

## RECOMENDACIÓN UIT-R BS.559-2\*,\*\*

**Medición objetiva de las relaciones de protección en radiofrecuencia en las bandas de radiodifusión por ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas**

(1978-1982-1990)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la relación de protección en radiofrecuencia está directamente ligada con la relación de protección en audiofrecuencia (véase la Recomendación UIT-R BS.638);
- b) que esta relación depende de una serie de parámetros técnicos, tales como:
  - la diferencia de frecuencias entre las portadoras deseada y no deseada;
  - las anchuras de banda del transmisor y del receptor;
  - la pendiente de corte de los filtros de limitación de banda en los extremos de transmisión y recepción;
  - el tipo de modulación y el índice de modulación;
  - la distribución espectral de la energía de la señal moduladora;
  - la compresión dinámica;
  - las características de preacentuación y de desacentuación, en su caso;
  - la radiación fuera de banda del transmisor;
  - la respuesta amplitud/frecuencia del oído humano, que puede simularse por medio de la red de ponderación del aparato de medida (Recomendación UIT-R BS.468);
  - la amplitud de la tensión a la entrada del receptor,

*recomienda*

que, una vez que se haya determinado una relación de protección en audiofrecuencia, se utilice uno de los métodos objetivos de dos señales que se exponen a continuación, para determinar las relaciones de protección necesarias en radiofrecuencia para la radiodifusión sonora con modulación de amplitud.

## **1 Métodos objetivos de medición**

### **1.1 Principio**

El método objetivo de medición requiere en esencia, el empleo de dos señales. Consiste en modular sucesivamente el transmisor deseado y el transmisor interferente, con un determinado índice de modulación, mediante una señal normalizada de ruido coloreado cuya distribución espectral en amplitud es semejante a la de los programas de música moderna.

Se mide el efecto perturbador a la salida en audiofrecuencia del receptor por medio de un circuito de medición de un solo canal mediante un instrumento normalizado o un instrumento basado en un circuito de medición de dos canales (véase el § 1.2).

---

\* La Recomendación UIT-R BS.560 contiene información complementaria.

\*\* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2002 de conformidad con la Resolución UIT-R 44 .

## 1.2 Medición a la salida

Para medir las señales deseada e interferente a la salida del receptor debe utilizarse:

- un instrumento normalizado que incluya una red para ponderar el efecto perturbador subjetivo de las distintas frecuencias interferentes de acuerdo con la Recomendación UIT-R BS.468, y un voltímetro para la medición\* de valores eficaces; o
- un instrumento especial basado en el circuito mostrado en la Fig. 1 y que tenga filtros de ponderación con una característica amplitud/frecuencia como la de la Fig. 2. Este instrumento tiene circuitos para la separación de la interferencia de banda estrecha y banda ancha por medio de filtros de banda resintonizable y de rechazo, respectivamente, circuitos para ponderar cada uno de estos tipos de interferencia, máximos en la región de 4 kHz, y de 0,5 kHz y 3,0 kHz respectivamente, un sumador y un voltímetro de valores eficaces.

## 1.3 Señal de ruido utilizada para la modulación de los generadores de señales

Una señal destinada a simular la modulación debe reunir las dos condiciones siguientes:

- su composición espectral debe corresponder a un programa típico de radiodifusión;
- su dinámica debe ser lo bastante reducida para dar al instrumento una indicación constante y bien definida.

Se ha tomado como base la distribución espectral de la música de baile moderna; en efecto, este tipo de programa tiene una proporción muy grande de audiofrecuencias elevadas, y es uno de los más corrientes. No obstante, su dinámica es demasiado amplia, y no satisface la segunda condición mencionada. La señal que conviene para este fin es un ruido coloreado normalizado, cuya distribución espectral se aproxima a la de la música de baile moderna (véase la curva A de la Fig. 3 que se mide con filtros de un tercio de octava)\*\*.

Esta señal, correspondiente al ruido coloreado normalizado, puede obtenerse a partir de un generador de «ruido blanco» por medio de un circuito pasivo de filtrado, como se representa en la Fig. 4. La característica de respuesta en frecuencia de este filtro se representa por la curva B de la Fig. 3. (Conviene advertir que la diferencia entre las curvas A y B de la Fig. 3 se debe a que la curva A se basa en mediciones con filtros de «tercio de octava» que dejan pasar mayores cantidades de energía a medida que crece la anchura de banda del filtro con la frecuencia.)

Más allá de la frecuencia de modulación máxima utilizada, la anchura de banda del ruido coloreado normalizado debe limitarse por medio de un filtro paso bajo cuya frecuencia de corte y pendiente hagan que la banda de paso de la señal moduladora sea aproximadamente igual a la mitad de la anchura de banda de transmisión normalizada. La característica amplitud/frecuencia en audiofrecuencia del modulador del generador de señal no debe variar en más de 2 dB hasta la frecuencia de corte del filtro paso bajo.

