

RECOMENDACIÓN UIT-R SM.1134*

**CÁLCULOS DE LA INTERFERENCIA DE INTERMODULACIÓN
EN EL SERVICIO MÓVIL TERRESTRE**

(Cuestión UIT-R 44/1)

(1995)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que, en los casos más característicos, los factores principales que determinan la interferencia en el servicio móvil terrestre son los siguientes:
- productos de intermodulación en banda generados por dos (o varias) señales interferentes de alto nivel;
 - emisiones no deseadas que se pueden producir en un transmisor cuando una señal procedente de otro transmisor también está presente en la entrada de las etapas de RF del transmisor afectado;
 - los niveles de las señales deseada e interferente son variables aleatorias que presentan una distribución logarítmico-normal;
- b) que dos (o varias) señales no deseadas deben tener frecuencias específicas tales que los productos de intermodulación caigan en la banda de frecuencias de un receptor;
- c) que la probabilidad de que se produzca una interferencia de intermodulación debida a más de dos señales no deseadas de alto nivel es muy pequeña;
- d) que el procedimiento de cálculo de la interferencia de intermodulación ofrecerá un medio útil de promover la utilización eficaz del espectro por el servicio móvil terrestre,

recomienda

- 1** que para el cálculo de la interferencia de intermodulación en el servicio móvil terrestre se utilice el modelo de intermodulación en el receptor que figura en el Anexo 1;
- 2** que para calcular la interferencia de intermodulación se siga el procedimiento siguiente, cuyos detalles figuran en el Anexo 1:
 - 2.1** que se determine el valor medio y la dispersión de la potencia de una señal aleatoria deseada en la entrada del receptor;
 - 2.2** que se determine el valor medio y la dispersión de la potencia de una señal aleatoria de interferencia de intermodulación en la entrada del receptor;
 - 2.3** que se determine la probabilidad de que los productos de intermodulación generados en el propio receptor y los ocasionados por la intermodulación en el transmisor se produzcan durante la recepción;
- 3** que las zonas afectadas por la interferencia de intermodulación y la separación geográfica necesaria entre los transmisores y receptores interferentes se determinen sobre la base de un valor dado de la probabilidad de interferencia, como se describe en el Anexo 1.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 8 de Radiocomunicaciones.

Modelos de intermodulación

En este Anexo, dividido en cinco puntos, se describen dos modelos de intermodulación: el modelo de intermodulación en el receptor (RXIM) y el modelo de intermodulación en el transmisor (TXIM).

En el § 1 se describe la fórmula general para calcular la interferencia de intermodulación en el receptor. En el § 2 se indica el procedimiento de medición de la RXIM. En el § 3 se describe un procedimiento para evaluar la interferencia de intermodulación en el receptor utilizando la fórmula general. En el § 4 se indica la fórmula para calcular la interferencia de intermodulación en el transmisor y en el § 5 se indica cómo se calculan las probabilidades de interferencia de RXIM y TXIM.

1 Modelo de análisis de la intermodulación en el receptor

La potencia de interferencia de intermodulación de tercer orden de dos señales se calcula con la siguiente fórmula (Informe 522-2 del ex CCIR, Düsseldorf, 1990):

$$P_{ino} = 2(P_1 - \beta_1) + (P_2 - \beta_2) - K_{2,1} \quad (1)$$

donde:

P_1 y P_2 : potencias de las señales interferentes a las frecuencias f_1 y f_2 , respectivamente

P_{ino} : potencia del producto de intermodulación de tercer orden a la frecuencia f_0 ($f_0 = 2f_1 - f_2$)

$K_{2,1}$: coeficiente de intermodulación de tercer orden y se puede calcular con las mediciones de intermodulación de tercer orden u obtener a partir de las especificaciones del equipo

β_1 y β_2 : parámetros de selectividad de frecuencia de RF a las desviaciones de frecuencia Δf_1 y Δf_2 con respecto a la frecuencia de funcionamiento f_0 , respectivamente.

Los valores de β_1 y β_2 , por ejemplo, se pueden obtener mediante la ecuación para calcular la atenuación de una señal a una frecuencia fuera de sintonía.

$$\beta(\Delta f) = 60 \log \left[1 + \left(\frac{2 \Delta f}{B_{RF}} \right)^2 \right] \quad (2)$$

donde B_{RF} es la anchura de banda de RF del receptor.

