

## RECOMENDACIÓN UIT-R SM.328-9

**ESPECTROS Y ANCHURAS DE BANDA DE LAS EMISIONES**

(Cuestiones UIT-R 76/1)

(1948-1951-1953-1956-1959-1963-1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990-1994-1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que para hacer un uso eficaz del espectro radioeléctrico es esencial establecer para cada clase de emisión, las normas que controlen el espectro emitido por una estación transmisora;
- b) que, para determinar un espectro emitido de anchura óptima debe tenerse en cuenta el conjunto del canal de transmisión, así como todas sus condiciones técnicas de funcionamiento, incluidos los demás canales y servicios radioeléctricos que comparten la banda, y, en especial, los fenómenos de propagación;
- c) que los conceptos de «anchura de banda necesaria» y de «anchura de banda ocupada» definidos en los números 146 (S1.152) y 147 (S1.153) del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR), son útiles para especificar las propiedades espectrales de una determinada emisión, o clase de emisión, de la forma más sencilla posible;
- d) que estas definiciones no bastan, sin embargo, para tratar el conjunto del problema de la economía y eficacia del espectro radioeléctrico, y que para reducir las interferencias causadas en los canales adyacentes, se debe estar en condiciones de fijar reglas que limiten, por una parte, la anchura de banda ocupada por una emisión al valor más eficaz en cada caso y, por otra, las amplitudes de las componentes emitidas en las partes exteriores del espectro;
- e) que, con miras a la utilización eficaz del espectro de frecuencias radioeléctricas, es necesario conocer las anchuras de banda necesarias para las distintas clases de emisiones; que, en algunos casos, las fórmulas incluidas en la Recomendación UIT-R SM.1138 sólo pueden utilizarse con carácter orientativo; y que la anchura de banda necesaria para determinadas clases de emisiones debe ser evaluada con respecto a una norma de transmisión y a un requisito de calidad especificados;
- f) que la anchura de banda ocupada y la anchura de banda entre puntos a  $x$  dB permite a las empresas de explotación y a las organizaciones nacionales e internacionales realizar mediciones de la anchura de banda realmente ocupada por una determinada emisión y, por tanto, cerciorarse, por comparación con la anchura de banda necesaria, de que dicha emisión no ocupa una anchura de banda excesiva para el servicio que ha de proporcionarse y, por consiguiente, que no creará probablemente interferencia más allá de los límites estipulados para esta clase de emisión;
- g) que, además de limitar la anchura de banda ocupada por una emisión al valor más eficaz en cada caso, se deberían establecer reglas para limitar la amplitud de las componentes emitidas fuera de banda, conciliando las siguientes exigencias:
- la necesidad de limitar al mínimo estricto la interferencia causada a los canales adyacentes;
  - las posibilidades técnicas y prácticas del diseño del transmisor y del receptor, y la técnica de modulación;
  - la limitación de las deformaciones o las distorsiones de la señal a un valor admisible;
- h) que, si bien algunos problemas de separación entre canales o de interferencia, pueden tratarse de una forma aproximada pero sencilla, simplemente utilizando los datos de anchura de banda necesaria (para una determinada clase de emisión), la anchura de banda ocupada o la anchura de banda entre puntos a  $x$  dB (para una determinada emisión), y el espectro emitido fuera de la anchura de banda necesaria, los problemas de interferencia sólo pueden tratarse con precisión si se conoce en detalle la transformada de Fourier de la señal o función que representa su espectro de energía para todas las frecuencias del espectro radioeléctrico;
- j) que, en varios casos, la utilización de sistemas con anchuras de banda necesarias muy superiores a la anchura de la banda de base, aumenta potencialmente el número de usuarios simultáneos que pueden compartir una banda del espectro (por ejemplo, sistemas MF que emplean un elevado índice de modulación, técnicas de expansión de la anchura de banda), ya que puede reducirse suficientemente la susceptibilidad de los receptores a la interferencia para compensar con creces la reducción del número de canales disponibles, incrementándose así la eficacia de la utilización del espectro radioeléctrico,

*recomienda*

## **1 Definiciones**

Que al tratar las cuestiones de anchura de banda, separación entre canales e interferencias se haga uso de las siguientes definiciones y notas explicativas:

### **1.1 Banda base**

Banda de frecuencias ocupada por una señal, o por varias señales multiplexadas, que ha de encaminarse por una línea o por un sistema de transmisión radioeléctrica.

NOTA 1 – En el caso de las radiocomunicaciones, la señal de banda base es la señal que modula el transmisor.

### **1.2 Anchura de la banda base**

Anchura de la banda de frecuencias ocupada por una señal, o por varias señales multiplexadas, que ha de encaminarse por una línea o por un sistema de transmisión radioeléctrica.

### **1.3 Anchura de banda necesaria**

Para una clase de emisión dada, anchura de la banda de frecuencias estrictamente suficiente para asegurar la transmisión de la información a la velocidad de transmisión y con la calidad requeridas en condiciones especificadas (número 146 (S1.152) del RR).

### **1.4 Relación de expansión de la anchura de banda**

Relación entre la anchura de banda necesaria y la anchura de banda de la banda base.

### **1.5 Espectro fuera de banda (de una emisión)**

Parte del espectro de densidad de potencia (o del espectro de potencia cuando el espectro consiste en componentes discretas) de una emisión que está fuera de la anchura de banda necesaria y que resulta del proceso de modulación, con exclusión de las emisiones no esenciales.

### **1.6 Emisión fuera de banda**

Emisión en una o varias frecuencias inmediatamente fuera de la anchura de banda necesaria, resultante del proceso de modulación, excluyendo las emisiones no esenciales (número 138 (S1.144) del RR).

NOTA 1 – La no linealidad en los transmisores con modulación de amplitud (incluidos los transmisores de banda lateral única) puede dar como resultado emisiones fuera de banda inmediatamente adyacentes a la anchura de banda necesaria, debido a los productos de intermodulación de orden impar. Los niveles admisibles de distorsión de intermodulación se especifican en la Recomendación UIT-R SM.326.

### **1.7 Emisión no esencial**

Emisión en una o varias frecuencias situadas fuera de la anchura de banda necesaria, cuyo nivel puede reducirse sin influir en la transmisión de la información correspondiente. Las emisiones armónicas, las emisiones parásitas, los productos de intermodulación y los productos de la conversión de frecuencia están comprendidos en las emisiones no esenciales, pero están excluidas las emisiones fuera de banda (número 139 (S1.145) del RR).

### **1.8 Emisiones no deseadas**

Conjunto de las emisiones no esenciales y de las emisiones fuera de banda (número 140 (S1.146) del RR).

**1.9** Los términos asociados con las definiciones dadas en los § 1.6, 1.7 y 1.8, se expresan en los idiomas de trabajo como se indica en el Cuadro 1.

CUADRO 1

En español	En francés	En inglés
Emisión fuera de banda	Emission hors bande	Out-of-band emission
Emisión no esencial	Rayonnement non essentiel	Spurious emission
Emisiones no deseadas	Rayonnements non désirés	Unwanted emissions

### 1.10 Espectro fuera de banda admisible (de una emisión)

Para una clase de emisión dada, nivel admisible de densidad de potencia (o potencia de las componentes discretas) en frecuencias situadas por encima y por debajo de los límites de la banda necesaria.

NOTA 1 – La densidad de potencia admisible (o la potencia) puede especificarse en forma de una curva límite representativa de la densidad de potencia (o la potencia), expresada en decibelios con relación al nivel de referencia especificado para frecuencias fuera de la banda necesaria. Las abscisas de los puntos iniciales de la curva de limitación deberán coincidir con las frecuencias límite de la banda necesaria. En el § 3 figuran descripciones de curvas límite para diversas clases de emisiones.

### 1.11 Potencia fuera de banda (de una emisión)

Potencia total emitida en el conjunto de las frecuencias del espectro fuera de banda.

### 1.12 Potencia fuera de banda admisible

Para una clase de emisión dada, el valor admisible de la potencia media emitida en frecuencias por encima y por debajo de los límites de la banda necesaria.

NOTA 1 – La potencia fuera de banda admisible debe determinarse para cada clase de emisión, y especificarse en forma de porcentaje,  $\beta$ , de la potencia media total radiada, reducida de la curva límite fijada individualmente para cada clase de emisión.

### 1.13 Anchura de banda ocupada

Anchura de la banda de frecuencias tal que, por debajo de su frecuencia límite inferior y por encima de su frecuencia límite superior, se emitan potencias medias iguales cada una a un porcentaje especificado,  $\beta/2$ , de la potencia media total de una emisión dada.

En ausencia de especificaciones de la Asamblea de Radiocomunicaciones para la clase de emisión considerada, se tomará un valor de  $\beta/2$  igual a 0,5% (número 147 (S1.153) del RR).

NOTA 1 – El valor de  $\beta$  puede determinarse calculando la suma de los porcentajes de la potencia media total por encima y por debajo de la anchura de banda necesaria. La anchura de banda ocupada es óptima cuando es igual a la anchura de banda necesaria.

### 1.14 Anchura de banda entre puntos a $x$ dB

Anchura de una banda de frecuencias fuera de cuyos límites inferior y superior, las componentes del espectro discreto o la densidad de potencia del espectro continuo son inferiores en por lo menos  $x$  dB con relación a un nivel predeterminado de referencia de 0 dB.

### 1.15 Banda de frecuencias asignada

Banda de frecuencias en el interior de la cual se autoriza la emisión de una estación determinada; la anchura de esta banda es igual a la anchura de banda necesaria más el doble del valor absoluto de la tolerancia de frecuencia. Cuando se trata de estaciones espaciales, la banda de frecuencias asignada incluye el doble del desplazamiento máximo debido al efecto Doppler que puede ocurrir con relación a un punto cualquiera de la superficie de la Tierra (número 141 (S1.147) del RR).

### 1.16 Frecuencia asignada

Centro de la banda de frecuencias asignada a una estación (número 142 (S1.148) del RR).

### 1.17 Frecuencia característica

Frecuencia que puede identificarse y medirse fácilmente en una emisión determinada.

La frecuencia portadora puede designarse, por ejemplo, como la frecuencia característica (número 143 (S1.149) del RR).

### 1.18 Frecuencia de referencia

Frecuencia que ocupa una posición fija y bien determinada con relación a la frecuencia asignada. La desviación de esta frecuencia con relación a la frecuencia asignada es, en magnitud y signo, la misma que la de la frecuencia característica con relación al centro de la banda de frecuencias ocupada por la emisión (número 144 (S1.150) del RR).