---

\* La utilización de una medición del valor eficaz en lugar del valor cuasi-cresta especificado en la Recomendación UIT-R BS.468, permite tener una mayor precisión de la frecuencia de batido, que predomina para las separaciones pequeñas entre frecuencias, así como otros efectos. Esta conclusión está fundada sobre la buena concordancia, constatada para todas las separaciones de frecuencias, entre los valores de las relaciones de protección en RF medidas por el método objetivo de dos señales, y las obtenidas por las pruebas subjetivas.

\*\* En la Recomendación UIT-T J.19 se propone una señal de ruido coloreado distinta. El uso de esta señal, en lugar de la propuesta en la presente Recomendación conduciría a valores relativos diferentes de la relación de protección RF que sólo se justificarían si las características de una señal de programa típica fueran simuladas mejor por el ruido coloreado de la Recomendación UIT-T J.19.

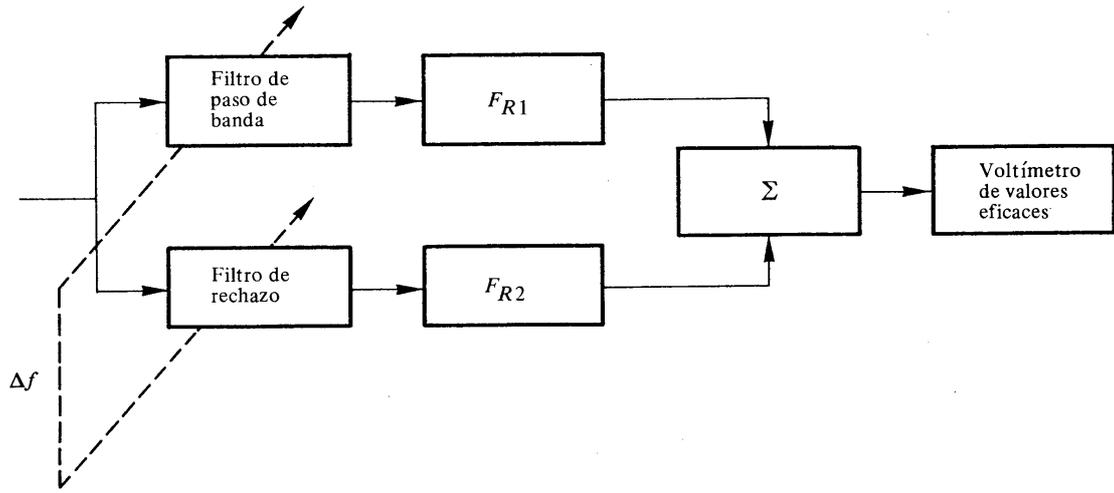


FIGURA 1 — Esquema de principio del dispositivo de medición

$F_{R1}$ ,  $F_{R2}$ : Redes de ponderación

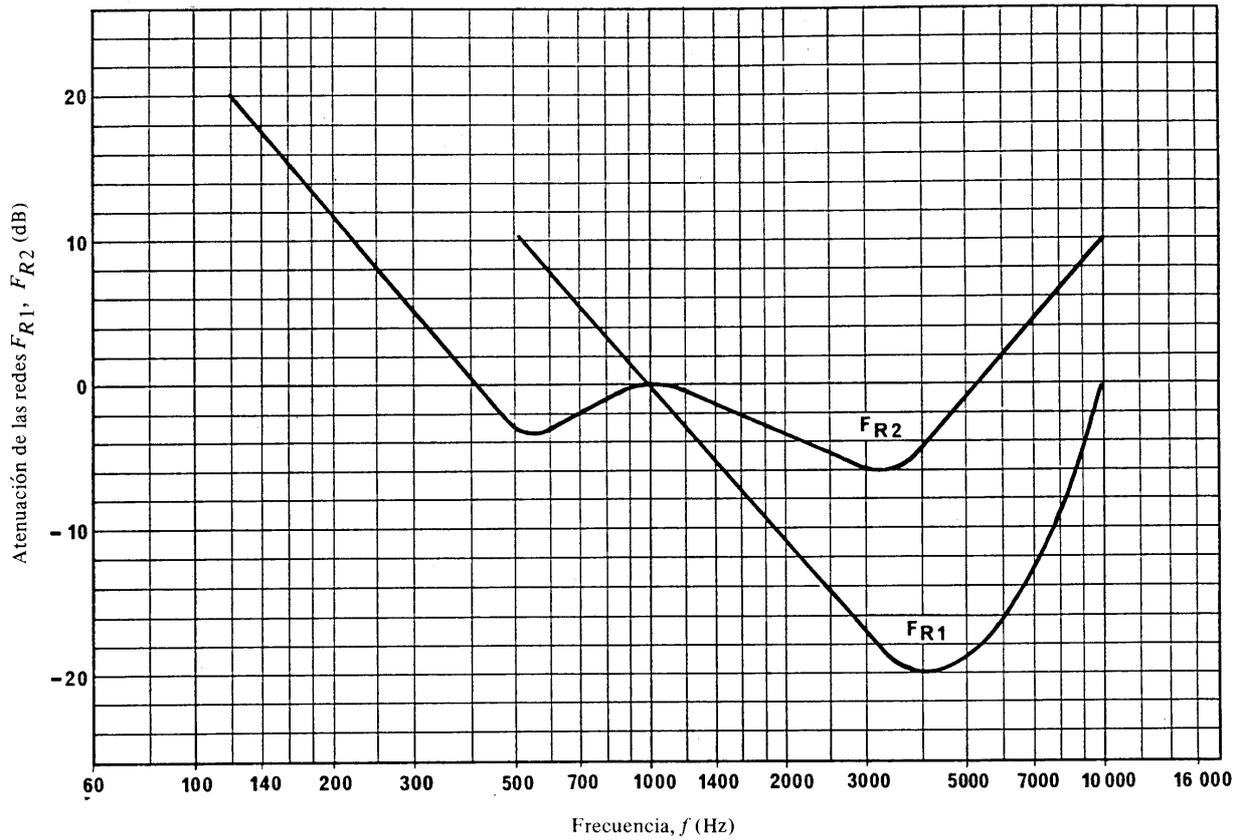


FIGURA 2 — Respuestas en frecuencia de las redes de ponderación

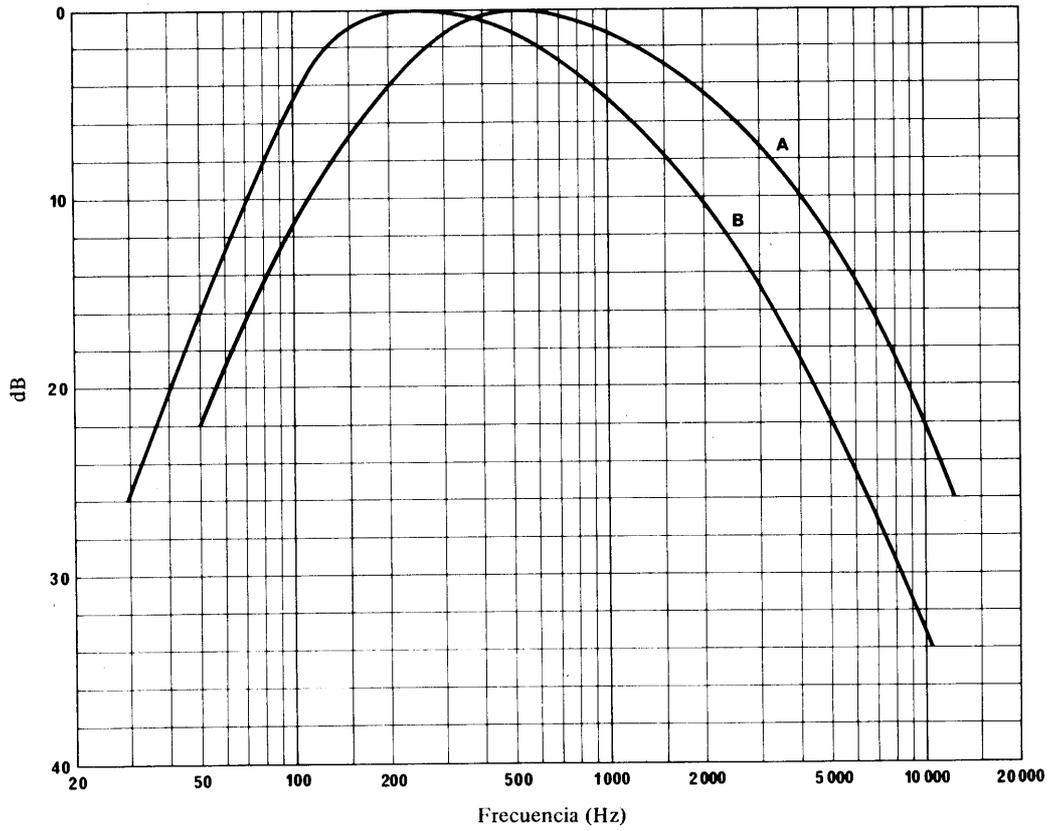


FIGURA 3

Curva A: Espectro del ruido normalizado (medido con el filtro de "tercio de octava")  
 Curva B: Respuesta en frecuencia del filtro

