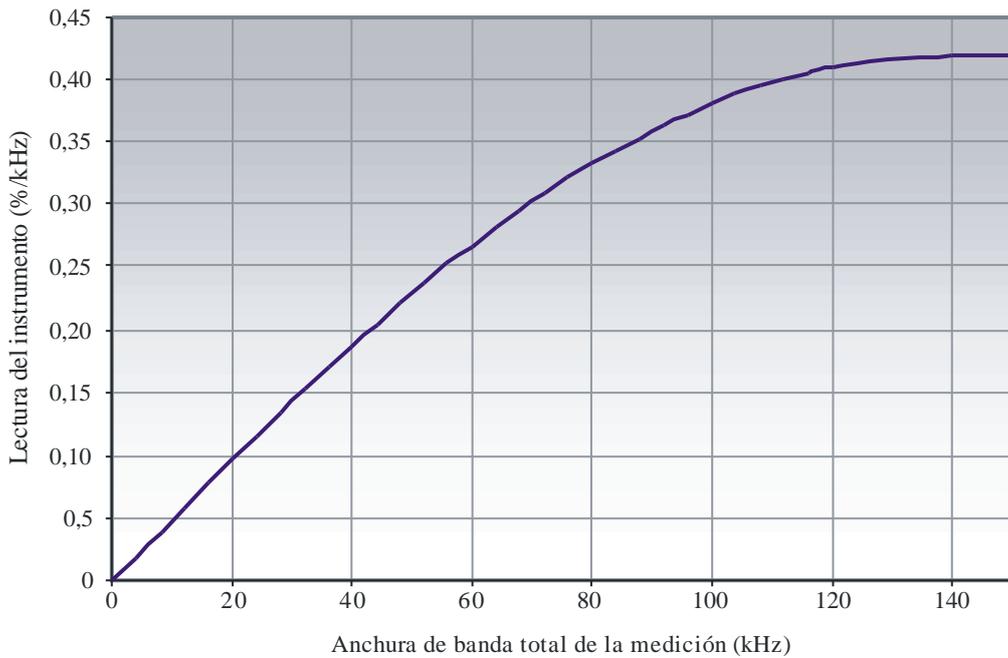
Idealmente, el medidor de reflexión deberá tener una anchura de banda de medición de 150 kHz. Sin embargo, la mayor parte de estos medidores disponibles cuentan con una anchura de banda considerablemente inferior. En este caso, el máximo grado admisible de propagación multitrayecto es inferior al 0,4%/kHz indicado en el § 2.2. La Fig. 4 muestra los valores corregidos del máximo grado de distorsión indicado, dependiendo de la anchura de banda de medición del medidor de reflexión.

3.2 Mediciones de la desviación de frecuencia

El equipo de medida utilizado debe poder realizar mediciones de una desviación instantánea de 100 kHz o superior. Además, el equipo debe poseer unas características en las que se tengan en cuenta la anchura de banda de medición requerida, el factor de conformación del filtro, etc. a fin de asegurar que la no linealidad y la distorsión no provocan una imprecisión mayor que la especificada en el Cuadro 3.

¹ Este valor corresponde a una intensidad de campo de más de 68 dB(μ V/m) utilizando una antena como la indicada en la Recomendación UIT-R BS.599, Fig. 1, Curva B (12 dB de relación anterior/posterior).

FIGURA 4



SM.1268-04

CUADRO 3

Precisión del instrumento para mediciones de desviación

| Desviación instantánea | Precisión requerida |
|------------------------|---------------------|
| ≤ 80 kHz | ± 2 kHz |
| > 80 kHz | $\pm 5\%$ |

3.3 Mediciones de la potencia de modulación

La potencia de modulación se especifica en dBr de acuerdo con el § 1.1. El equipo de medida deberá poder medir potencias de modulación en la gama de -6 dBr a $+6$ dBr. La precisión del instrumento deberá satisfacer al menos los valores especificados en el Cuadro 4.

CUADRO 4

Precisión del instrumento para realizar mediciones de la potencia de modulación

| Potencia de modulación (dBr) | Precisión requerida (dB) |
|------------------------------|--------------------------|
| < -2 | $\pm 0,4$ |
| -2 a $+2$ | $\pm 0,2$ |
| > 2 | $\pm 0,4$ |

4 Evaluación de los resultados

Se considera inapropiado considerar la aparición de muestras de medición individuales por encima de 75 kHz como una violación del límite de desviación porque:

- a) la modulación dinámica de un transmisor de radiodifusión en FM con un contenido de programa normal puede incluir crestas de modulación que aparecen muy raramente y pueden no ser reproducibles en una segunda medición;
- b) incluso cuando se satisfacen las condiciones de medición indicadas en el § 2, la interferencia externa no puede evitarse completamente en todo instante.