### 1.19 Tolerancia de frecuencia

Desviación máxima admisible entre la frecuencia asignada y la situada en el centro de la banda de frecuencias ocupada por una emisión, o entre la frecuencia de referencia y la frecuencia característica de una emisión.

La tolerancia de frecuencia se expresa en millonésimas o en hertzios (número 145 (S1.151) del RR).

### 1.20 Tiempo de establecimiento de una señal telegráfica

Tiempo durante el cual la corriente telegráfica pasa de una décima a nueve décimas (o viceversa) del valor que alcanza en pleno régimen; cuando se trate de señales asimétricas, los tiempos de establecimiento al principio y al final de la señal pueden estar representados por dos valores distintos.

### 1.21 Tiempo relativo de establecimiento de una señal telegráfica

Relación entre el tiempo de establecimiento de una señal telegráfica definida en el § 1.20 y la duración del impulso a amplitud mitad.

## 2 Emisión óptima de un transmisor desde el punto de vista de la economía del espectro

Que debería ser considerada como tal una emisión cuya anchura de banda ocupada es igual a la anchura de banda necesaria para esa clase de emisión, y cuya envolvente del espectro fuera de banda se inscribe dentro de la curva de limitación adecuada, la cual se da en el § 3 para diversas clases de emisión.

Para facilitar la comprobación, podrá considerarse óptima desde el punto de vista de la economía del espectro toda emisión cuya anchura de banda entre puntos a  $x$  dB guarde una relación fija con la anchura de banda necesaria para esa clase de emisión, estando determinada dicha relación por el nivel  $x$  dB y por los parámetros de la curva de limitación del espectro fuera de banda (véanse los ejemplos del Anexo 1).

En un caso de compartición, una anchura de banda que es óptima desde el punto de vista de la economía del espectro puede no serlo desde el punto de vista de la eficacia del espectro.

## 3 Limitación de los espectros emitidos

Que, las administraciones se esfuercen por limitar, a la mayor brevedad posible y en la forma que a continuación se indica, los espectros emitidos en las distintas clases de emisión.

NOTA 1 – La velocidad de modulación,  $B$  (Bd) que figura en los párrafos sucesivos referentes a emisiones telegráficas, es la velocidad máxima empleada por el transmisor correspondiente. Cuando el transmisor trabaja a velocidad inferior a este máximo hay que aumentar el tiempo de establecimiento, a fin de mantener al mínimo la anchura de banda ocupada, conforme a lo dispuesto en el número 307 (S3.9) del RR.

### 3.1 Emisiones de clase A1A y A1B con fluctuaciones

Las especificaciones que se indican a continuación para las emisiones de telegrafía símplex con modulación de amplitud en onda continua (clases A1A y A1B), en presencia de importantes variaciones de corto periodo de la intensidad de campo recibida, representan las características deseables que pueden obtenerse con transmisores provistos de filtros de entrada convenientes y con amplificadores suficientemente lineales después de la etapa de manipulación.

#### 3.1.1 Anchura de banda necesaria

La anchura de banda necesaria es igual a cinco veces la velocidad de modulación en baudios. Las componentes en los límites de la banda estarán, por lo menos, a 3 dB por debajo del nivel de las mismas componentes del espectro representativo de una serie de puntos rectangulares y de espacios iguales, transmitidos a la misma velocidad.

Este nivel relativo de -3 dB corresponde a un nivel absoluto de 27 dB por debajo de la potencia media en emisión continua (véase el Cuadro 1 de la Recomendación UIT-R SM.326).

#### 3.1.2 Forma de la envolvente del espectro

En la Fig. 3 se ilustra la amplitud de la envolvente del espectro con relación a la amplitud de la emisión continua expresada como función del orden de las componentes de banda lateral, suponiendo que la envolvente de la señal de radiofrecuencia (RF) es una onda cuadrada. En esta Figura, el orden  $n$  de la componente de banda lateral está dado por:

$$n = \frac{2f}{B} \quad (1)$$

donde:

$f$ : separación de frecuencia desde el centro del espectro (Hz)

$B$ : velocidad de modulación (Bd).

#### 3.1.3 Anchura de banda ocupada

La anchura de banda ocupada,  $L$  (Hz), puede calcularse, para una relación de potencia fuera de banda  $\beta = 0,01$ , mediante la siguiente fórmula empírica:

$$L = \left( \frac{1}{0,05 + \alpha} - 1 \right) B \quad (2)$$

donde:

$\alpha$ : tiempo de establecimiento relativo del impulso más breve de una señal telegráfica, conforme se define en el § 1.21

$B$ : velocidad de modulación (Bd).

La máxima discrepancia entre los resultados obtenidos mediante esta ecuación y los resultados de cálculos exactos corresponde a  $2B$  cuando  $\alpha < 0,02$  y  $B$  cuando  $\alpha \geq 0,02$ , lo que ha sido corroborado por mediciones. La ecuación (1) puede utilizarse, por tanto, para la medida indirecta de la anchura de banda ocupada por las emisiones A1A y A1B.

#### 3.1.4 Espectro fuera de banda

Si se lleva en abscisas la frecuencia, en unidades logarítmicas, y en ordenadas las densidades de potencia (dB), la curva que representa el espectro fuera de banda deberá encontrarse por debajo de dos líneas rectas que partan del punto  $(+5 B/2, -27 \text{ dB})$  o del punto  $(-5 B/2, -27 \text{ dB})$  antes mencionados, presenten una pendiente de 30 dB/octava y terminen en el punto  $(+5 B, -57 \text{ dB})$  o en el punto  $(-5 B, -57 \text{ dB})$ , respectivamente. A continuación, la misma curva debería estar por debajo de -57 dB.

La potencia fuera de banda admisible, por encima y por debajo de los límites de frecuencia de la anchura de banda necesaria, constituyen, cada una, aproximadamente el 0,5% de la potencia media total radiada.

### 3.1.5 Tiempo de establecimiento de la señal

El tiempo de establecimiento de la señal emitida depende esencialmente de la forma de la señal a la entrada del transmisor, de las características del filtro al que se aplica la señal y de los efectos lineales y no lineales que pueden producirse en el propio transmisor (en el supuesto de que la antena no influya en la forma de la señal). En primera aproximación puede suponerse que a un espectro fuera de banda vecino del límite descrito en el § 3.1.4 corresponde un tiempo de establecimiento del orden del 20% aproximadamente de la duración inicial del punto telegráfico, es decir, del orden de  $1/5 B$ .

### 3.1.6 Interferencia producida en los canales adyacentes

La interferencia producida en los canales adyacentes depende de numerosos parámetros y su cálculo riguroso es difícil. Sin embargo, como no es necesario calcular con gran precisión las características de interferencia, se pueden utilizar fórmulas semiempíricas y gráficas.

## 3.2 Emisiones de clases A1A y A1B sin fluctuaciones

En telegrafía con modulación de amplitud en onda continua la anchura de banda necesaria puede reducirse a tres veces la velocidad de modulación ( $Bd$ ) cuando las variaciones de corto periodo de la intensidad de campo recibida no influyan en la calidad de la transmisión.

## 3.3 Conformación de la señal telegráfica mediante filtros

Un método adecuado para reducir la anchura de banda ocupada es incrementar el tiempo de establecimiento de la señal telegráfica hasta un valor máximo compatible con el correcto funcionamiento del equipo receptor.

El valor mínimo del cociente,  $T$ , entre la banda de paso a 6 dB de tales filtros y la mitad de la velocidad de modulación ( $Bd$ ), es muy dependiente de los requisitos de sincronización del equipo terminal receptor, de la estabilidad de frecuencia, tanto del transmisor como del receptor, y en el caso del tráfico real, de las condiciones de propagación. El valor mínimo puede variar desde 2, cuando la sincronización y la estabilidad son extremadamente buenas, a 15, cuando el desplazamiento de frecuencia es considerable y se usa el teletipo.

Sería preferible utilizar filtros con sobreoscilación mínima de manera que pudiera utilizarse toda la potencia del transmisor.

El Cuadro 2 da, en función de  $T$ , el porcentaje de tiempo durante el cual la señal telegráfica es plana dentro de un 1% para un filtro de mínima sobreoscilación:

CUADRO 2

$\frac{\text{Longitud de la parte plana}}{\text{Longitud de la señal}}$	0% (señal sinusoidal)	50%	90%	100% (señal rectangular)
$T$	1,6	3,2	16	$\infty$

Determinado el valor  $T$ , puede ser necesario usar filtros formados por varias secciones para reducir suficientemente las componentes espectrales fuera de banda.

## 3.4 Emisiones de clases A2A y A2B

En las emisiones en telegrafía símplex, en las que se manipulan a la vez la portadora y las oscilaciones moduladoras, como el porcentaje de modulación puede ser hasta del 100% y la frecuencia de modulación superior a la velocidad de modulación ( $f > B$ ), las especificaciones que se dan seguidamente representan características deseables que pueden obtenerse con transmisores provistos de filtros de entrada bastante sencillos con pasos aproximadamente lineales.

### 3.4.1 Anchura de banda necesaria

La anchura de banda necesaria es igual a dos veces la frecuencia de modulación,  $f$ , más cinco veces la velocidad de modulación ( $Bd$ ).

### 3.4.2 Espectro fuera de banda dB/octava

Si se lleva en abscisas la frecuencia, en unidades logarítmicas, y en ordenadas las densidades de potencia (dB), la curva del espectro fuera de banda tendrá que estar por debajo de dos líneas rectas que partan del punto  $(+(f + 5 B/2), -24 \text{ dB})$  o del punto  $(-(f + 5 B/2), -24 \text{ dB})$ , presenten una pendiente de 12 dB/octava y terminen en el punto  $(+(f + 5 B), -36 \text{ dB})$  o el punto  $(-(f + 5 B), -36 \text{ dB})$ , respectivamente. A continuación, la misma curva debería estar por debajo de  $-36 \text{ dB}$ .

El nivel de referencia de 0 dB, corresponde a la potencia de la portadora en emisión continua con una oscilación moduladora.

Cada una de las potencias fuera de banda toleradas por encima y por debajo, respectivamente, de los límites de la anchura de banda necesaria es aproximadamente igual al 0,5% de la potencia media total radiada.