D02-sc

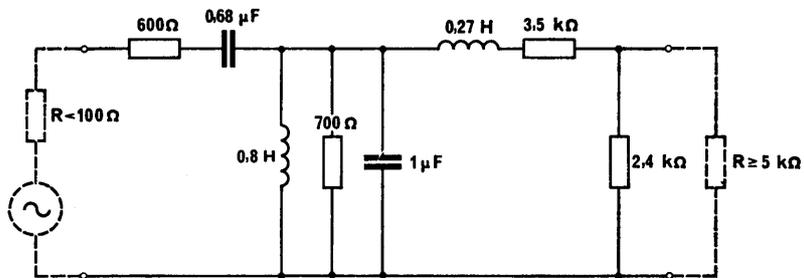


FIGURA 4 - Filtro

D03-sc

## 1.4 Dispositivo de medición

La Fig. 5 muestra el esquema de principio del dispositivo de medición, con los elementos de importancia primordial indicados en trazos más gruesos. Los demás elementos son aparatos de medición y de control necesarios o útiles para la realización práctica de las pruebas.

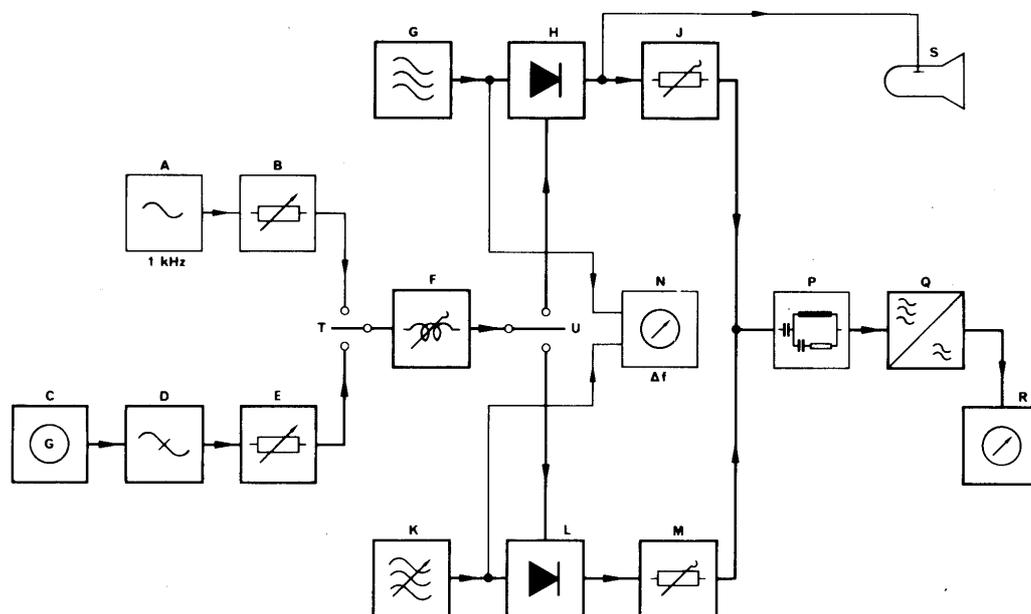


FIGURA 5 – Esquema de principio del dispositivo de medición

- |  |   |
|--|---|
| A: Generador de audiofrecuencia de 1 kHz (para calibración del índice de modulación) | M: Atenuador calibrado  |
| B: Atenuador calibrado   | N: Frecuencímetro (para la medición de la diferencia de frecuencia entre los generadores G y K) |
| C: Generador de ruido  | P: Antena artificial según la Recomendación UIT-R SM.331  |
| D: <b>Filtro de ponderación del ruido (véase la fig. 4)</b>                          | Q: Receptor bajo prueba   |
| E: Atenuador calibrado   | R: <b>Instrumento para medir – valores eficaces de acuerdo con el § 1.2</b>                     |
| F: Filtro pasabajo   | S: Osciloscopio (para control)  |
| G: Generador de la señal deseada   | T: Conmutador de selección de modulación (frecuencia de 1 kHz o ruido normalizado)              |
| H: Modulador   | U: Conmutador de modulación (generador G o K)   |
| J: Atenuador calibrado   |   |
| K: Generador de la señal interferente  |   |
| L: Modulador   |   |