Cabe señalar que para una determinada serie de mediciones de intermodulación de tercer orden en receptores radioeléctricos analógicos del servicio móvil terrestre en las bandas de ondas métricas y decimétricas, se puede obtener la siguiente fórmula [McMahon, 1974] derivada de la ecuación (1):

$$P_{ino} = 2P_1 + P_2 + 10 - 60 \log (\sigma f) \quad (3)$$

donde σf es la desviación de frecuencia media (MHz) y es igual a:

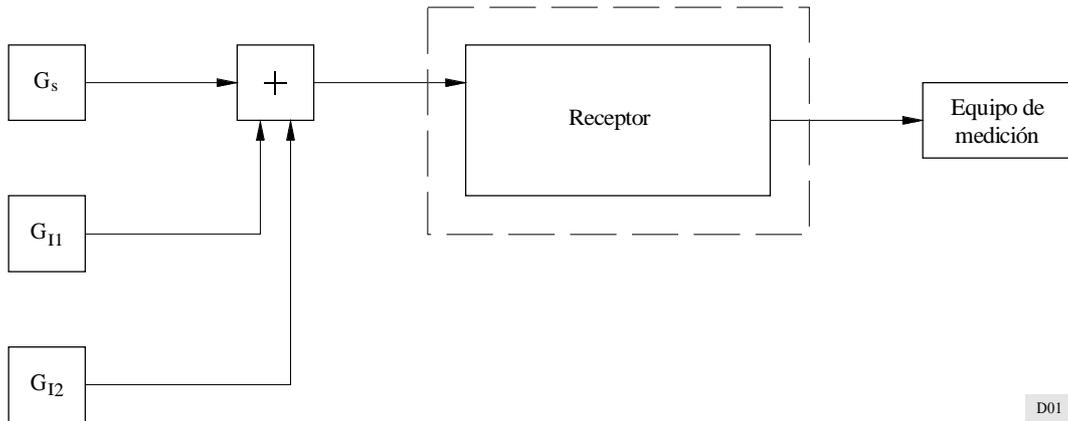
$$\frac{\Delta f_1 + \Delta f_2}{2}$$

2 Características de la interferencia de intermodulación en el receptor

En la Fig. 1, G_s representa el generador de la señal deseada y G_{I1} y G_{I2} son los generadores de las señales interferentes que constituyen el producto RXIM. Estas señales se aplican a la entrada del receptor.

FIGURA 1

Diagrama en bloque para las medidas de intermodulación en el receptor



Cuando se mide la característica de intermodulación del receptor, hay dos señales interferentes de igual nivel procedentes de los generadores G_{I1} y G_{I2} y la señal deseada de nivel P_{sr} procedente del generador G_s , que se aplican a la entrada del receptor. La desintonización de frecuencia de la primera señal interferente se hace igual a Δf_0 ; en cuanto a la segunda señal interferente, es aproximadamente igual a $2\Delta f_0$. El nivel de ambas señales interferentes a la entrada del receptor se aumenta hasta que alcanza $P_I(IM)$, nivel en que la calidad de recepción de la señal deseada no debe ser inferior a un valor determinado. La calidad de recepción está, pues, vinculada con la relación de protección cocanal A .

Obsérvese que:

P_{sr} : sensibilidad del receptor radioeléctrico (dBW)

$P_I(IM)$: sensibilidad a la intermodulación, que fue medida en el receptor (dBW).

Se obtiene, pues, conforme a la ecuación (1):

$$P_{ino} = 3 P_I(IM) - 2\beta(\Delta f_0) - \beta(2 \Delta f_0) - K_{2,1} \quad (4)$$

Este nivel tiene la relación siguiente con P_{sr} :

$$P_{sr} - A = P_{ino} \quad (5)$$

Por tanto $K_{2,1}$ es:

$$K_{2,1} = 3 P_I(IM) - 2\beta(\Delta f_0) - \beta(2 \Delta f_0) - P_{sr} + A \quad (6)$$

3 Procedimiento para el análisis de la intermodulación en el receptor

La interferencia causada por productos de intermodulación de tercer orden en el receptor se produce cuando se dan las dos condiciones siguientes:

$$-\frac{B_{FI}}{2} < 2 \Delta f_1 - \Delta f_2 < \frac{B_{FI}}{2} \quad (7)$$

y

$$P_s - P_{ino} < A \quad (8)$$

donde:

$\Delta f_1, \Delta f_2$: desintonización de frecuencia de las señales interferentes

B_{FI} : anchura de banda de FI del receptor (expresada en la misma unidad que Δf_1 y Δf_2)

P_{ino} : potencia de interferencia equivalente en sintonía (dBm)

P_s : potencia de la señal deseada (dBm)

A : relación de protección cocanal (dB).

