

RECOMENDACIÓN UIT-R SF.675-3*

CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE POTENCIA MÁXIMA (VALOR MEDIO EN UNA BANDA DE 4 kHz) DE UNA PORTADORA CON MODULACIÓN ANGULAR

(1990-1992-1993-1994)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que a las administraciones se les solicita que preparen la información indicada en el apéndice S4 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), a efectos de coordinación y notificación;
- b) que uno de los elementos de información indicados en el apéndice S4 del RR es la densidad de potencia máxima por Hz a la entrada de la antena, como valor medio calculado en la banda más desfavorable de 4 kHz;
- c) que es preciso disponer de métodos generalizados para el cálculo de la densidad de potencia máxima de una portadora con modulación angular,

recomienda

- 1. que se utilice el método descrito en el anexo 1 para calcular la densidad de potencia máxima (valor medio en una banda de 4 kHz) de una portadora con modulación angular;
- 2. que para la determinación de la densidad espectral de potencia máxima, las administraciones utilicen, con el acuerdo de las demás administraciones interesadas, el método de cálculo más preciso de que dispongan.

ANEXO 1

Cálculo de la densidad de potencia máxima (valor medio en una banda de 4 kHz) de una portadora con modulación angular

Más adelante se da el método de cálculo del nivel de potencia en la banda de 4 kHz más desfavorable (W/4 kHz). La densidad de potencia máxima por Hz, requerida por el Reglamento de Radiocomunicaciones, puede obtenerse dividiendo este valor por 4 000.

1. Portadora con modulación de frecuencia (MF)**1.1 Portadora MF modulada por una señal de telefonía multicanal**

La densidad espectral de potencia máxima cuando la banda de base está con plena carga viene determinada por la portadora residual o por las crestas del espectro continuo, según la naturaleza de la modulación.

La potencia de la portadora residual viene dada por la expresión siguiente:

(1)

donde:

$$\psi_0 = \frac{m^2}{\epsilon} \left[C_0 + C_2 \cdot \epsilon + \frac{C_4}{3} (\epsilon + \epsilon^2 + \epsilon^3) \right] \quad (2)$$

* Las Comisiones de Estudio 4 y 9 de Radiocomunicaciones efectuaron modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2000 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

En la ecuación (2), m es el índice de modulación cuadrático medio multicanal y las constantes C_0 , C_2 y C_4 describen la característica de preacentuación presente en la expresión general para la preacentuación:

$$p(f/f_h) = C_0 + C_2(f/f_h)^2 + C_4(f/f_h)^4 \quad (3)$$

donde f es la frecuencia de banda de base específica de que se trata, dada en las mismas unidades que f_h . En la gama $\varepsilon \leq f/f_h \leq 1$, se obtiene una buena aproximación de la característica de preacentuación de la UIT (Recomendación UIT-R F.275) mediante la expresión:

$$p(f/f_h) = 0,4 + 1,35(f/f_h)^2 + 0,75(f/f_h)^4 \quad (4)$$

Por lo tanto, para un sistema con preacentuación del CCIR:

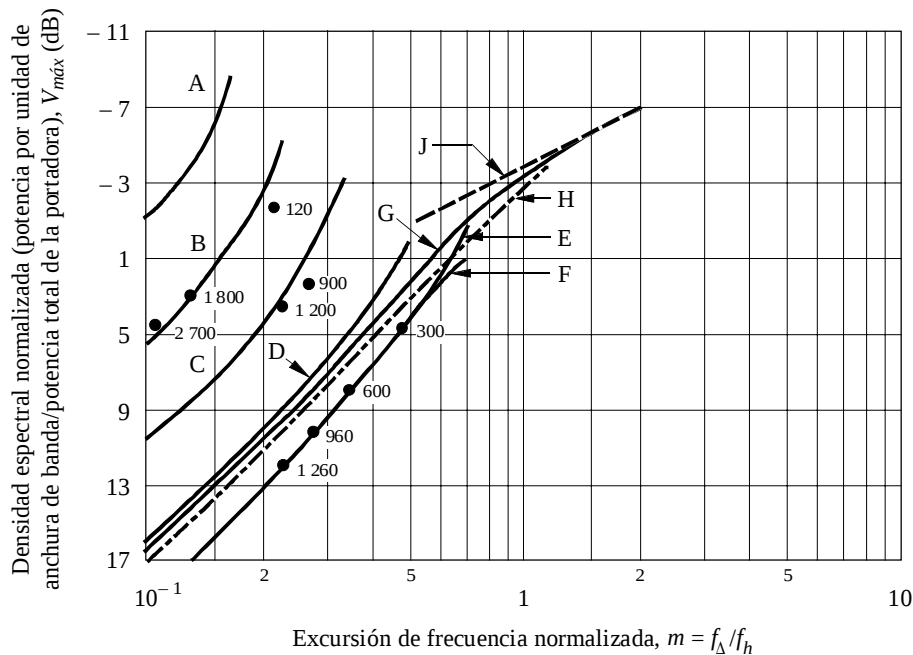
$$\psi_0 \approx \frac{m^2}{\varepsilon} (0,4 + 1,6 \varepsilon + 0,25 \varepsilon^2 + 0,25 \varepsilon^3) \quad (5)$$

donde $m = f_{\Delta}/f_h$.

Nota 1 – Las administraciones deben facilitar detalles de la forma del espectro y el valor de los coeficientes utilizados en las ecuaciones (2) y (3) a fin de poder efectuar una coordinación detallada.

La densidad espectral de potencia máxima en la parte continua del espectro puede obtenerse aproximadamente a partir de las figs. 1 y 2.

FIGURA 1
Densidad espectral máxima de una señal (componentes espectrales distribuidas) modulada en frecuencia por ruido gaussiano
(Preacentuación de la Recomendación UIT-R F.275)



Curvas A: $\psi_0 = 0,1$

B: $\psi_0 = 0,2$

C: $\psi_0 = 0,4$

D: $\psi_0 = 1,0$

E: $\psi_0 = 2,0$

F: $\psi_0 = 4,0$

G: $\psi_0 = \infty$

H: Aproximación para pequeña excursión

J: Aproximación para excursión grande

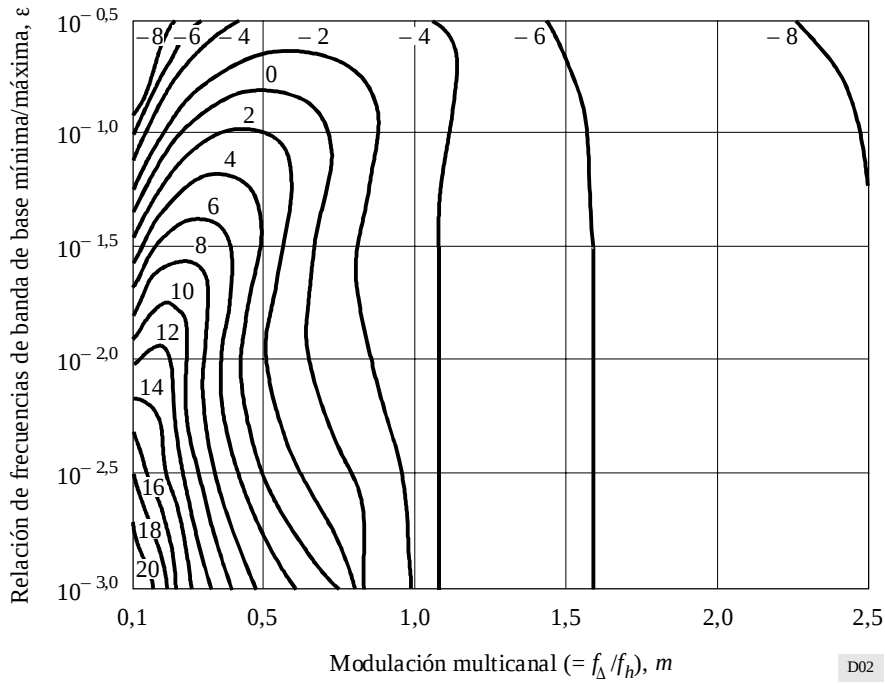
- Los valores para los sistemas de relevadores radioeléctricos normalizados (tal como se indican) corresponden a los siguientes límites de banda de base:

120 canales 60-552 kHz

960 canales 60-4 028 kHz

1 260 canales 60-5 636 kHz

FIGURA 2
Curvas de señal MDF-MF para una misma
densidad espectral máxima ($V_{m\acute{a}x}$)
(Preacentuación de la Recomendación UIT-R F.275)



En la ecuación y en las figuras, los símbolos tienen los significados siguientes:

P_t : potencia total de la portadora (W)

f_Δ : valor cuadrático medio de la excursión multicanal (Hz)

$$f_\Delta \begin{cases} f_d \times 10^{(-15+10 \log N_c)/20} & \text{para } N_c \geq 240 \\ f_d \times 10^{(-1+4 \log N_c)/20} & \text{para } 240 > N_c \geq 60 \\ f_d \times 10^{(2,6+2 \log N_c)/20} & \text{para } 60 > N_c \geq 12 \end{cases}$$

$$\text{ó} \begin{cases} f_d \times 10^{(-15+10 \log N_c)/20} & \text{para } N_c \geq 240 \\ f_d \times 10^{(-1+4 \log N_c)/20} & \text{para } 12 \leq N_c < 240 \end{cases}$$

f_d : valor cuadrático medio de la excursión producida por el tono de prueba (Hz)

N_c : número de canales

f_h : frecuencia superior de la banda de base (Hz)

f_1 : frecuencia inferior de la banda de base (Hz)

m : índice de modulación multicanal ($= f_\Delta / f_h$)

$\epsilon = f_1 / f_h$

$V_{m\acute{a}x} = W_{m\acute{a}x} f_h / P_t$

$W_{m\acute{a}x}$: potencia espectral máxima por unidad de anchura de banda (W/Hz).

En el caso de las portadoras en que $1 < N \leq 12$, la densidad de potencia máxima por 4 kHz viene dada de forma aproximada por la expresión siguiente:

$$P_t \cos^2 \frac{m_b}{1,5} \quad \text{W/4 kHz} \quad \text{para } m_b < 1 \quad (6)$$

donde:

P_t : potencia total de portadora (W)

m_b : índice de modulación de cresta (rad) debido a un tono de prueba de 0 dBm en el canal de banda frecuencia más elevada.

1.2 Portadora MF modulada por una señal de telefonía multicanal y una señal de dispersión de energía de forma de onda triangular con amplitud fija

Los sistemas de dispersión de onda triangular están concebidos usualmente para lograr que la máxima densidad espectral de potencia por 4 kHz centrada en la frecuencia portadora se mantenga dentro de un margen de 3 dB con respecto al valor a plena carga.

La densidad espectral de potencia con centro en la frecuencia portadora viene dada por la expresión siguiente:

$$\frac{P_t}{\Delta F} \times 4000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (7)$$

donde:

P_t : potencia total de la portadora (W)

ΔF : valor cresta a cresta de la excursión de frecuencia debida a la señal de dispersión de energía (Hz).

Nota 1 – La ecuación (7) supone la utilización de una forma de onda de dispersión triangular perfectamente lineal.

1.3 Portadora MF modulada por una señal vídeo de televisión

- En el caso en que la señal de dispersión de energía de forma de onda triangular se superponga a la señal vídeo, la densidad de potencia máxima por 4 kHz, en el caso más desfavorable, viene dada por la expresión:

$$\frac{P_t}{\Delta F} \times 4000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (8)$$

donde:

P_t : potencia total de la portadora (W)

ΔF : valor cresta a cresta de la excursión de frecuencia debida a la señal de dispersión de energía (Hz).

Nota 1 – La ecuación (8) supone la utilización de una forma de onda de dispersión triangular que sea perfectamente lineal. Como resultado de este supuesto, los errores son despreciables en el caso de las actuales transmisiones de televisión MF.