0559-05

## 1.5 Profundidad de modulación de los transmisores utilizados para la medición

Las profundidades de modulación de las señales deseada e interferente se fijan por medio de las siguientes prescripciones de ajuste. Primero, se modulan los generadores al 50% con una señal sinusoidal de 1 kHz, que proviene del generador A. El ajuste de la amplitud se realiza mediante el atenuador B y se controla en el osciloscopio S, a las salidas de los moduladores H o L. Con el instrumento R se controlan las tensiones de audiofrecuencia aplicadas a través del conmutador U a las entradas de los moduladores. Con el mismo instrumento R se mide la amplitud de la señal de ruido (C + D) y se ajusta por medio del atenuador E de manera que la indicación correspondiente sea 6 dB inferior a la obtenida con la señal sinusoidal, si el instrumento posee una constante de tiempo de 200 ms. Se tiene entonces un porcentaje de modulación que, medido en el modulómetro clásico de valores cuasi cresta, sería del 50%. No es conveniente aumentar más la profundidad de modulación, porque el ruido, en razón de su pequeña dinámica, produciría entonces una molestia más importante que la de un programa real.

## 1.6 Relación señal/interferencia en audiofrecuencia

El generador correspondiente a la señal deseada ( $G + H + J$ ) modulado por el ruido, de conformidad con los § 1.3 y 1.5, produce, a la salida de audiofrecuencia del receptor bajo prueba  $Q$ , una señal que, medida en el instrumento  $R$ , representa el nivel de referencia «cero». La modulación de ruido se transfiere entonces por medio de  $U$ , de la entrada de audiofrecuencia del generador deseado  $H$  a la entrada de audiofrecuencia del generador interferente  $L$ . Después de suprimir la modulación de la señal deseada, se ajusta el nivel de radiofrecuencia del transmisor interferente ( $K + L + M$ ) de tal manera que la tensión de interferencia, medida en el instrumento  $R$  a la salida del receptor, corresponda a la relación deseada señal/interferencia en audiofrecuencia, por ejemplo, 20, 30 ó 40 dB por debajo del nivel de referencia.

## 1.7 Nivel de radiofrecuencia de la señal deseada a la entrada del receptor

La tensión de radiofrecuencia de salida del generador deseado ( $G + H + J$ ) debe ser, ante todo, lo más baja posible, para que no deje de ser lineal el comportamiento del receptor durante la medición. No obstante, el nivel de la portadora deseada no modulada debe ser suficientemente elevado para que la tensión de salida debida al ruido propio del receptor sea, como mínimo, 3 dB inferior a la tensión de ruido debida al generador interferente modulado, de acuerdo con el § 1.6. Se aumenta entonces progresivamente el nivel de radiofrecuencia del generador deseado ( $G + H + J$ ) a fin de incluir el efecto de las características no lineales del receptor, es decir, la intermodulación.

## 1.8 Influencia de la distorsión no lineal de los generadores de señal utilizados en la medición

La distorsión no lineal que aparece cuando se modula el generador de señal crea componentes que determinan un aumento de la relación señal/interferencia en radiofrecuencia en el canal adyacente y en el canal siguiente, al ensanchar el espectro de radiofrecuencia.

Por consiguiente, la distorsión no lineal de los generadores no debiera exceder del 1 ó 2%.

## 1.9 Precisión

Los resultados obtenidos con el método objetivo se han comparado con los de pruebas subjetivas correspondientes, habiéndose comprobado que las mediciones objetivas dan una primera aproximación de los resultados obtenidos con el método subjetivo. En el caso de un programa muy sensible a las interferencias (por ejemplo, señal vocal con pausas largas), la diferencia entre las mediciones objetivas y las pruebas subjetivas puede ser superior a 5 dB.

Los resultados de las mediciones de la relación de protección dependen en gran medida de la banda de paso del receptor. Para mediciones o cálculos por el método de un solo canal, en la Fig. 6 se muestra el error de las mediciones de la relación de protección  $\Delta A$  en función de la diferencia de frecuencia  $\Delta f$  para dos valores de banda de paso del receptor en la frecuencia intermedia  $2\Delta f = 9$  kHz y  $2\Delta f = 5$  kHz (a  $-6$  dB).

## 2 Método numérico

### 2.1 Principio

Para determinar la relación relativa de protección en radiofrecuencia, el procedimiento físico que sirve de base para el método objetivo, a saber, la determinación del nivel de ruido ponderado por los métodos de un solo canal y de los dos canales (véase el § 1.2) se simula por medio de un modelo matemático.