La P_{ino} viene dada por la ecuación (1). Según la ecuación (1), la condición (8) se puede expresar como sigue:

$$2P_1 + P_2 - P_s > R_0 \quad (9)$$

donde:

$$R_0 = -A + 2\beta_1 + \beta_2 + K_{2,1} \quad (10)$$

4 Potencia de los productos de intermodulación en el transmisor

La potencia P_i del producto de intermodulación que se produce en el transmisor y que posteriormente llega a la entrada del receptor, se puede expresar de la siguiente manera:

$$P_i = P'_2 - \beta_{12} - \beta_{10} - K_{(2),1} - L_{10} \quad \text{dBW} \quad (11)$$

donde:

- P'_2 : potencia del transmisor interferente (con frecuencia f_2) en los terminales de salida del transmisor afectado (con frecuencia f_1), donde se producen los productos de intermodulación (dBW)
- β_{12}, β_{10} : atenuación debida a los circuitos de salida y de antena del transmisor afectado a la frecuencia f_1 con respecto al transmisor interferente a la frecuencia f_2 , y al producto de intermodulación a la frecuencia f_0 , respectivamente (dB)
- $K_{(2),1}$: pérdidas de conversión de intermodulación en el transmisor (dB) que son diferentes de $K_{2,1}$ de la ecuación (1)
- L_{10} : es la atenuación del producto de intermodulación en el trayecto entre el transmisor con frecuencia f_1 y el receptor (dB).

La interferencia causada por TXIM se produce cuando:

$$P_s - P_i < A \quad (12)$$

donde A es la relación de protección cocanal.

5 Probabilidad de interferencia

5.1 Probabilidad de interferencia RXIM

En las Recomendaciones UIT-R P.370, UIT-R P.1057 y UIT-R P.1146 se indica que, debido al desvanecimiento, los niveles de las señales deseada e interferente son variables aleatorias con una distribución logarítmico-normal. Por tanto, el término de la izquierda de la condición (9) (dBW) representa la suma de las cantidades aleatorias normales independientes y constituye una cantidad aleatoria normal. El valor medio, \bar{R} y la dispersión, σ_R^2 , de la cantidad aleatoria $R = 2P_1 + P_2 - P_s$ son iguales, respectivamente, a:

$$\begin{aligned} \bar{R} &= 2P_{1m} + P_{2m} - P_{sm} \\ \sigma_R^2 &= 4\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_s^2 \end{aligned}$$

donde:

P_{1m}, P_{2m} y P_{sm} son los valores medios y $\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_s^2$ son las dispersiones de los niveles de potencia de las señales deseada e interferente a la entrada del receptor (determinada sobre la base de los datos contenidos en la Recomendación UIT-R P.370, UIT-R P.1057 y UIT-R P.1146).

5.2 Probabilidad de interferencia TXIM

Teniendo en cuenta la ecuación (11), la condición (12) toma la siguiente forma:

$$P'_2 - P_s - L_{10} > T_0 \quad (13)$$

donde:

$$T_0 = \beta_{12} + \beta_{10} + K_{(2),1} - A$$

El valor medio, \bar{T} y la dispersión, σ_T^2 , de la cantidad aleatoria:

$$T = P'_2 - P_s - L_{10}$$

son, respectivamente, iguales a:

$$\begin{aligned}\bar{T} &= P'_{2m} - P_{sm} - L_{10m} \\ \sigma_T^2 &= \sigma_2^2 + \sigma_s^2 + \sigma_1^2\end{aligned}$$

donde:

P'_{2m}, P_{sm}, L_{10m} : valores medios

$\sigma_2^2, \sigma_s^2, \sigma_1^2$: dispersiones de las cantidades aleatorias P'_2, P_s y L_{10} .

5.3 Probabilidad de productos de intermodulación

La probabilidad, α , de que durante la recepción aparezcan productos de intermodulación generados en el propio receptor y como resultado de la intermodulación en el transmisor (condiciones (9) y (13), respectivamente), es igual a:

$$\alpha = \int_x^\infty e^{-t^2/2} \frac{dt}{\sqrt{2\pi}} \quad (14)$$

$x = (R_0 - \bar{R}) / \sigma_R$: al determinar la probabilidad de que aparezcan productos de intermodulación en los receptores (condición (9))

$x = (T_0 - \bar{T}) / \sigma_T$: al determinar la probabilidad de interferencia debida a los productos de intermodulación que aparecen en los transmisores (condición (13)).

Al determinar las zonas afectadas por la interferencia de intermodulación sobre la base de un valor dado de probabilidad de interferencia α , el valor de x se determina primero mediante la ecuación (14). Después para un valor conocido de P_{sm} se pueden determinar los valores admisibles de P_{1m} y P_{2m} o (P'_{2m} y L_{10m}) y las separaciones geográficas necesarias correspondientes entre los transmisores interferentes y el receptor, de los que dependerá la zona afectada por la interferencia.

NOTA 1 – Se puede hallar más información en:

McMAHON, J.H. [noviembre de 1974] Interference and propagation formulas and tables used in the Federal Communications Commission Spectrum Management Task Force Land Mobile Frequency Assignment Model. *IEEE Trans. Vehic. Techn.*, Vol. VT-23, 4, 12-134.

BYKHOVSKY, M.A. y MERMELSTEIN, D.V. [1990] Analysis of receiver EMC with regard to blocking, intermodulation and crosstalk. *NIIR Proc.*, 4, 11-15.