

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R SF.675-4
(01/2012)

**Cálculo de la densidad de potencia
máxima (valor medio en una banda
de 4 kHz o 1MHz) de portadoras
con modulación angular y digitales**

Serie SF

**Compartición de frecuencias y coordinación
entre los sistemas del servicio fijo
por satélite y del servicio fijo**



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	Radio astronomía
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, 2012

© UIT 2012

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 SF.675-4

**Cálculo de la densidad de potencia máxima
(valor medio en una banda de 4 kHz o 1 MHz)
de portadoras con modulación angular y digitales**

(1990-1992-1993-1994-2012)

Cometido

En esta Recomendación se presenta una metodología para calcular la densidad de potencia máxima de varios tipos de portadoras con valor medio en una banda de 4 kHz o 1 MHz.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que a las administraciones se les solicita que preparen la información indicada en los Apéndices 3 y 4 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) a efectos de coordinación y notificación;
- b) que uno de los elementos de información indicados en los Apéndices 3 y 4 del RR es la densidad de potencia máxima por Hz a la entrada de la antena;
- c) que el Apéndice 4 del RR estipula que la densidad de potencia máxima por Hz de una portadora se promedia en la banda de 4 kHz más desfavorable para frecuencias por debajo de 15 GHz y se promedia en la banda de 1 MHz más desfavorable para frecuencias por encima de 15 GHz;
- d) que es preciso disponer de métodos generalizados para el cálculo de la densidad de potencia máxima de una portadora con modulación angular;
- e) que las portadoras de seguimiento, telemetría y telemando (TTC) suelen tener características de modulación y, por tanto, características de densidad espectral diferentes de las de otros tipos de portadoras,

recomienda

- 1** que se utilice el método descrito en el Anexo 1 para calcular la densidad de potencia máxima, promediada en una banda de 4 kHz, de las portadoras con modulación angular, digitales o de seguimiento, telemetría y telemando (TTC);
- 2** que se utilicen los métodos descritos en el Anexo 2 para calcular la densidad de potencia máxima, promediada en 1 MHz, de las portadoras digitales o TTC;
- 3** que para la determinación de la densidad espectral de potencia máxima, las administraciones sigan, con el acuerdo de las demás administraciones interesadas, los objetivos de la Resolución 703 (Rev.CMR-07).

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 RR, puede obtenerse dividiendo este valor por 4 000.

1 Portadora 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:

$$P_t \cdot e^{-\psi_0} \quad W \quad (1)$$

donde:

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

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:

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

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 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:

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

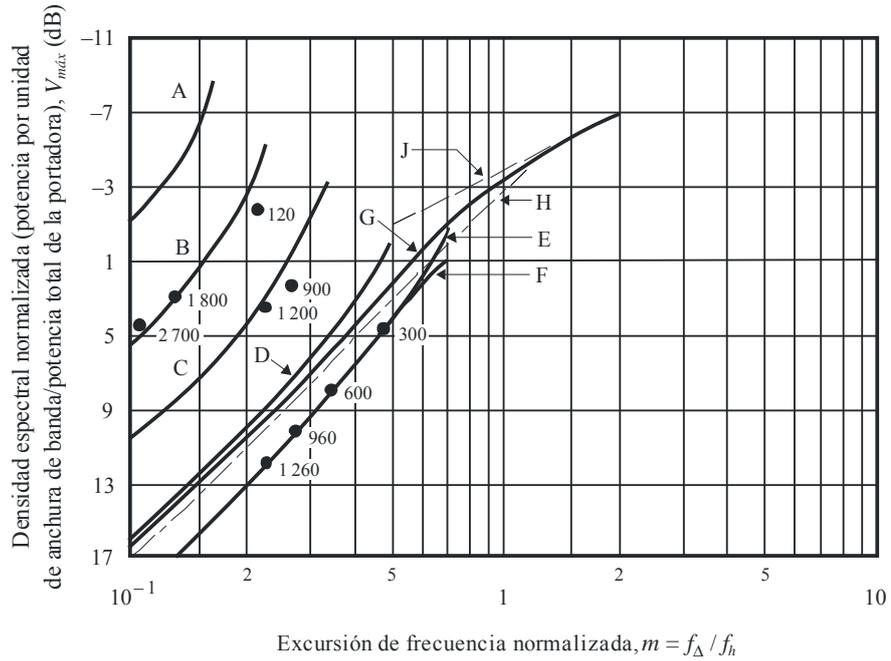
donde $m = f_\Delta/f_h$.