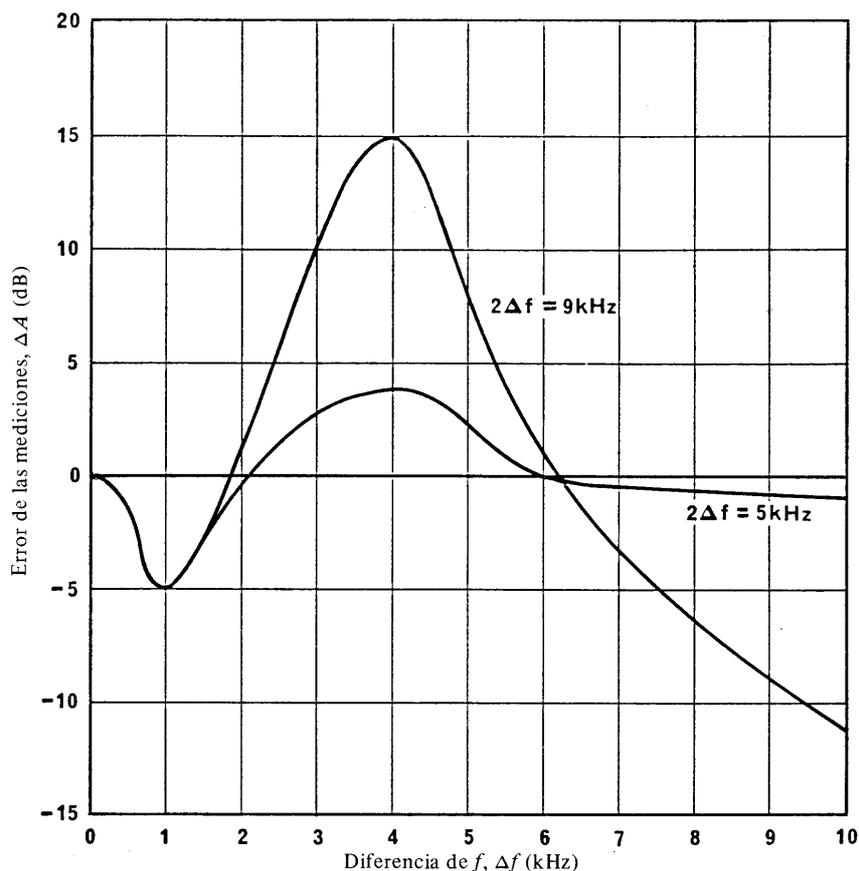


FIGURA 6 – Error de las mediciones de la relación de protección  $\Delta A$  en función de la diferencia de frecuencia  $\Delta f$

D05-sc

Se suponen dos canales con frecuencias portadoras  $f_T$  y  $f_R$  cuya diferencia de frecuencias es  $\Delta f$ . La densidad espectral de potencia de la emisión en relación con la anchura de banda adicional  $B_{eff}$  se simula mediante la función  $F_T$ , según la frecuencia relativa  $|f|$ . Esta función está compuesta por subfunciones de multiplicación (por ejemplo, atenuación, distribución espectral de la energía, preacentuación de las audiofrecuencias elevadas) y de suma (por ejemplo, la radiación fuera de banda) o se establece mediante trazos poligonales. Análogamente, la respuesta global del receptor, incluida la ponderación de la potencia de ruido con ayuda de los métodos de un solo canal y de los dos canales, se representa por medio de la función  $F_R$  o  $F_{R1}$  y  $F_{R2}$ , respectivamente, que dependen de la frecuencia relativa  $|\Delta f - f|$ .

En la modulación de doble banda lateral,  $F_T$  y  $F_R$  son simétricos con relación a las frecuencias portadoras respectivas. La Fig. 7 muestra la forma fundamental de las funciones  $F_T$  y  $F_R$ , las subfunciones más importantes y el significado de las designaciones utilizadas.

La densidad espectral de potencia del transmisor con la frecuencia portadora  $f_T$  produce un nivel de interferencia  $\Delta P_T$  en el canal recibido con la frecuencia portadora  $f_R$  que, para una determinada diferencia de frecuencia  $\Delta f$  puede calcularse integrando el producto  $F_T \times F_R$ ; se obtiene así el siguiente resultado:

$$\Delta P_T = \int_{f_1}^{f_2} F_T (|f|) \times F_R (|\Delta f - f|) \times df \quad (1)$$