## 3.5 Emisiones radiotelefónicas con modulación de amplitud, excluidas las emisiones de radiodifusión sonora

La anchura de banda ocupada y la radiación fuera de banda de las emisiones de señales analógicas con modulación de amplitud dependen, en grado variable, de varios factores que son:

- el tipo de señal moduladora;
- el nivel de la señal moduladora a la entrada que determina el espectro de salida del transmisor;
- la banda de paso que está determinada por filtros utilizados en las etapas de audiofrecuencia, así como en las etapas intermedias y final de modulación del transmisor;
- el nivel de las componentes de distorsión por armónicos y productos de intermodulación radiados en frecuencias del espectro fuera de banda.

Las limitaciones indicadas en el presente párrafo para los espectros de las emisiones radiotelefónicas se han deducido de mediciones realizadas por diferentes métodos. La potencia en la cresta de la envolvente del transmisor se ha determinado en principio, según el método de la Recomendación UIT-R SM.326, § 3.1.3, y con el transmisor ajustado de modo que se obtenga una distorsión aceptable para el servicio considerado.

Se han realizado mediciones empleando varias señales moduladores diferentes en lugar de dos tonos de audiofrecuencia. En la realización práctica de las mediciones se ha comprobado que un ruido blanco o ponderado, de anchura de banda limitada por filtrado a la anchura de banda necesaria para la transmisión de la información en explotación normal, sustituye a la señal vocal de modo satisfactorio.

En las curvas de emisión fuera de banda definidas en los § 3.5.1 y 3.5.2, las ordenadas representan la energía recibida por un receptor de 3 kHz de anchura de banda, cuya frecuencia central está ajustada a la frecuencia llevada en abscisas, normalizada dicha energía a la recibida por el mismo receptor cuando está sintonizado a la frecuencia central de la banda ocupada.

No obstante, un receptor de 3 kHz de anchura de banda no puede dar informaciones bastante detalladas en la región del espectro próxima a los límites de la banda ocupada. Las mediciones realizadas punto por punto, con un receptor con una anchura de banda efectiva de 100 Hz a 250 Hz, o con un analizador de espectro cuyo filtro tenga una anchura de banda análoga, se han revelado más útiles para la determinación de la estructura fina del espectro.

Antes de efectuar estas mediciones, se debe determinar la característica atenuación-frecuencia del filtro que limita la anchura de banda transmitida. El transmisor se modula entonces con un ruido blanco o ponderado, limitado a una anchura de banda ligeramente superior a la anchura de banda del filtro.

Al aplicar la señal a la entrada del transmisor, hay que evitar que, en la salida, las crestas de la señal excedan la potencia en la cresta de la envolvente del transmisor o el nivel correspondiente a un grado de modulación del 100%, según el caso, durante más de un pequeño porcentaje de tiempo especificado. Este porcentaje depende de la clase de emisión (véase el § 1 del Anexo 4).

### 3.5.1 Emisiones de clase A3E para telefonía de doble banda lateral

#### 3.5.1.1 Anchura de banda necesaria

La anchura de banda necesaria,  $F$ , es prácticamente igual al doble de la frecuencia de modulación,  $M$ , más alta que se desea transmitir con una pequeña atenuación determinada.

### 3.5.1.2 Potencia en la banda necesaria

La distribución estadística de la potencia en el interior de la banda necesaria está determinada por los niveles relativos de las diferentes componentes de frecuencias vocales aplicadas a la entrada del transmisor. Si se utilizan varios canales telefónicos, esta distribución está determinada por el número de canales en servicio y por los niveles relativos de las diferentes componentes de frecuencias vocales aplicadas a la entrada de cada canal.

Para un transmisor de radiotelefonía que no lleve ningún dispositivo de secreto, puede admitirse que la distribución estadística de las componentes de frecuencias vocales, sobre cada uno de los canales, corresponde a la curva reproducida en la Fig. 21. Esta curva no es aplicable a los transmisores de radiodifusión sonora.

Si el transmisor se utiliza con un dispositivo de secreto con inversión de banda, pueden emplearse los mismos datos haciendo que el espectro obtenido sufra una inversión adecuada.

Finalmente, si se emplea un dispositivo de secreto con división de banda, se puede tener en cuenta que, estadísticamente, la repartición de la potencia es uniforme en el interior de la banda.

### 3.5.1.3 Espectro fuera de banda

Si en abscisas se llevan las frecuencias según una escala logarítmica, y en ordenadas, las densidades de potencia (dB), la curva que representa el espectro fuera de banda deberá encontrarse por debajo de las dos rectas que parten del punto  $(+0,5 F, 0 \text{ dB})$ , o del punto  $(-0,5 F, 0 \text{ dB})$ , y que vienen a parar al punto  $(+0,7 F, -20 \text{ dB})$  o  $(-0,7 F, -20 \text{ dB})$ , respectivamente. Más allá de estos puntos y hasta el nivel  $-60 \text{ dB}$ , esta curva habrá de estar por debajo de dos rectas que partan de estos últimos puntos y tengan una pendiente de  $12 \text{ dB/octava}$ . Esta misma curva habrá de estar seguidamente por debajo del nivel de  $-60 \text{ dB}$ .

El nivel de referencia de  $0 \text{ dB}$  corresponde a la densidad de potencia que existiría si la potencia total, con exclusión de la potencia de la portadora, se distribuyese uniformemente sobre la banda necesaria.

### 3.5.1.4 Relación entre el nivel de referencia de $0 \text{ dB}$ para la determinación del espectro fuera de banda y los niveles de otras componentes espectrales de la emisión

#### 3.5.1.4.1 Relación entre el nivel de referencia de $0 \text{ dB}$ y el nivel correspondiente a la máxima densidad espectral de potencia

El nivel de referencia de  $0 \text{ dB}$  definido en el § 3.5.1.3 está  $5 \text{ dB}$  aproximadamente por debajo del nivel correspondiente a la máxima densidad de potencia en cualquiera de las bandas laterales, cuando el transmisor se modula con ruido blanco ponderado de acuerdo con la curva que se menciona en el § 3.5.1.2 y se muestra en el Anexo 2.

El valor de  $5 \text{ dB}$  es válido para una anchura de banda de modulación de frecuencia con un límite de frecuencia superior de  $3 \text{ kHz}$  ó  $3,4 \text{ kHz}$ .

#### 3.5.1.4.2 Relación entre el nivel de referencia de $0 \text{ dB}$ y el nivel de la portadora

La relación  $\alpha_B$  (dB) entre el nivel de referencia de  $0 \text{ dB}$  y el nivel de la portadora, viene dado por la siguiente ecuación:

$$\alpha_B = 10 \log \left( \frac{m_{ef}^2}{2} \frac{B_{eff}}{F} \right) \quad (3)$$

donde:

- $m_{ef}$ : índice de modulación eficaz del transmisor
- $B_{eff}$ : anchura de banda efectiva de ruido del analizador
- $F$ : anchura de banda necesaria de la emisión.

Por consiguiente, el nivel de referencia depende de:

- la potencia de banda lateral,  $P_s$ , dada por la ecuación:

$$P_s = \frac{m_{ef}^2}{2} P_c \quad (4)$$

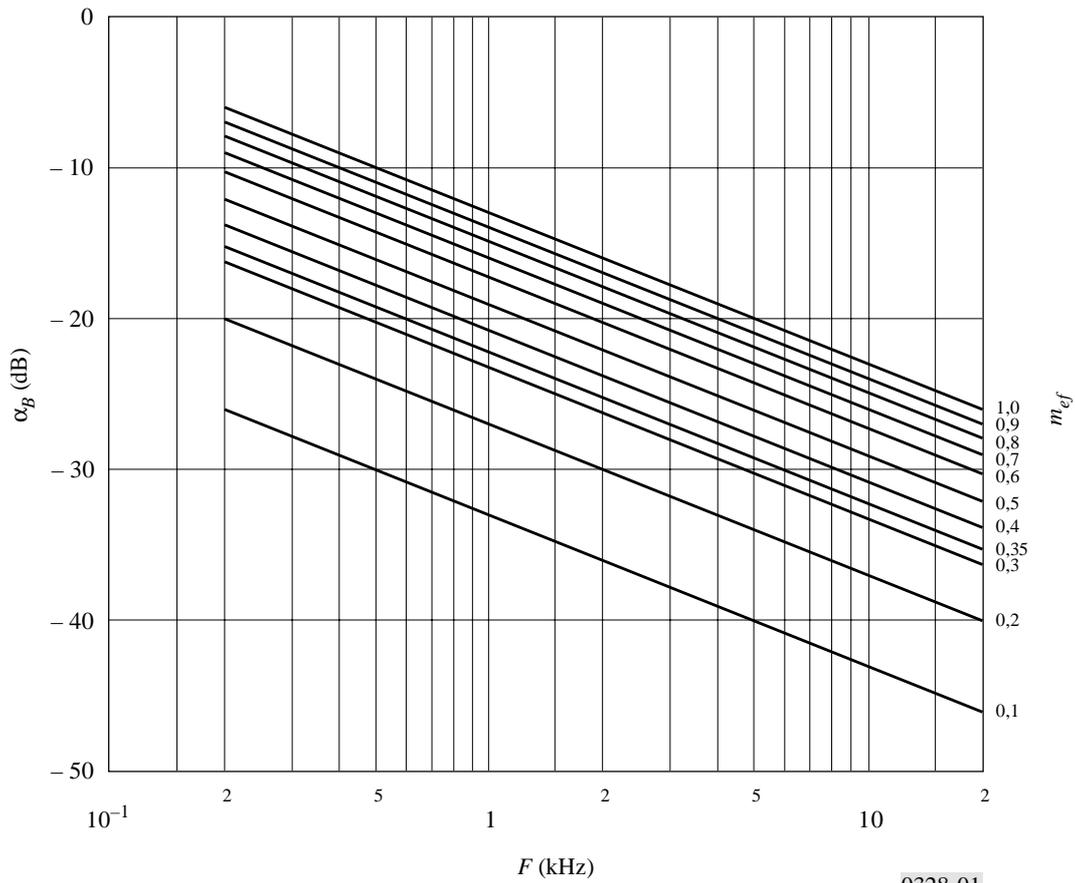
donde  $P_c$  es la potencia de la portadora,

- la anchura de banda necesaria,  $F$ ,
- la anchura de banda efectiva de ruido,  $B_{eff}$ , del analizador empleado.