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

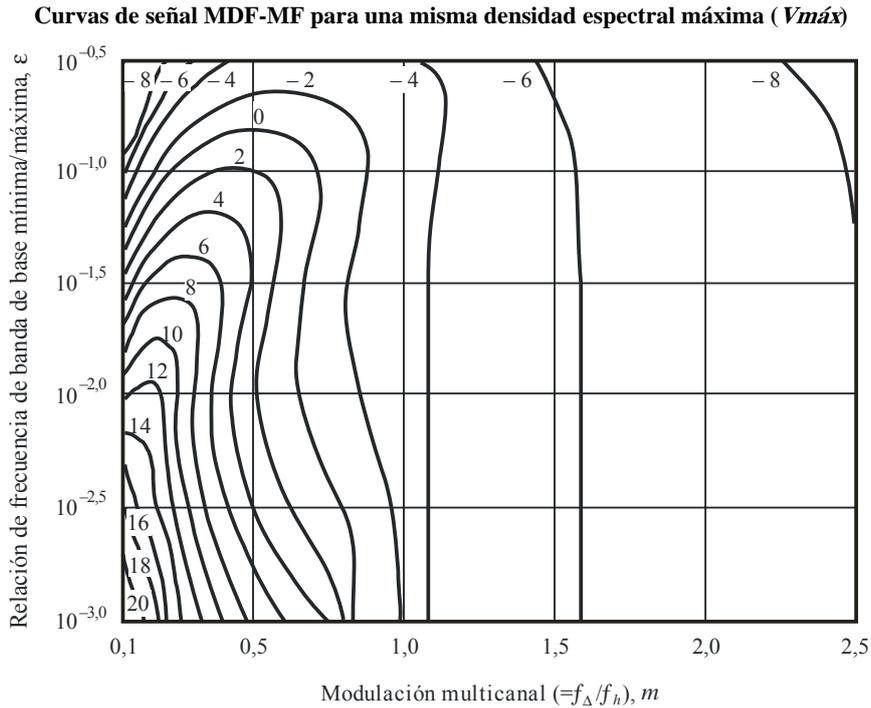


- Curvas A: $\psi_0 = 0,1$
- B: $\psi_0 = 0,2$
- C: $\psi_0 = 0,4$
- D: $\psi_0 = 1,0$
- E: $\psi_0 = 2,0$
- F: $\psi_0 = 4,0$
- G: $\psi_0 = \infty$

- 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
 - 1260 canales 60-5 636 kHz

FIGURA 2



SF.0675-02

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)

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

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

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

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

$$\epsilon = f_l/f_h$$

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

$W_{m\acute{a}x}$: 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:

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

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:

$$\frac{P_t}{\Delta F} \times 4\,000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (7)$$

donde:

- P_t : potencia total de la portadora (W)
 ΔF : 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:

$$\frac{P_t}{\Delta F} \times 4\,000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (8)$$

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:

$$- \text{ para } \beta\sigma_a \geq 2: \quad \frac{P_t}{(\beta\sigma_a)f_h} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \times 4\,000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (9)$$

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

$$- \text{ espectro continuo: } P_t \times S(0) \times 4\,000 \quad \text{W/4 kHz} \quad (10)$$