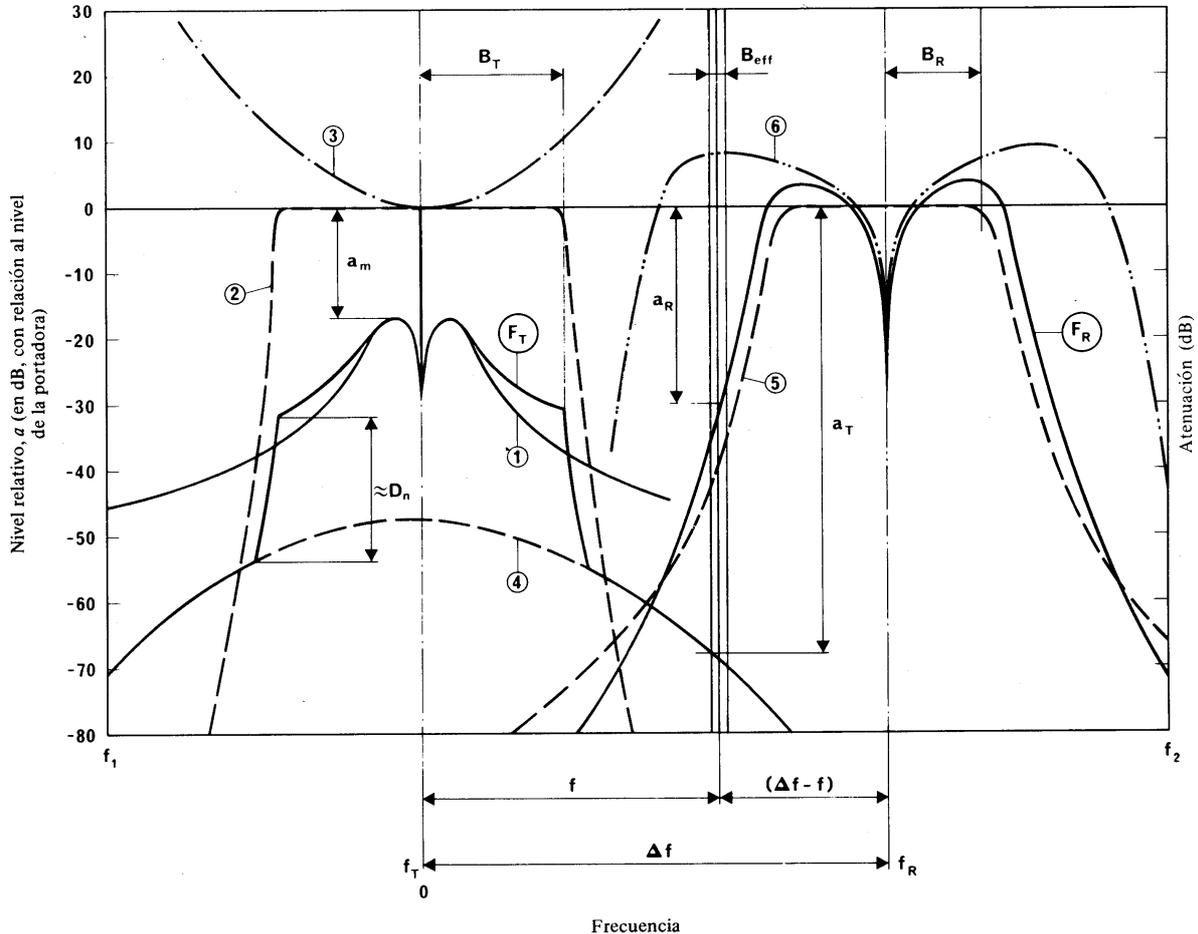


FIGURA 7 - Relaciones fundamentales

- |  |  |
|--|--|
| $B_T$ : Anchura de banda del transmisor entre puntos a 3 dB (global)   | ④ : Radiación fuera de banda del transmisor  |
| $B_R$ : Anchura de banda del receptor entre puntos a 3 dB (global)   | $F_T$ : Función que representa el espectro de densidad de potencia del transmisor  |
| $B_{eff}$ : Anchura de banda adicional con la que está relacionado el espectro de potencia y en la que se puede suponer que la densidad de potencia y la característica de atenuación del receptor es constante en todos los casos a los efectos del cálculo | $D_n$ : Atenuación de los productos de intermodulación del transmisor en caso de medición con dos tonos  |
| $f_T$ : Frecuencia portadora del transmisor  | $a_m$ : Nivel relativo de la densidad máxima de potencia en la banda lateral, con relación al nivel de la portadora  |
| $f_R$ : Frecuencia portadora en el canal recibido  | ⑤ : Característica de atenuación del filtro de limitación de banda en el receptor  |
| $\Delta f$ : Separación de frecuencias $ f_R - f_T $   | ⑥ : Curva de ponderación del filtro sofométrico  |
| $f_1, f_2$ : Límites inferior y superior de integración  | $F_R$ : Función que presenta la característica de atenuación global del receptor, incluida la ponderación mediante el filtro sofométrico (atenuación ponderada del receptor) |
| ① : Distribución espectral de la energía de la banda lateral   | $a_T$ : Nivel de la densidad espectral de potencia del transmisor en la frecuencia $f$   |
| ② : Características de atenuación del filtro de limitación de banda en el transmisor   | $a_R$ : Atenuación ponderada del receptor en la frecuencia $f$   |
| ③ : Preatenuación (de altas frecuencias) en el transmisor  |  |