La Fig. 1 muestra la relación  $\alpha_B$  calculada mediante la ecuación (3), en función de la anchura de banda necesaria, para diferentes valores de índice de modulación eficaz.

FIGURA 1

Relación  $\alpha_B$  (dB) entre el nivel de referencia de 0 dB de la curva representativa de los límites del espectro fuera de banda (en el caso de la clase de emisión A3E) y el nivel de la portadora representada, en función de la anchura de banda necesaria,  $F$  (kHz), para una anchura de banda efectiva de ruido del analizador de 100 Hz, con el índice de modulación eficaz del transmisor,  $m_{ef}$ , como parámetro



Para las necesidades de algunas aplicaciones prácticas, por ejemplo en estaciones de comprobación técnica de las emisiones, puede suponerse un índice de modulación eficaz del transmisor,  $m_{ef} = 35\%$ , en el caso en que el índice de modulación real no pueda determinarse de una manera totalmente segura. La ecuación (3) puede simplificarse entonces de la siguiente manera:

$$\alpha_B = 10 \log \left( \frac{B_{eff}}{F} \right) - 12,1 \tag{5}$$

La Fig. 2 muestra la relación  $\alpha_B$  calculada mediante la ecuación simplificada (5), en función de la anchura de banda necesaria para diferentes valores de anchura de banda de ruido eficaz.

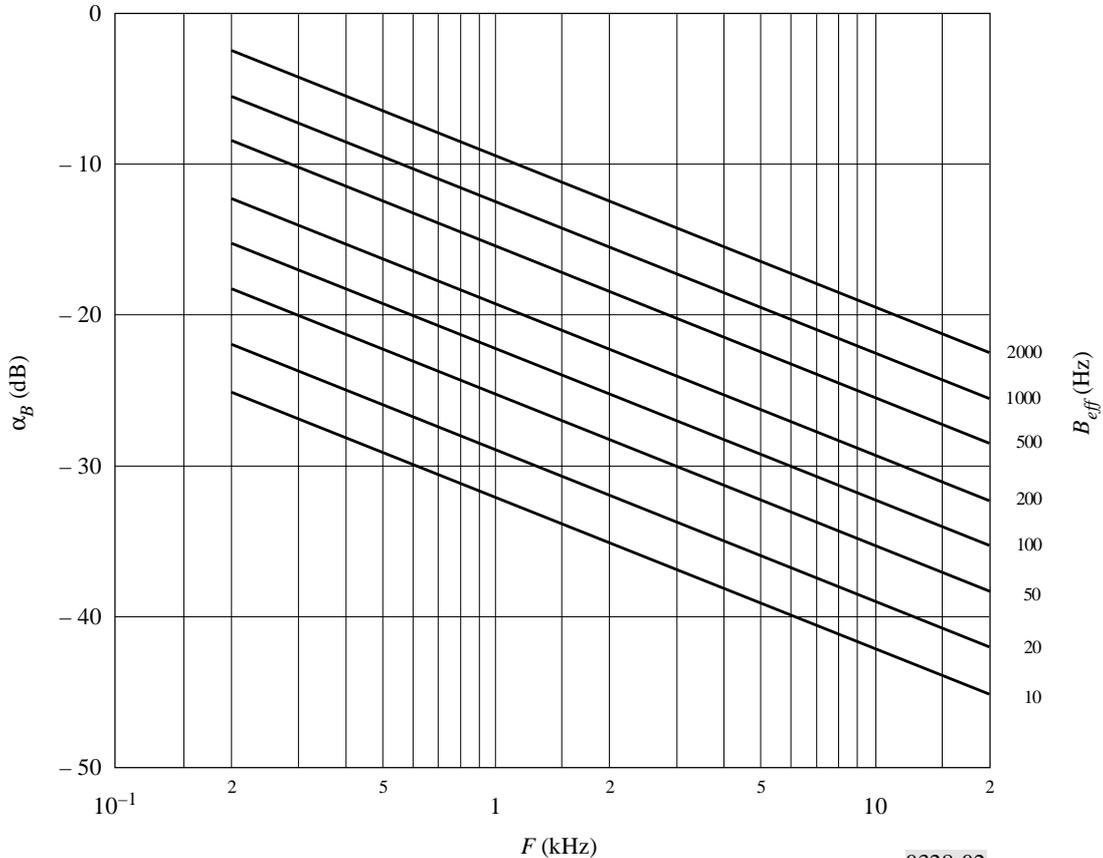
### 3.5.2 Emisiones de banda lateral única de clases R3E, H3E y J3E (portadora reducida, completa o suprimida) y de bandas laterales independientes de clase B8E

#### 3.5.2.1 Anchura de banda necesaria

**3.5.2.1.1** En el caso de las emisiones R3E y H3E, la anchura de banda necesaria,  $F$ , es prácticamente igual al valor de la audiofrecuencia más alta,  $f_2$ , que se desea transmitir con una pequeña atenuación determinada.

FIGURA 2

Relación  $\alpha_B$  (dB) entre el nivel de referencia de 0 dB de la curva representativa de los límites del espectro fuera de banda (en el caso de la clase de emisión A3E) y el nivel de la portadora representada, en función de la anchura de banda necesaria,  $F$  (kHz), para un índice de modulación eficaz del 35% con una anchura de banda efectiva de ruido,  $B_{eff}$ , del analizador como parámetro



0328-02

**3.5.2.1.2** En el caso de las emisiones J3E, la anchura de banda necesaria  $F$  es prácticamente igual a la diferencia entre la más alta,  $f_2$ , y la más baja,  $f_1$ , de las audiofrecuencias que se desean transmitir con una pequeña atenuación determinada.

**3.5.2.1.3** En el caso de las emisiones B8E, la anchura de banda necesaria  $F$  es prácticamente igual a la diferencia entre las dos frecuencias radioeléctricas más alejadas de la frecuencia asignada, que corresponden a las dos audiofrecuencias extremas que se desean transmitir, con una pequeña atenuación determinada, en los dos canales exteriores de la emisión.

### 3.5.2.2 Potencia en la banda necesaria

Para las consideraciones relativas a la potencia en la banda necesaria, véase el § 3.5.1.2.

### 3.5.2.3 Espectro fuera de banda para las emisiones de clase B8E, cuatro canales telefónicos en servicio simultáneo

La potencia fuera de banda depende del número y posición de los canales en servicio. Las curvas descritas a continuación corresponden únicamente al caso en que estén simultáneamente en servicio cuatro canales telefónicos. Cuando no se utiliza algún canal, la potencia fuera de banda es menor.

Si se lleva en abscisas la frecuencia, en una escala logarítmica, partiendo del supuesto de que la frecuencia de referencia coincide con el centro de la banda necesaria, y en ordenadas una escala lineal (dB) para las densidades de potencia, la curva representativa del espectro fuera de banda habrá de estar por debajo de dos rectas que partan, respectivamente, del punto  $(+0,5 F, 0 \text{ dB})$ , o del punto  $(-0,5 F, 0 \text{ dB})$  y que lleguen, respectivamente, al punto  $(+0,7 F, -30 \text{ dB})$  o al punto  $(-0,7 F, -30 \text{ dB})$ . Más allá de estos últimos puntos y hasta el nivel  $-60 \text{ dB}$ , esta curva habrá de estar por debajo de dos rectas que partan de estos últimos puntos y tengan una pendiente de  $12 \text{ dB/octava}$ . Esta misma curva habrá de estar seguidamente por debajo del nivel de  $-60 \text{ dB}$ .

El nivel de referencia de 0 dB corresponde a la densidad de potencia que existiría si la potencia total, con exclusión de la portadora reducida, se distribuyese uniformemente sobre la anchura de banda necesaria.

### 3.6 Emisiones de radiodifusión sonora con modulación de amplitud

Los límites del espectro que se indican en este punto para las emisiones de radiodifusión sonora con modulación de amplitud se han establecido a base de mediciones hechas con transmisores modulados por un ruido ponderado, con un índice de modulación eficaz de 35%, en ausencia de toda compresión dinámica de la amplitud de la señal (véase el § 2 del Anexo 4).

#### 3.6.1 Emisiones de radiodifusión sonora de clase A3E, de doble banda lateral

##### 3.6.1.1 Anchura de banda necesaria

La anchura de banda necesaria,  $F$ , es prácticamente igual al doble de la frecuencia más alta de modulación,  $M$ , que se desee transmitir con una pequeña atenuación determinada.

##### 3.6.1.2 Potencia en la banda necesaria

La distribución estadística de la potencia en la banda necesaria está determinada por los niveles relativos de las distintas componentes de audiofrecuencia aplicadas a la entrada del transmisor.

Puede suponerse que la distribución de la potencia en la banda de audiofrecuencias de un programa corriente de radiodifusión corresponde a las curvas reproducidas en la Fig. 23. En la práctica, estas curvas no se exceden durante más del 5% al 10% del tiempo de transmisión del programa.

##### 3.6.1.3 Espectro fuera de banda

Si se llevan en abscisas las frecuencias según una escala logarítmica y en ordenadas las densidades de potencia (dB), la curva que representa el espectro fuera de banda deberá encontrarse por debajo de dos rectas que partan del punto  $(+0,5 F, 0 \text{ dB})$  o del punto  $(-0,5 F, 0 \text{ dB})$  y lleguen al punto  $(+0,7 F, -35 \text{ dB})$  o al punto  $(-0,7 F, -35 \text{ dB})$ , respectivamente. A partir de estos últimos puntos y hasta el nivel de  $-60 \text{ dB}$ , la curva deberá encontrarse por debajo de dos rectas que partan de estos últimos puntos y tengan una pendiente de  $12 \text{ dB/octava}$ . Esta misma curva deberá encontrarse después por debajo del nivel de  $-60 \text{ dB}$ .

El nivel de referencia de 0 dB, corresponde a la densidad de potencia que existiría si la potencia total, excluida la potencia de la portadora, se distribuyese uniformemente sobre la banda necesaria (véase el § 3.6.1.4).

La ordenada de la curva así definida representa la potencia media interceptada por un analizador con una anchura de banda efectiva de ruido de 100 Hz y cuya frecuencia central coincida con la frecuencia indicada en abscisas.