$S(0)$ 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

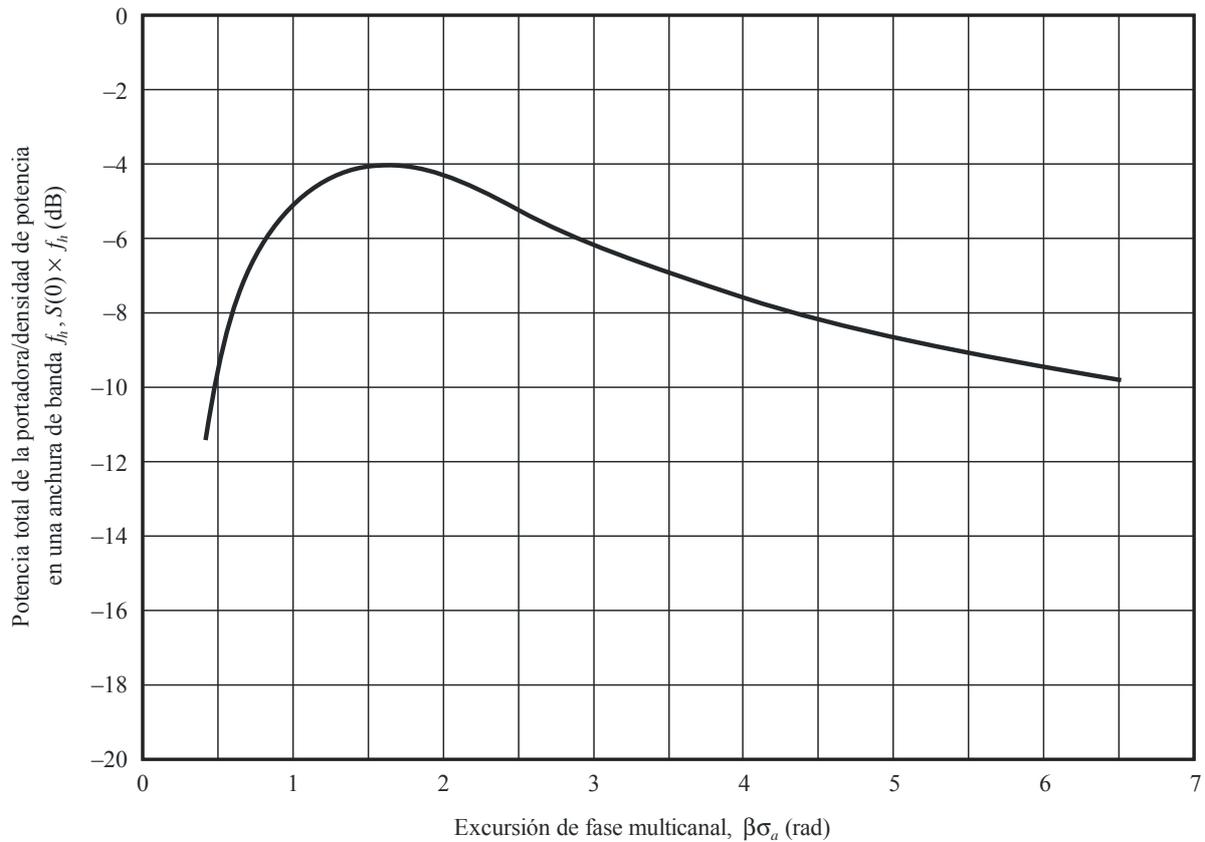
$$\sigma_a = \begin{cases} 10^{(-15+10 \log N)/20} & \text{para } N \geq 240 \\ 10^{(-1+4 \log N)/20} & \text{para } N < 240 \end{cases}$$

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_b



SF.0675-03

3 Portadora digital con anchura de banda necesaria superior a 4 kHz

La densidad de potencia máxima por Hz de una portadora digital viene dada por:

$$P_o = P_t/B \tag{12}$$

donde:

P_t : potencia total de la portadora (W)

B : anchura de banda necesaria de la emisión digital (Hz).

La densidad de potencia máxima por 4 kHz en el caso más desfavorable se obtiene multiplicando el resultado de la ecuación (12) por 4×10^3 del siguiente modo:

$$P_{4\text{ kHz}} = P_o * 4 \times 10^3 \text{ (W/4 kHz)} \tag{13}$$

4 Portadora digital con anchura de banda necesaria inferior a 4 kHz

En los casos de portadoras múltiples idénticas con una anchura de banda inferior a 4 kHz, cuando se sabe que la banda de 4kHz no se ocupará completamente con dichas portadoras, deberá aplicarse la siguiente ecuación:

$$P_{4\text{ kHz}} = (P_t * N) \text{ (W/4 kHz)} \tag{14}$$

donde:

P_t : potencia total de una sola portadora (W)

N : número máximo de portadoras, o segmentos de portadoras, con una anchura de banda inferior a 4 kHz para ocupar una banda de 4 kHz dada.

La ecuación (14) puede generalizarse cuando se sabe que diferentes tipos múltiples de portadoras con anchuras de banda inferiores a 4 kHz ocupan una banda de 4 kHz dada sumando la potencia de los diferentes tipos de portadoras individuales que ocupan la banda de 4 kHz y suponiendo que la potencia total es la potencia por 4 kHz.