Sin embargo, al efectuar la integración con arreglo a la fórmula (1) para  $\Delta f = 0$  (el receptor está exactamente sintonizado en la frecuencia del transmisor), se obtiene la potencia útil recibida  $\Delta P_N$ . La relación relativa de protección en radio frecuencia  $A_{rel}$  es la relación potencia interferente/potencia deseada en el canal considerado.

$$A_{rel} = 10 \log (\Delta P_T / \Delta P_N) \quad \text{dB} \quad (2)$$

Con el método numérico se pueden también determinar por separado las componentes de interferencia debidas al batido de la portadora y a las bandas laterales. Conviene efectuar la integración con arreglo a la fórmula (1) mediante computadores y métodos de integración numéricos. En la práctica, la mayoría de los problemas pueden resolverse satisfactoriamente mediante incrementos progresivos de la anchura de banda  $B_{eff} = 100$  Hz, mediante integración numérica.

Como el método descrito se basa en la determinación de la potencia, no proporciona la reducción adicional del ruido de 3 dB observada durante las mediciones de interferencia cocanal, realizadas en sistemas con detección de envolvente.

Por consiguiente, las relaciones relativas de protección en radiofrecuencia obtenidas con el método numérico deben corregirse en  $-3$  dB.

En Francia se desarrolló una versión simplificada de ese método, que en principio sólo tiene en cuenta la frecuencia  $f$  que contribuye en mayor medida a la integral de la ecuación (1). Así pues, cabe determinar gráficamente la relación de protección mediante curvas representativas de las funciones  $F_T$  y  $F_R$ . Este método se denomina «método gráfico».

## 2.2 Precisión y límites del método

Los resultados obtenidos en un sistema de doble banda lateral se presentan en la Fig. 8, comparados con los resultados de las mediciones.

Mientras los valores de la relación relativa de protección en radiofrecuencia no excedan de  $-40$  dB, las diferencias entre los cálculos y las mediciones son aproximadamente de 1 dB. Más allá de  $-40$  dB, las mediciones se ven influenciadas cada vez más por el inevitable ruido inherente al equipo utilizado y por la distorsión de intermodulación en el receptor, que ya no puede despreciarse, y que no se tuvo en cuenta en el cálculo.

El «método gráfico» se presta en general a calcular los valores de la relación de protección, siempre y cuando la interferencia venga determinada en gran medida por una parte bastante limitada del espectro de la señal interferente. Las diferencias entre tales valores, cuando se comparan con los derivados de las mediciones objetivas, no exceden de 3 dB.

NOTA – El método de medición es más preciso que el método gráfico o el método numérico, ya que tiene en cuenta todos los parámetros técnicos con mayor exactitud. Sin embargo, el método gráfico y el numérico tienen la ventaja fundamental de permitir determinar inmediatamente los valores de la relación de protección en radiofrecuencia para cualquier receptor existente o en proyecto. Con un simple programa de computador puede aplicarse el método numérico en una fracción del tiempo necesario para realizar mediciones objetivas. El método numérico es, por consiguiente, adecuado para optimizar los parámetros técnicos de cualquier sistema de transmisión con modulación de amplitud para la radiodifusión sonora en las bandas 5 (ondas kilométricas) y 6 (ondas hectométricas) y con sólo ligeras modificaciones puede aplicarse a los sistemas de banda lateral única.

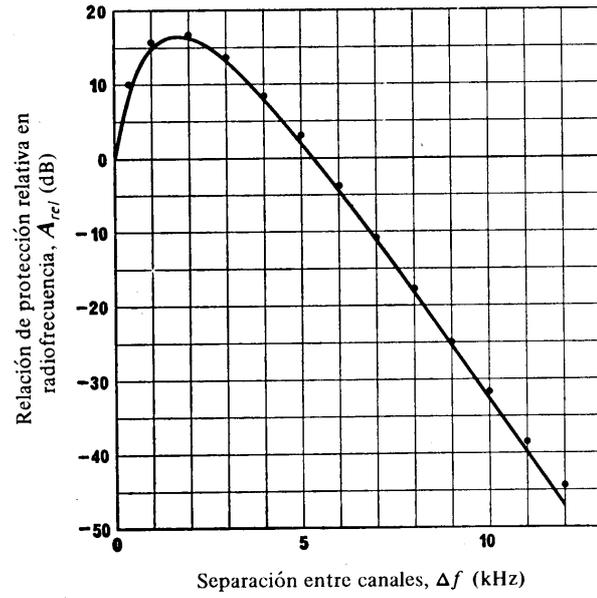


FIGURA 8 — Comparación entre los valores medidos y los valores calculados de la relación relativa de protección en radiofrecuencia (sistema de doble banda lateral)

— : Valores calculados      ● : Valores medidos

D07-sc