- En el caso en que no haya modulación (ni por la señal de vídeo, ni por la señal de dispersión de energía), la densidad de potencia máxima por 4 kHz, en el caso más desfavorable, viene dada por:

$$P_t \quad \text{W/4 kHz}$$

2. Portadora modulada (PM) en fase por una señal de telefonía multicanal

Cuando la frecuencia superior de la banda de base de una señal de telefonía multicanal es mucho más grande que la frecuencia inferior de dicha banda de base, la densidad de potencia máxima de una PM en fase por esta señal se encuentra en la frecuencia central de la portadora; en este caso, la densidad de potencia máxima viene dada por las siguientes expresiones:

$$- \text{ para } \beta \sigma_a \geq 2: \quad \frac{P_t}{(\beta \sigma_a) f_h} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \times 4000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (9)$$

– para $\beta\sigma_a < 2$, la máxima densidad de potencia para 4 kHz es la suma de los dos términos siguientes:

$$\text{espectro continuo: } P_t \times S(0) \times 4000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (10)$$

$S(0)$ puede obtenerse a partir de la fig. 3, que da $S(0) \times f_h$, relación entre la potencia total de la portadora y la densidad de potencia en una anchura de banda de f_h (Hz).

$$\text{portadora residual: } P_t \exp \{-(\beta\sigma_a)^2\} \quad \text{W} \quad (11)$$

donde:

P_t : potencia total de la portadora (W)

$\beta\sigma_a$: excursión de fase multicanal (rad)

β : raíz cuadrada del valor cuadrático medio de la excursión de fase producida por el tono de prueba (rad)

σ_a : factor de carga de la señal de telefonía multicanal

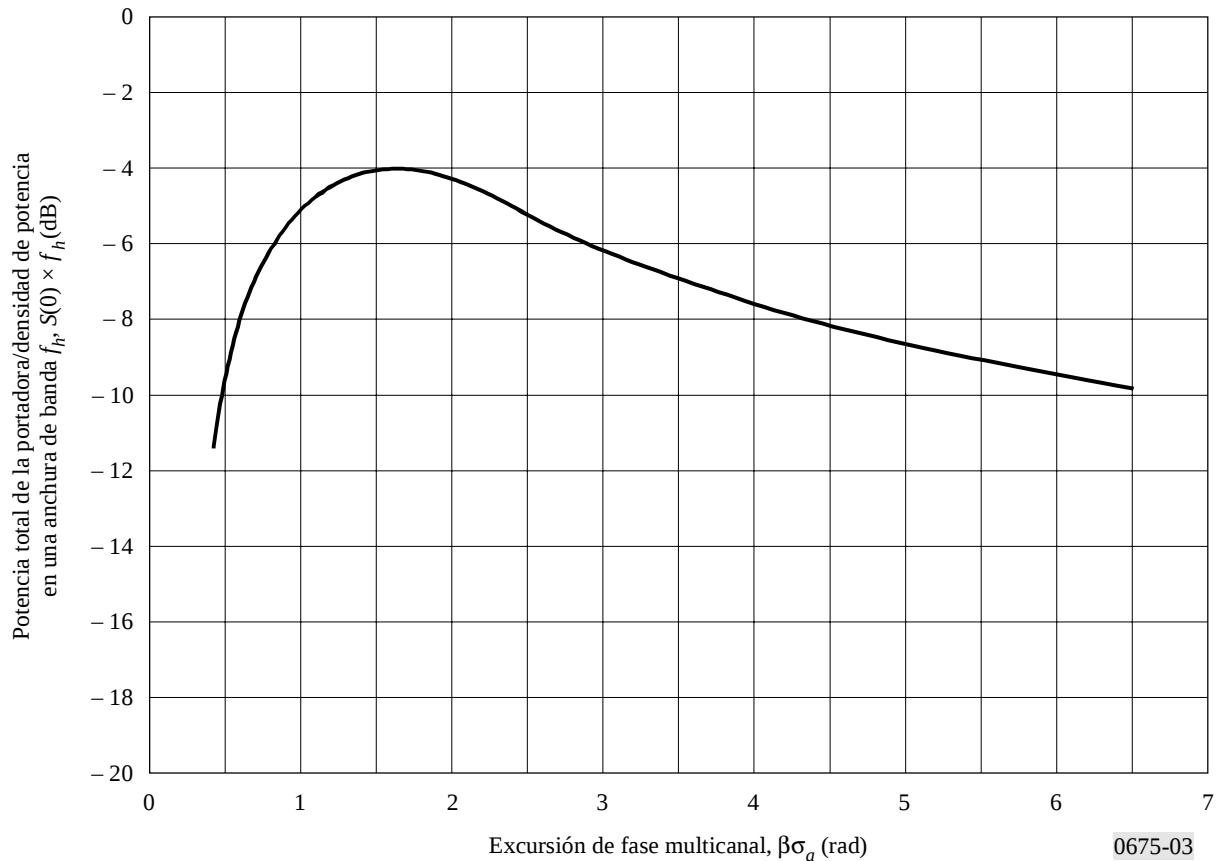
$$\sigma_a = \begin{cases} 10^{(-15+10 \log N)/20} & \text{para } N \geq 240 \\ 10^{(-1+4 \log N)/20} & \text{para } N < 240 \end{cases}$$