#### 3.6.1.4 Relación entre el nivel de referencia de 0 dB para la determinación del espectro fuera de banda y los niveles de otros componentes espectrales de la emisión

##### 3.6.1.4.1 Relación entre el nivel de referencia de 0 dB y el nivel correspondiente a la máxima densidad espectral de potencia

El nivel de referencia de 0 dB definido en el § 3.6.1.3 está de 8 dB a 10 dB por debajo del nivel correspondiente a la máxima densidad de potencia en cualquiera de las bandas laterales, cuando el transmisor se modula con ruido blanco ponderado de acuerdo con las curvas que se menciona en el § 3.6.1.2.

El valor de 8 dB es válido para una anchura de banda de la frecuencia de modulación que tenga un límite de frecuencia superior de 4,5 kHz ó 6 kHz. El valor de 10 dB se aplica cuando el límite de frecuencias es superior de 10 kHz.

##### 3.6.1.4.2 Relación entre el nivel de referencia de 0 dB y el nivel de la portadora

Véase el § 3.5.1.4.2 que se aplica también en el caso de radiodifusión sonora.

#### 3.6.2 Clase de emisión J3E, radiodifusión sonora en banda lateral única

Véase el Apéndice 45 (S.11), Parte B (Radiodifusión en ondas decamétricas) del RR.

### 3.7 Emisión de clase F1B

Para la telegrafía por desplazamiento de frecuencia, clase F1B, con o sin fluctuaciones debidas a la propagación:

#### 3.7.1 Anchura de banda necesaria

Si se representa por  $2D$  el desplazamiento de frecuencia o la diferencia entre las frecuencias de trabajo y de reposo y por  $m$  el índice de modulación  $2D/B$ , se obtiene la anchura de banda necesaria mediante una de las fórmulas siguientes, que se elegirá según el valor de  $m$ :

$$\begin{aligned} 2,6 D + 0,55 B & \quad \text{para } 1,5 < m < 5,5 \text{ con una aproximación de } 10\% \\ 2,1 D + 1,9 B & \quad \text{para } 5,5 \leq m \leq 20 \text{ con una aproximación de } 2\%. \end{aligned}$$

#### 3.7.2 Forma de la envolvente del espectro

En los § 3.7.2.1 a 3.7.2.3 siguientes se describe la forma de espectro de radiofrecuencia de la clase de emisión F1B para varias formas de señales telegráficas.

##### 3.7.2.1 Señal telegráfica de alternancias con tiempo de establecimiento nulo

En la Fig. 3 (líneas continuas) se muestra la amplitud de la envolvente del espectro con relación a la amplitud de la emisión continua ( $A(n)$ ), en función del orden de la componente de banda lateral, para el caso de una señal telegráfica de alternancias con tiempo de establecimiento nulo y con duraciones idénticas para la marca y el espacio.

Las partes lineales o asintóticas de las curvas de trazo continuo de la Fig. 3 pueden aproximarse mediante la fórmula:

$$A(n) = \frac{2m}{\pi n^2} \quad (6)$$

donde:

$n$ : orden de la componente de banda lateral

$$n = 2f/B$$

$f$ : separación en frecuencia al centro del espectro (Hz)

$B$ : velocidad de modulación (Bd)

$m$ : índice de modulación

$$m = 2D/B$$

$D$ : desviación de frecuencia de cresta o semidesplazamiento de frecuencia (Hz).

##### 3.7.2.2 Señales periódicas con tiempo de establecimiento finito

La amplitud,  $A(x)$ , de la envolvente del espectro producido por una señal telegráfica de alternancias con tiempo de establecimiento finito e idéntica duración de marca y espacio, se obtiene mediante la siguiente ecuación empírica:

$$A(x) = E \frac{2}{\pi} \frac{1}{m} x^{-u} (x^2 - 1)^{-1} \quad \text{para } x > 1 \quad (7)$$

siendo:

$$x = f/D$$

$E$ : amplitud de la emisión continua

$$u = \sqrt{5 D \tau}$$

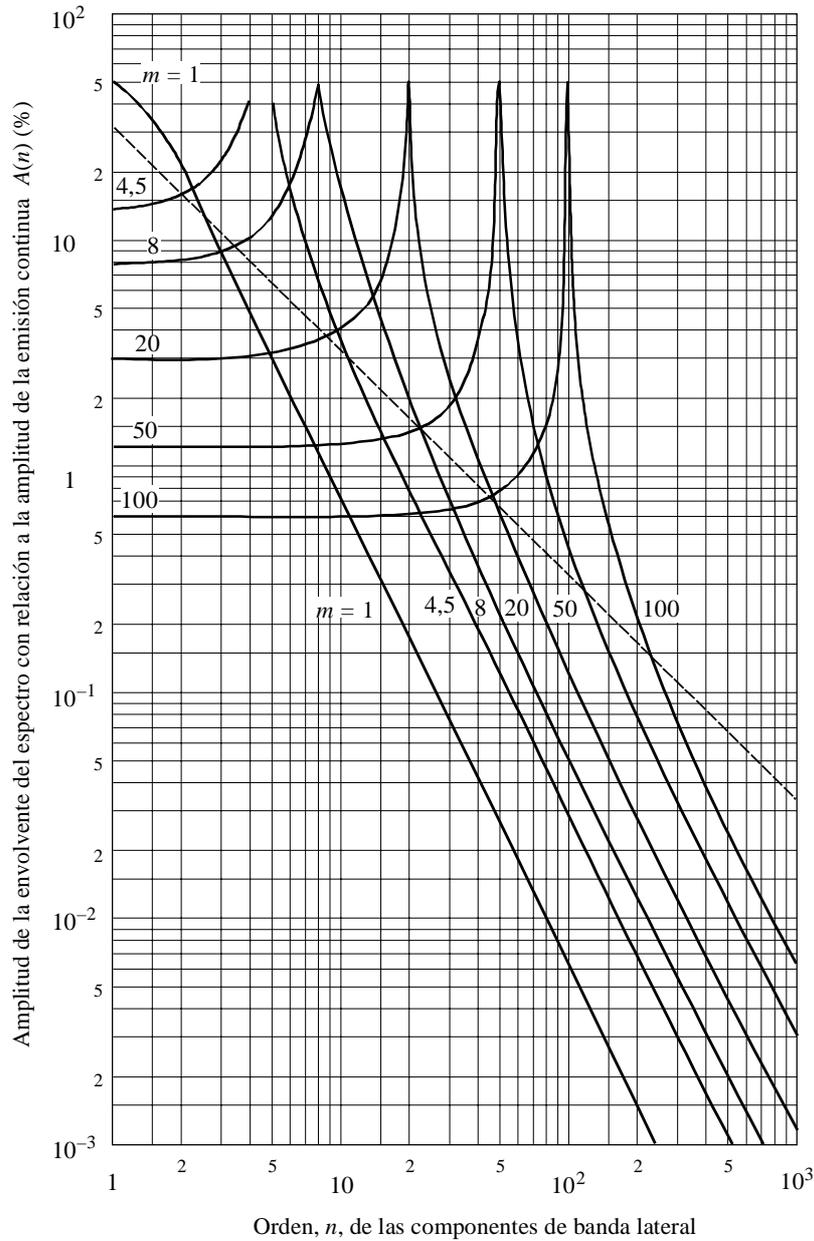
$\tau$ : tiempo de establecimiento (s) de la señal telegráfica como se define en el § 1.20

$f$ ,  $D$  y  $m$ : definidos en el § 3.7.2.1 anterior.

En la ecuación (7), la forma de la envolvente del espectro depende solamente del producto  $D \tau$ , para un valor dado de este producto, la amplitud de la envolvente,  $A(x)$ , es inversamente proporcional al índice de modulación,  $m$ . Esto se ilustra en la Fig. 4 donde el producto  $m A(x)$  se ilustra en función de  $x$  para diversos valores de  $D \tau$ .

FIGURA 3

Envolturas de los espectros RF para una señal telegráfica de alternancias

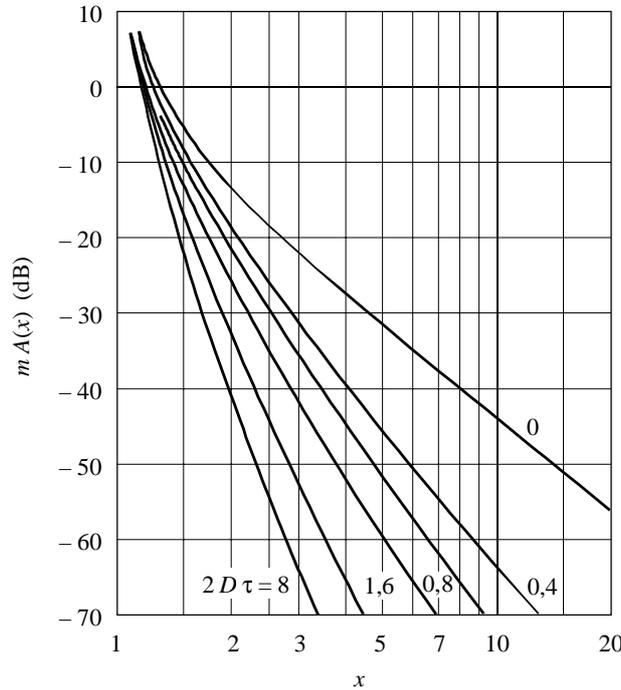


0328-03

Se ha mostrado que el efecto del tiempo de establecimiento sobre la forma de la envoltura espectral es pequeño para valores de  $D \tau$  que sean menores de 0,15 o comprendidos entre 1 y 5. Cuando las duraciones de la marca y el espacio no son idénticas, la forma de la envoltura espectral depende mucho del producto  $D \tau$  y de la duración del elemento de señal más corto, pero es siempre similar al producido por una señal telegráfica de alternancias con tiempos de establecimiento idénticos.

En la Fig. 5 se comparan los resultados de las mediciones realizadas sobre diversos espectros y los obtenidos calculando los valores correspondientes a partir de la ecuación (7). La concordancia es satisfactoria para valores de  $x$  mayores que 1,2, pero disminuye a medida que disminuye el valor del producto  $D \tau$ .

FIGURA 4  
Distribución espectral de las emisiones de tipo F1B  
calculada con la ecuación empírica (7)



0328-04

**3.7.2.3 Señal telegráfica aperiódica con tiempo de establecimiento finito**

Cuando una señal es aperiódica, como es el caso para tráfico real, la distribución del espectro debería representarse como densidad espectral de potencia.