Por estas razones, y considerando la incertidumbre de medición con un nivel de confianza pretendido del 95%, puede considerarse que un transmisor de radiodifusión en FM viola el límite de desviación si un cierto número de muestras de medición rebasan el $\pm 75\%$ (más la incertidumbre de medición). El $10^{-4}\%$ de las muestras de medición que rebasan la desviación de 77 kHz puede considerarse un valor práctico.

Como la potencia de modulación se promedia a lo largo de un periodo de 60 s, las crestas de corta duración incluidas en el contenido del programa o causadas por interferencia externa ya quedan en gran medida canceladas. Por tanto, puede considerarse que un transmisor de radiodifusión en FM viola el límite de potencia de modulación si el valor más elevado de potencia múltiplex medido rebasa los 0,2 dBr.

5 Presentación de los resultados de las mediciones

5.1 Potencia de modulación

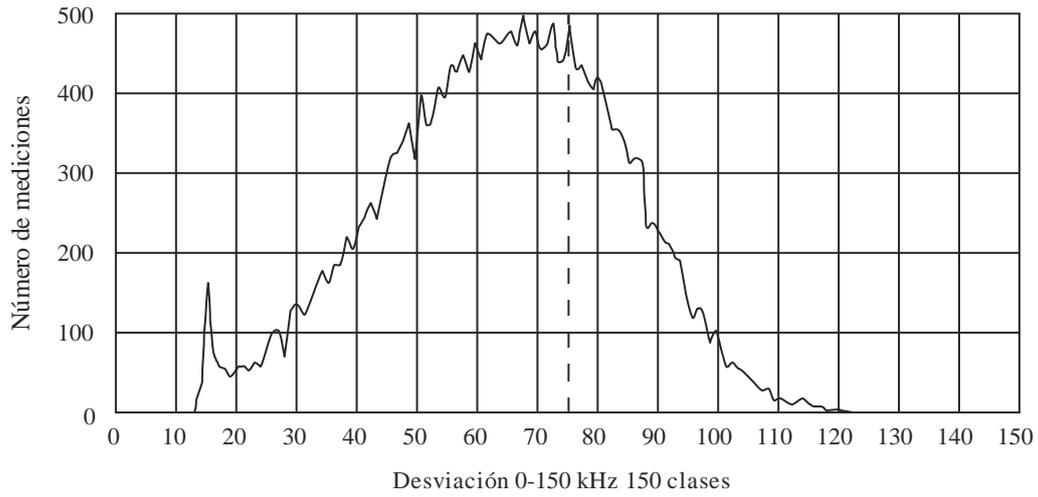
La potencia de modulación deberá presentarse en función del tiempo durante el intervalo de medición. Debe indicarse el máximo valor registrado.

5.2 Desviación de frecuencia

Para obtener más información, es preferible representar la desviación mediante histogramas y como una función del tiempo en lugar de presentar simplemente el valor más alto en un modo de «máxima retención» durante un cierto periodo de tiempo. Los histogramas de la desviación de frecuencia se procesan como sigue:

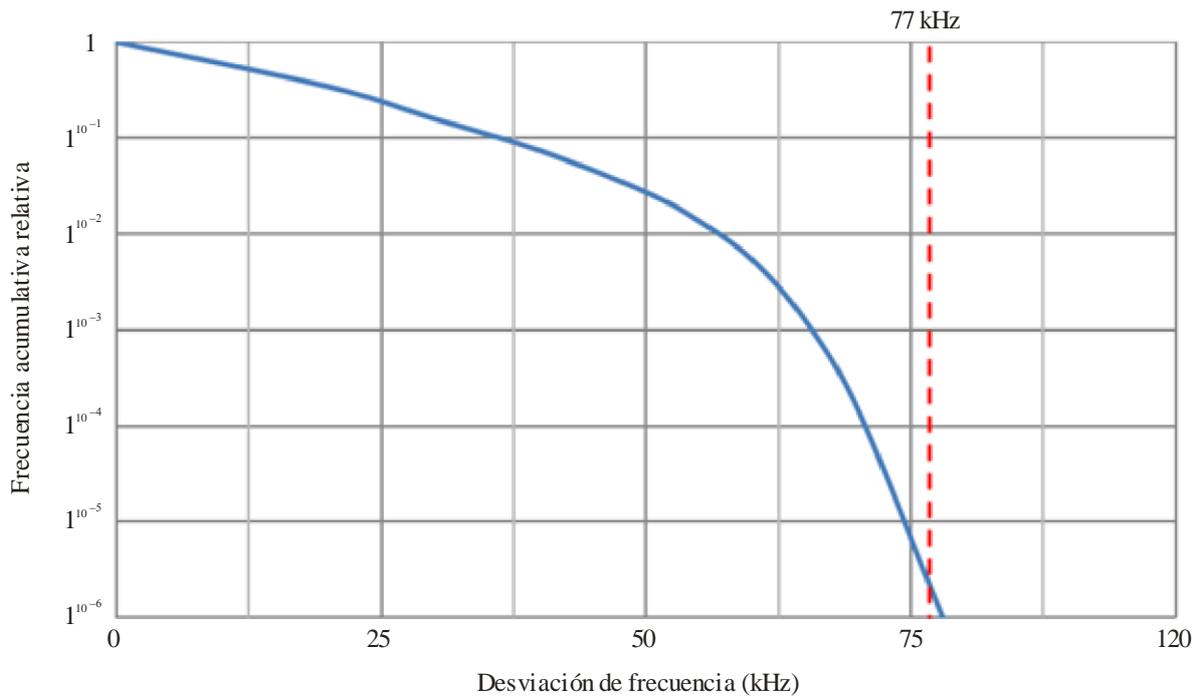
- a) se divide la gama de desviaciones de frecuencia de interés (es decir 150 kHz) por la resolución deseada (por ejemplo 1 kHz) para obtener el número de sectores (en este caso 150 sectores);
- b) para cada sector se determina el número de muestras que tienen un valor dentro del sector. El resultado es una gráfica de distribución de la desviación, como se muestra en la Fig. 5;
- c) se suman los cómputos en cada sector de izquierda a derecha y se normaliza por N. El resultado es un gráfico de la distribución acumulativa, como se muestra en la Fig. 6; otra posibilidad es obtener los valores de retención de cresta N de la desviación tomados cada uno durante un tiempo de medición de 50 ms. Los 50 ms aseguran que los valores de cresta de la desviación se observan incluso en frecuencias de modulación tan bajas como 20 Hz. Un valor del tiempo de integración útil en la práctica es de 1 s;
- d) además, los valores de retención de cresta N de la desviación de frecuencia deben presentarse en función del tiempo durante el intervalo de medición.

FIGURA 5
Gráfico de distribución de la desviación



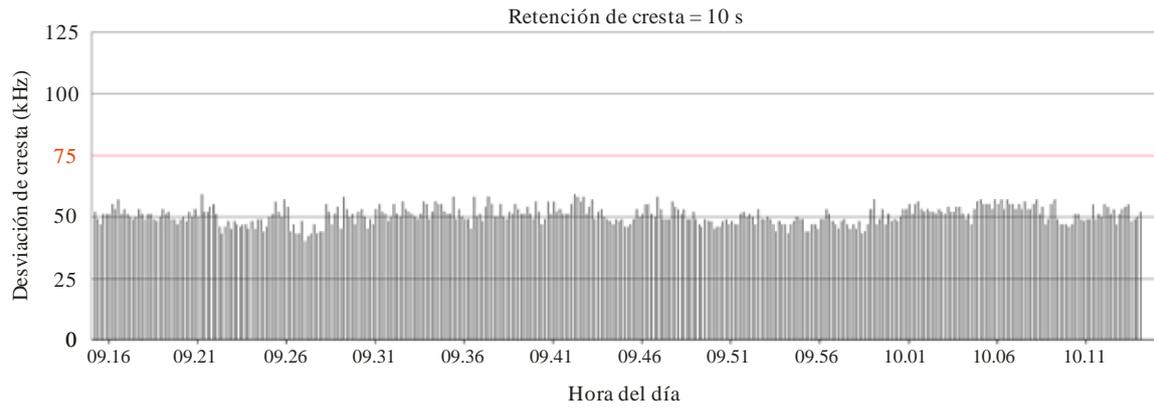
SM.1268-05

FIGURA 6
Gráfico de la distribución acumulada de la desviación



SM.1268-06

FIGURA 7
Gráfico de la desviación en función del tiempo



SM.1268-07