5 Portadora TTC

Cuando se trate de portadoras TTC de banda estrecha, de conformidad con el número **1.23** del RR, en las bandas de frecuencia inferiores a 15 GHz, debe prestarse debida atención a la asignación de potencia máxima por 4 kHz para dichas portadoras, habida cuenta de que estas pueden tener múltiples componentes distintos y componentes espectrales significativos. Por lo tanto, es importante tener en cuenta la forma real del espectro de dichas portadoras TTC al seleccionar la anchura de banda de 4 kHz más desfavorable para poder evaluar la densidad de potencia máxima.

Anexo 2

Cálculo de la densidad de potencia máxima (valor medio en una banda de 1 MHz) de una portadora digital o TTC

Más adelante se da el método de cálculo del nivel de potencia en la banda de 1 MHz más desfavorable (W/MHz).

1 Portadora digital con anchura de banda necesaria superior a 1 MHz

La densidad de potencia máxima por Hz de una portadora digital viene dada por:

$$P_o = P_t / B \quad (\text{W/Hz}) \quad (15)$$

donde:

P_t : potencia total de la portadora (W)

B : anchura de banda necesaria de la emisión digital (Hz).

La densidad de potencia máxima por MHz en el caso más desfavorable se obtiene multiplicando el resultado de la ecuación (15) por 1×10^6 del siguiente modo:

$$P_{1 \text{ MHz}} = P_o * 1 \times 10^6 \quad (\text{W/MHz}) \quad (16)$$

2 Portadora digital con anchura de banda necesaria inferior a 1 MHz

Obsérvese que, para portadoras digitales con una anchura de banda necesaria inferior a 1 MHz, debe determinarse el número máximo de portadoras, y segmentos de portadoras, que operarán en una banda de 1 MHz dada. Cuando se desconoce el número máximo de portadoras, deberá suponerse que la anchura de banda de 1 MHz de referencia se ocupará con portadoras múltiples idénticas. Partiendo de esta suposición, las ecuaciones (15) y (16) proporcionan el valor estimado de la densidad de potencia máxima por MHz en el caso más desfavorable. En los casos de portadoras con anchura de banda necesaria inferior a 1 MHz en los que se sepa que la banda de 1 MHz no se ocupará totalmente con portadoras múltiples idénticas, deberá aplicarse la ecuación siguiente para calcular la densidad de potencia máxima por 1 MHz:

$$P_{1 \text{ MHz}} = (P_t * N) \text{ (W/MHz)} \quad (17)$$

donde:

P_t : potencia total de una sola portadora (W)

N : número máximo de portadoras, incluidos los segmentos de portadoras, con anchura de banda necesaria inferior a 1 MHz y que ocupen una banda de 1 MHz dada.

La ecuación (17) puede generalizarse cuando se sabe que diferentes tipos múltiples de portadoras con anchuras de banda necesarias inferiores a 1 MHz ocupan una banda de 1 MHz dada sumando la potencia de los diferentes tipos de portadoras individuales que ocupan la banda de 1 MHz y suponiendo que la potencia total es la potencia por 1 MHz.

3 Portadora TTC

Cuando, de conformidad con el el número **1.23** del RR, están implicadas portadoras TTC de banda estrecha, el cálculo de la densidad de potencia máxima por MHz puede llevar a una sobreestimación de la potencia de interferencia potencial. Esto se debe a que, con el mero ajuste de la potencia de una única portadora TTC hasta 1 MHz mediante la aplicación de la relación de las anchuras de banda, se obtendría un nivel de potencia superior a la propia portadora TTC si se utiliza una sola portadora con una anchura de banda necesaria inferior a 1 MHz en una asignación de frecuencia dada. En estos casos, el potencial de interferencia provocado por una portadora TTC se evalúa con mayor precisión si se parte de la base de que, en la mayoría de los casos, se transmitirá una única portadora TTC en una banda de 1 MHz dada.

Por lo tanto, la densidad de potencia máxima por 1 MHz para una portadora TTC con anchura de banda necesaria inferior a 1 MHz viene dada por:

$$P_t \text{ (W/MHz)} \quad (18)$$

donde:

P_t : potencia total de la portadora TTC (W).

En el caso de portadoras TTC con anchura de banda necesaria superior a 1 MHz e inferior a 1,5 MHz, la densidad de potencia máxima por 1 MHz viene dada por:

$$P_t \times (1 \times 10^6/B) \text{ (W/MHz)} \quad (19)$$

donde:

P_t : potencia total de la portadora TTC (W)

B : anchura de banda necesaria de la emisión de TTC superior a 1 MHz (Hz).