La densidad de potencia media por unidad de anchura de banda,  $p(x)$ , se obtiene mediante la ecuación empírica siguiente:

$$p(x) = \frac{P_0}{B} \frac{4}{\pi^2} \frac{1}{m^2} x^{-2u} (x^2 - 1)^{-2} \tag{8}$$

donde:

$P_0$ : potencia total de la emisión

$B, m, x$  y  $u$ : definidos en los § 3.7.2.1 y 3.7.2.2.

También en este caso la forma de la envolvente del espectro sólo depende del producto del desplazamiento de frecuencia por el tiempo de establecimiento.

**3.7.3 Anchura de banda ocupada y potencia fuera de banda**

La potencia fuera de banda,  $P'$ , como se define en el § 1.11, puede obtenerse integrando entre dos límites de frecuencia, la densidad de potencia dada por la ecuación (8).

La Fig. 6 muestra los valores de anchura de banda,  $L$ , calculados en función de  $m$  y  $2D\tau$ , para  $\beta = 0,01$  y  $\beta = 0,001$ , siendo  $\beta$  la proporción de potencia fuera de banda  $P'/P_0$ .

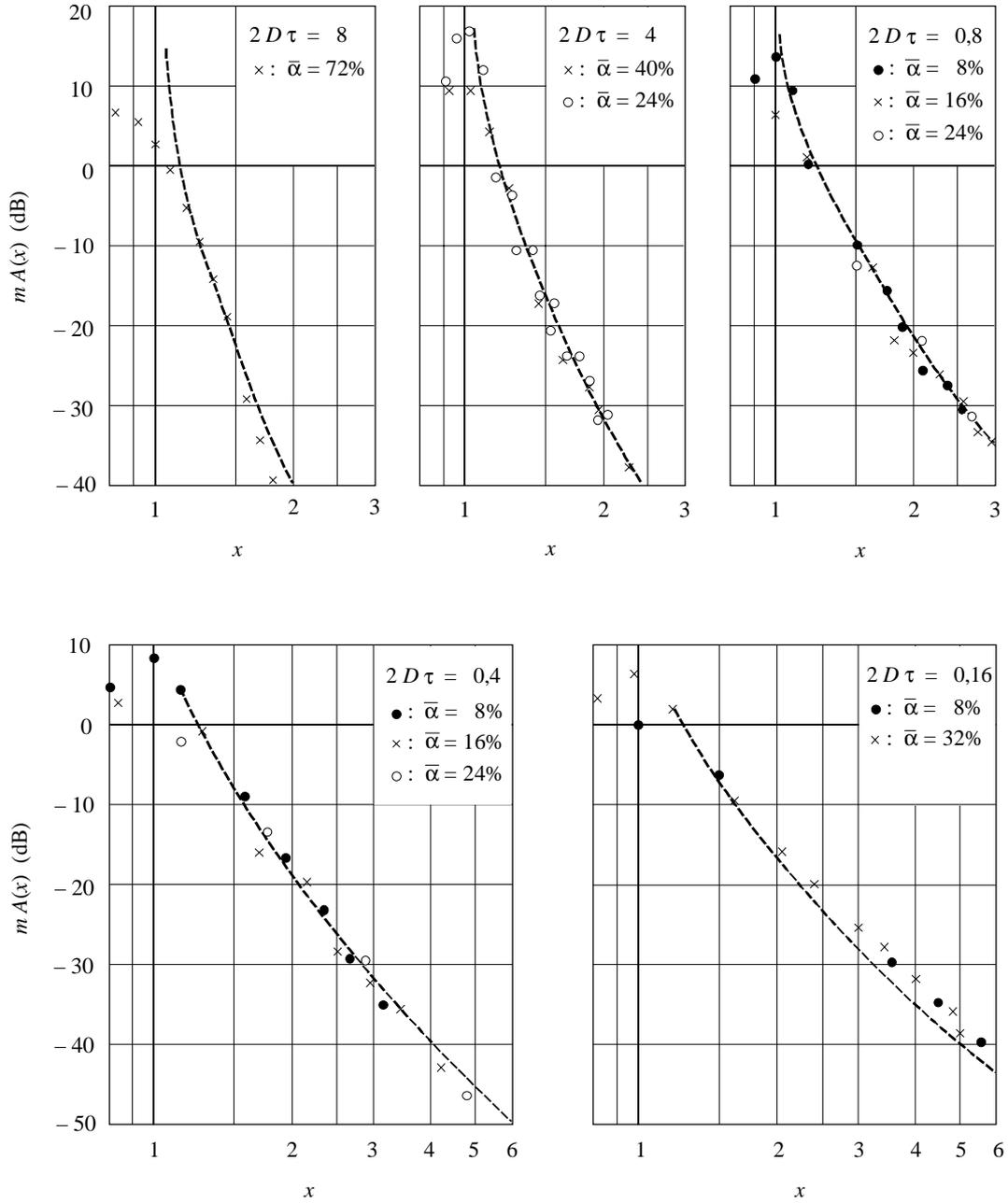
La anchura de banda ocupada  $L$  (Hz), para  $\beta = 0,01$ , puede también calcularse a partir de la ecuación empírica siguiente:

$$L = 2D + D \left( 3 - 4\sqrt{\bar{\alpha}} \right) m^{-0,6} \tag{9}$$

siendo  $\bar{\alpha}$  el tiempo relativo de establecimiento del impulso más corto de la señal telegráfica, como se define en el § 1.21.

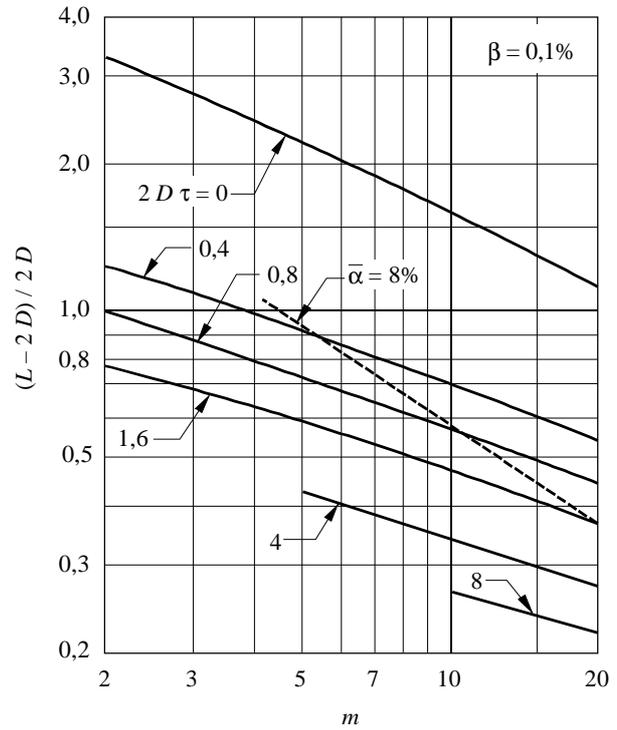
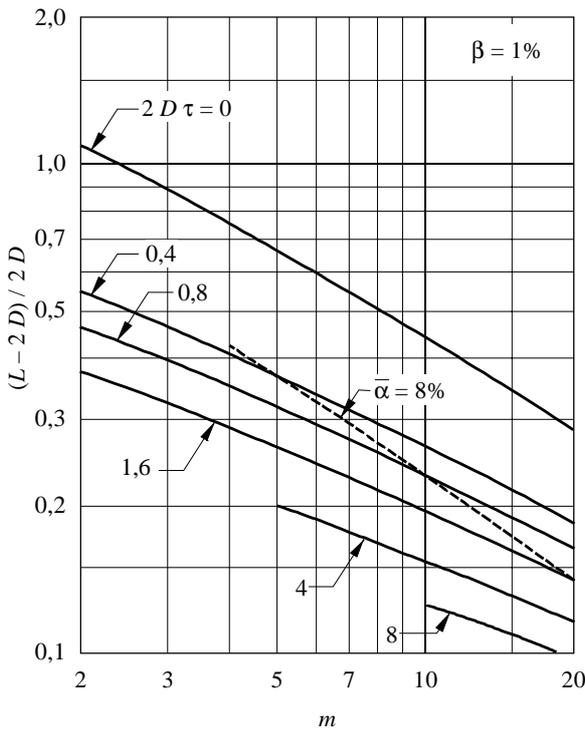
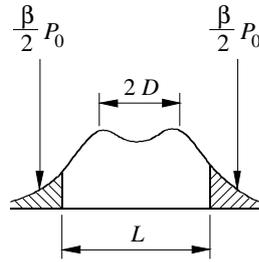
La anchura de banda ocupada así calculada, resulta escasamente afectada por la forma de la señal telegráfica, mientras que el espectro fuera de banda depende en gran medida de dicha forma.

FIGURA 5  
Espectro de las emisiones de tipo F1B



----- Calculado con la ecuación empírica (7)  
 • o x Valores medidos  
 $\bar{\alpha}$ : Tiempo de establecimiento relativo (%)

FIGURA 6  
Anchura de banda calculada con la ecuación empírica (8)



0328-06

La divergencia máxima entre los resultados obtenidos utilizando la ecuación (9) y los que se obtuvieron mediante los cálculos exactos es la siguiente:

- 3% para  $\bar{\alpha} = 0$ ;  $2 \leq m \leq 20$
- 9% para  $\bar{\alpha} = 0,08$ ;  $1,4 \leq m \leq 20$
- 10% para  $\bar{\alpha} = 0,24$ ;  $2 \leq m \leq 20$ .