N : número de canales

f_h : frecuencia superior de la banda de base (Hz).

FIGURA 3

Densidad de potencia en la frecuencia central del espectro de potencia continuo de una portadora con modulación de fase en una anchura de banda de f_h



3. Portadora con modulación por desplazamiento de fase (MDP)

La densidad de potencia máxima por 4 kHz, de una portadora MDP modulada por una señal de dispersión de energía de una secuencia de pseudoruido (PN) viene dada por (véase la nota 1):

$$P_t \times (4\,000 / B) \quad W/4 \text{ kHz} \quad (12)$$

cuando el ciclo de repetición de la secuencia PN tiene una duración mayor de 250 µs; y por:

$$P_t \cdot \frac{L + 1}{L^2} \left\{ \left(\frac{4\,000}{1/Lt} \right) + 1 \right\} \quad W/4 \text{ kHz} \quad (13)$$

cuando el ciclo de repetición de la secuencia PN es igual o inferior a 250 µs,

donde:

P_t : potencia total de la portadora (W)

B : velocidad de transmisión de los símbolos (símbolo/s)

L : longitud de la secuencia PN (símbolos)

t : duración del símbolo(s)

$$\left(\frac{4\,000}{1/Lt} \right) = \text{parte entera de } \frac{4\,000}{1/Lt}$$

Las expresiones consignadas más arriba se aplican al caso de modulación de una portadora MDP por una señal de PN y serían aplicables a aquellos casos en que una secuencia aleatorizadora de pseudoruido se superponga constantemente a la señal de mensajes MDP. Podrían producirse grandes errores si se aplicasen esas expresiones a sistemas, como por ejemplo el de acceso múltiple por distribución en el tiempo (AMDT), en los que las porciones preámbulo de la señal, bit/s de paridad añadidos, y otros similares, no estuviesen aleatorizados. Además, en los sistemas multifase la uniformidad espectral prevista por la dispersión de energía PN puede destruirse mediante el funcionamiento común de la codificación diferencial.

Debe advertirse que el procedimiento precedente no brinda ninguna orientación en cuanto a los supuestos que deben establecerse para el caso de los sistemas MDP sin dispersión de energía, en condiciones en que las secuencias de bits pueden repetirse de tal modo que la potencia se concentraría en un número relativamente reducido de rayas espectrales.

Para el resto de los sistemas de relevadores radioeléctricos de la fig. 1, la máxima densidad espectral de potencia es válida para cualquier límite de banda de base especificado en la Recomendación UIT-R F.380 dado que sus valores de β son relativamente constantes y corresponden a los utilizados en la fig. 1.

Nota 1 – Para calcular la densidad de potencia máxima por 40 kHz de una portadora MDP modulada por una señal digital con dispersión de energía, se pueden emplear las ecuaciones (12) y (13) sustituyendo simplemente el número 4 000 por el número 40 000. Estas ecuaciones serían aplicables después respectivamente, a una PN mayor que 25 µs y a una secuencia PN igual o menor que 25 µs. Si la velocidad de transmisión de símbolos, B , es menor que 40 000, la densidad de potencia máxima por 40 kHz es la potencia total de la portadora MDP.