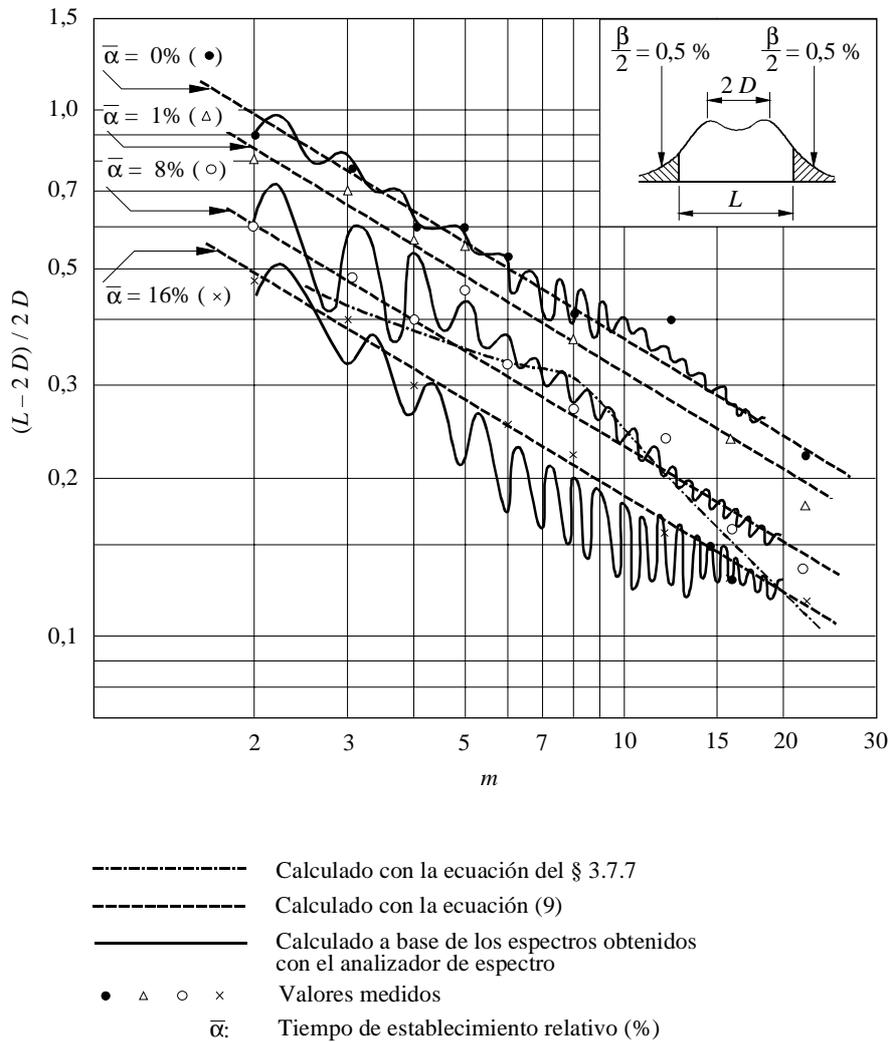
Estos valores muestran los límites dentro de los cuales puede usarse la ecuación (9) con una precisión razonable. Los porcentajes indicados se aplican al límite inferior de  $m$ . Dichos porcentajes disminuyen al aumentar el límite.

Por último, la Fig. 7 muestra los resultados de cálculos y mediciones de anchura de banda ocupada utilizando diversos métodos.

### 3.7.4 Conformación de la señal telegráfica mediante filtros

Véase el § 3.3. Sin embargo, no es esencial usar filtros con sobreoscilación mínima cuando se quiera que el transmisor funcione en más de dos frecuencias, por ejemplo, en el caso de telegrafía dúplex de cuatro frecuencias.

FIGURA 7  
 Comparación entre los resultados de cálculos y mediciones  
 de anchura de banda ocupada



0328-07

### 3.7.5 Interferencia producida en los canales adyacentes

Véase el § 3.1.6.

### 3.7.6 Tiempo de establecimiento de la señal

A un espectro fuera de banda muy próximo a la curva límite descrita en el § 3.7.8 corresponde un tiempo de establecimiento de la señal aproximadamente igual a un 8% de la duración inicial del punto telegráfico, es decir,  $1/12 B$  aproximadamente, a condición de que se emplee un filtro adecuado para la conformación de la señal.

### 3.7.7 Anchura de banda ocupada con señales no conformadas

A los efectos de comparación con las fórmulas del § 3.7.1, puede indicarse que en el caso de una serie de señales de trabajo y de reposo iguales y rectangulares (tiempo de establecimiento nulo), la anchura de banda ocupada se obtiene mediante las fórmulas siguientes:

$$2,6 D + 1,4 B \quad \text{para } 2 \leq m \leq 8 \text{ con una aproximación del } 2\%$$

$$2,2 D + 3,1 B \quad \text{para } 8 \leq m \leq 20 \text{ con una aproximación del } 2\%.$$

### 3.7.8 Espectro fuera de banda

Si se lleva en abscisas la frecuencia, en unidades logarítmicas, y en ordenadas las densidades de potencia (dB), la curva que representa el espectro fuera de banda deberá encontrarse por debajo de dos líneas rectas de pendiente constante, en decibelios por octava, que partan de dos puntos situados en las frecuencias límite de la banda necesaria y terminen en el nivel de  $-60$  dB. A continuación, la misma curva debería estar por debajo de  $-60$  dB. Las ordenadas de arranque de las dos líneas rectas, así como sus pendientes, se dan en el Cuadro 3 en función del índice de modulación,  $m$ .

CUADRO 3

Índice de modulación	Ordenada de arranque (dB)	Pendiente (dB/octava)
$1,5 \leq m < 6$	-15	$13 + 1,8 m$
$6 \leq m < 8$	-18	$19 + 0,8 m$
$8 \leq m \leq 20$	-20	$19 + 0,8 m$

El nivel de referencia de 0 dB corresponde a la potencia media de la emisión.

La potencia fuera de banda admisible, por encima y por debajo de los límites de frecuencia de la anchura de banda necesaria, constituye, cada una, aproximadamente el 0,5% de la potencia media total radiada.

La curva que representa el espectro fuera de banda para índices de modulación  $0,5 \leq m \leq 1,5$  debe encontrarse por debajo de los puntos con las coordenadas indicadas en el Cuadro 4.

CUADRO 4

Fórmula para calcular $B_x$ a los niveles $X$ (dB)				
-20	-30	-40	-50	-60
$3 \sqrt{m} \cdot B$	$4,1 \sqrt{m} \cdot B$	$5,8 \sqrt{m} \cdot B$	$8,1 \sqrt{m} \cdot B$	$11 \sqrt{m} \cdot B$

$m$ : índice de modulación

$B$ : velocidad de modulación.

Para cada punto de la curva de limitación del espectro, la abscisa es la anchura de banda relativa  $\pm B_x/2 B$  y la ordenada es el nivel relativo,  $X$ . El nivel de referencia 0 dB es el de la portadora sin modular.

## 3.8 Emisiones con modulación de frecuencia para la radiodifusión sonora

### 3.8.1 Clase de emisión F3E (radiodifusión sonora monofónica)

#### 3.8.1.1 Anchura de banda necesaria

La anchura de banda necesaria puede calcularse mediante la fórmula que figura en la Recomendación UIT-R SM.1138:

$$B_n = 2M + 2DK \quad (10)$$

donde:

$B_n$ : anchura de banda necesaria

$M$ : frecuencia de modulación máxima

$D$ : desviación máxima con respecto a la portadora RF

$K$ : factor igual a 1 si se cumple la condición  $D \gg M$ .

#### 3.8.1.2 Espectro fuera de banda de las emisiones de clase F3E moduladas por ruido

La curva que representa el espectro fuera de banda debe encontrarse por debajo de los puntos con las coordenadas indicadas en el Cuadro 5.

CUADRO 5

Fórmula para calcular $B_x$ a los niveles $X$ (dB)					Modulación efectiva índice $m'$
-20	-30	-40	-50	-60	
$6 m' M$	$(6,7 m' + 2) M$	$(7,8 m' + 3) M$	$(8,4 m' + 4,4) M$	$(9 m' + 6) M$	$0,5 \pm m' \leq 1,3$
$6 m' M$	$(7 m' + 2) M$	$(7,8 m' + 4) M$	$(8,4 m' + 6) M$	$(8,8 m' + 8) M$	$m' > 1,3$

$m' = D/pM$ : índice de modulación efectiva

$D$ : desviación de cresta de la frecuencia

$p$ : factor de cresta

$M$ : máxima frecuencia de modulación.

Para cada punto de la curva de limitación del espectro, la abscisa es la anchura de banda relativa  $\pm B_x/2 M$  y la ordenada es el nivel relativo  $X$ . El nivel de referencia 0 dB es el de la densidad de potencia espectral máxima dentro de una banda lateral.

### 3.8.2 Clases de emisión F8E y F9E (radiodifusión sonora estereofónica)

#### 3.8.2.1 Anchura de banda necesaria

Dado que, por lo general, la condición  $D \gg M$  no se cumple, y dado que no se dispone todavía de información suficiente para determinar el factor  $K$ , la fórmula del § 3.8.1.1 puede servir de guía.

Los resultados de las mediciones han evidenciado que las anchuras de banda RF de las emisiones estereofónicas de radiodifusión sonora de modulación de frecuencia (MF) son sin duda menores de lo que cabría esperar utilizando en la fórmula un factor  $K = 1$ .

No se dispone de información suficiente para elaborar una fórmula fiable y, por razones de simplificación y de uniformidad internacional, es deseable que las mediciones de determinación de la anchura de banda necesaria se hagan con la menor periodicidad posible.

Por ahora, la anchura de banda necesaria para las emisiones F8E y F9E debe determinarse mediante mediciones, teniendo en cuenta que deben especificarse las normas de transmisión y de calidad.

### 3.9 Emisiones multicanal con modulación de frecuencia empleando multiplexión por división de frecuencia

La señal de salida de un transmisor multicanal de modulación de frecuencia con multiplexión por división de frecuencia puede simularse con una señal modulada en frecuencia por un ruido blanco. Esta simulación se aplica igualmente a la señal de un transmisor con un número limitado de canales si se emplea un dispositivo de secreto por división de banda en cada uno de los canales.

Es difícil, sin embargo, hacer un análisis teórico del espectro de una señal modulada en frecuencia por un ruido blanco, a menos que la excursión de frecuencia sea muy grande o muy pequeña, comparada con la frecuencia máxima del ruido blanco de banda limitada.

Sin embargo, las emisiones con índices de modulación comprendidos entre los límites indicados son importantes para la explotación de sistemas reales de comunicación.

#### 3.9.1 Anchura de banda necesaria

Véase el § 1 (Emisiones multicanal MDF-MF) de la Recomendación UIT-R SM.853 (Anchura de banda necesaria).

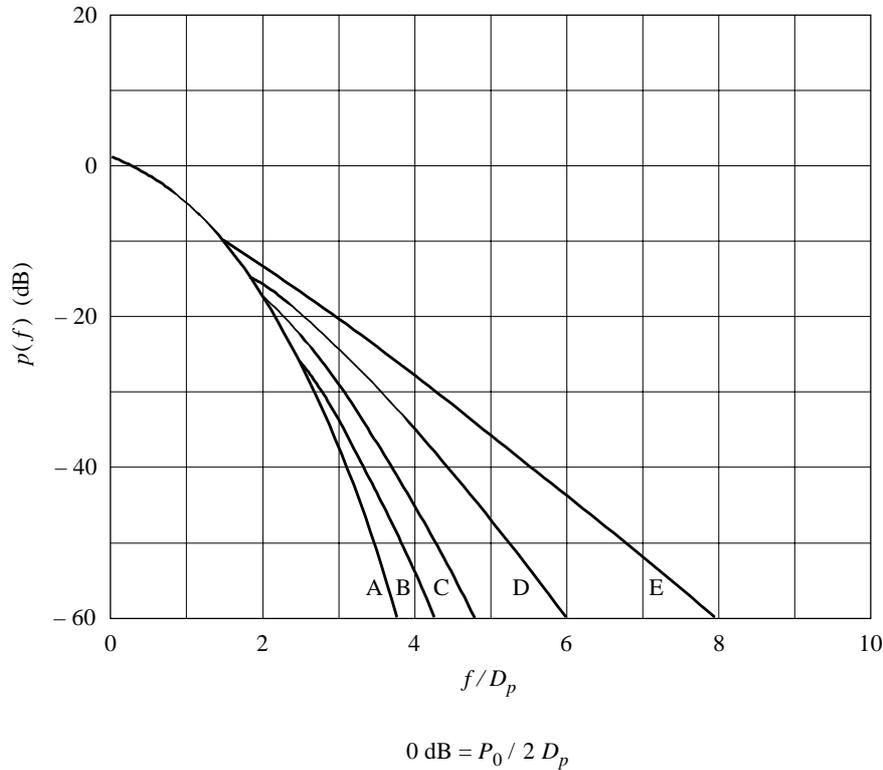
#### 3.9.2 Forma de la envolvente del espectro

Para valores más elevados de la excursión de frecuencia, la envolvente del espectro puede obtenerse mediante la siguiente ecuación:

$$p(f) = \frac{2}{\sqrt{2}} (P_0 / 2 D_p) e^{-(f/D_p)^2} \tag{11}$$

Se han efectuado mediciones para hallar una ecuación empírica aplicable a valores medianos de excursión de frecuencia. La ecuación empírica puede considerarse una ampliación de la ecuación (11). Las curvas obtenidas con la ecuación empírica se reproducen en la Fig. 8.

FIGURA 8  
Distribución espectral de potencia para  $D_p/M > 0,5$



- Curvas A:  $D_p / M > 2,5$   
 B:  $D_p / M = 1,8$   
 C:  $D_p / M = 1,0$   
 D:  $D_p / M = 0,7$   
 E:  $D_p / M = 0,5$

Los siguientes símbolos se utilizan en las Figs. 8 a 12:

- $M$ : frecuencia máxima del ruido blanco de banda limitada  
 $D_0$ : valor eficaz de la excursión de frecuencia, es decir, valor eficaz de la diferencia entre la frecuencia instantánea y su media aritmética  
 $D_p = D_0 \sqrt{2}$ : es decir, excursión máxima de frecuencia, cuando la señal moduladora de ruido blanco se sustituye por una señal sinusoidal de igual potencia  
 $f$ : separación de frecuencia con relación al centro del espectro  
 $P_0$ : potencia total de la emisión  
 $P'$ : potencia fuera de las frecuencias  $-f$  y  $+f$  del espectro, es decir, potencia fuera de banda  
 $\beta$ : proporción de potencia fuera de banda,  $P'/P_0$ , como se menciona en el § 1.12  
 $p(f)$ : densidad de potencia del espectro a la frecuencia  $f$

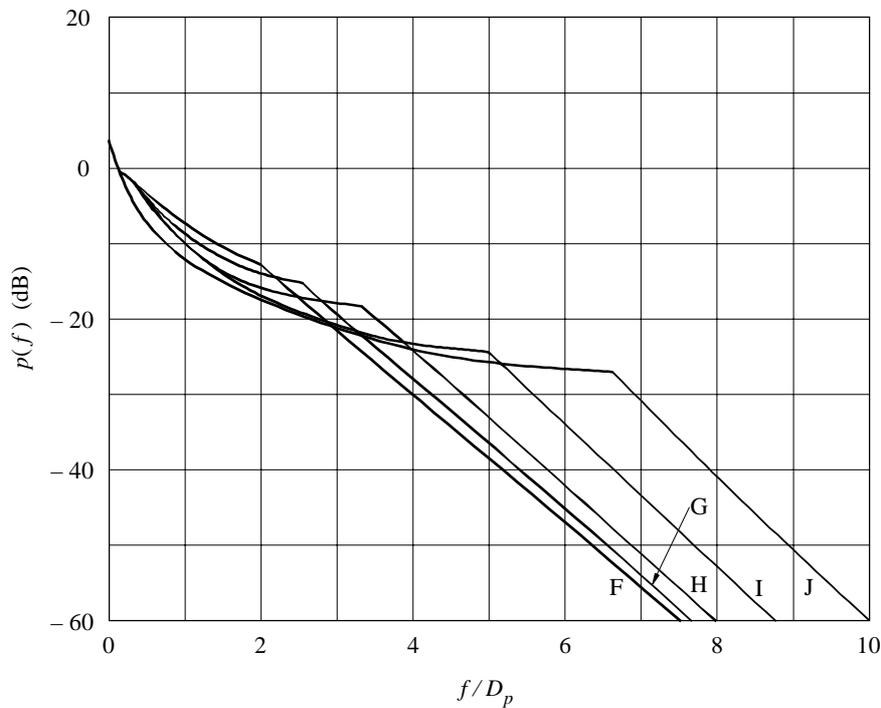
Para valores pequeños de excursión de frecuencia, la distribución de la densidad de potencia puede calcularse mediante la ecuación (12):

$$p(f) = \frac{1}{2} (P_0 / 2 D_p) (D_p / M) \left[ \frac{1}{(\pi^2 / 16) (D_p / M)^2 + (f / D_p)^2} \right] \quad (12)$$

Sin embargo, la ecuación (12) sólo es válida para la parte del espectro comprendida entre los límites de frecuencia definidos por más y menos la frecuencia máxima de la señal de ruido.

Las mediciones efectuadas han demostrado que el espectro situado fuera de estos límites decae casi linealmente. Por tanto, se determinaron las pendientes del espectro, que sirvieron para completar las curvas de la distribución espectral (véase la Fig. 9).

FIGURA 9  
Distribución espectral de potencia para  $D_p / M < 0,5$



- Curvas F:  $D_p / M = 0,5$
- G:  $D_p / M = 0,4$
- H:  $D_p / M = 0,3$
- I:  $D_p / M = 0,2$
- J:  $D_p / M = 0,15$

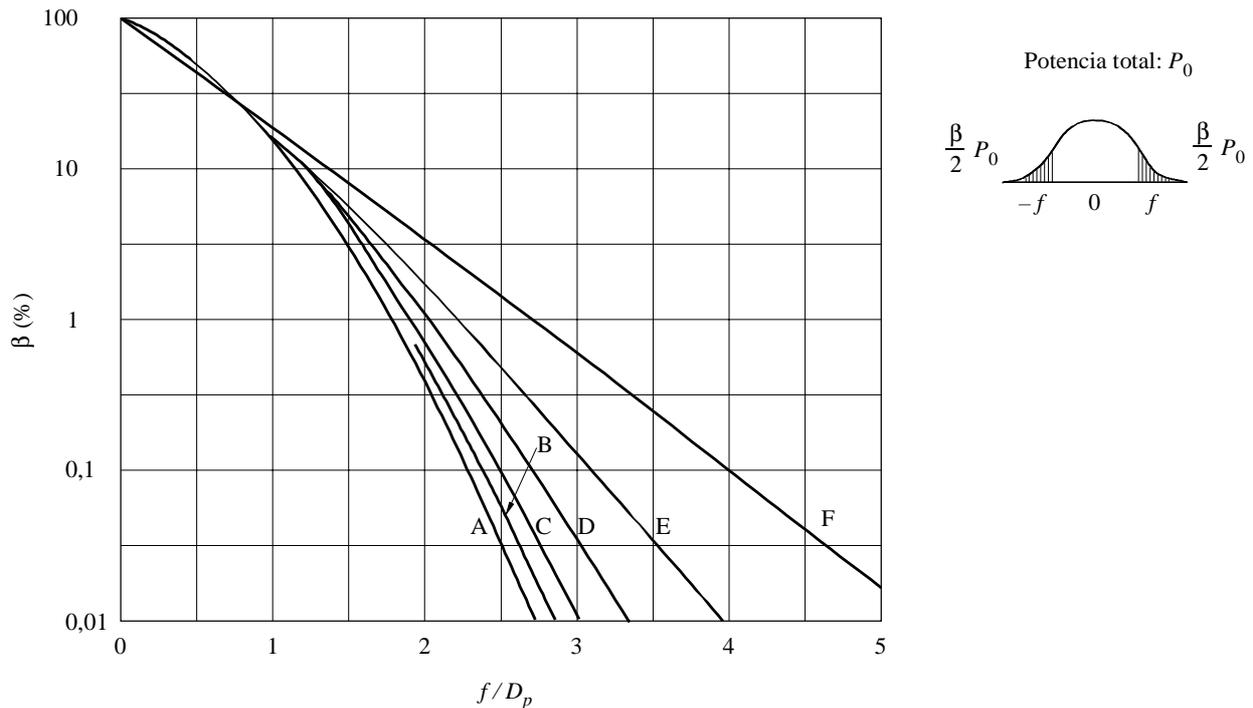
0328-09

Debe señalarse, sin embargo, que estas pendientes tienen un límite. Debido al ruido generado dentro del transmisor, el espectro tiene un límite inferior, cuyo nivel depende del tipo de etapa de salida RF.

### 3.9.3 Potencia fuera de banda y anchura de banda

En la Fig. 10 se muestran curvas de la potencia fuera de banda de emisiones con valores medianos de excursión de frecuencia. Dichas curvas se han obtenido de la ecuación empírica mencionada en el primer párrafo del § 3.9.2.

FIGURA 10  
Potencia fuera de banda del espectro para  $D_p/M > 0,5$



- Curvas A:  $D_p/M > 2,5$   
 B:  $D_p/M = 1,8$   
 C:  $D_p/M = 1,4$   
 D:  $D_p/M = 1,2$   
 E:  $D_p/M = 0,7$   
 F:  $D_p/M = 0,5$

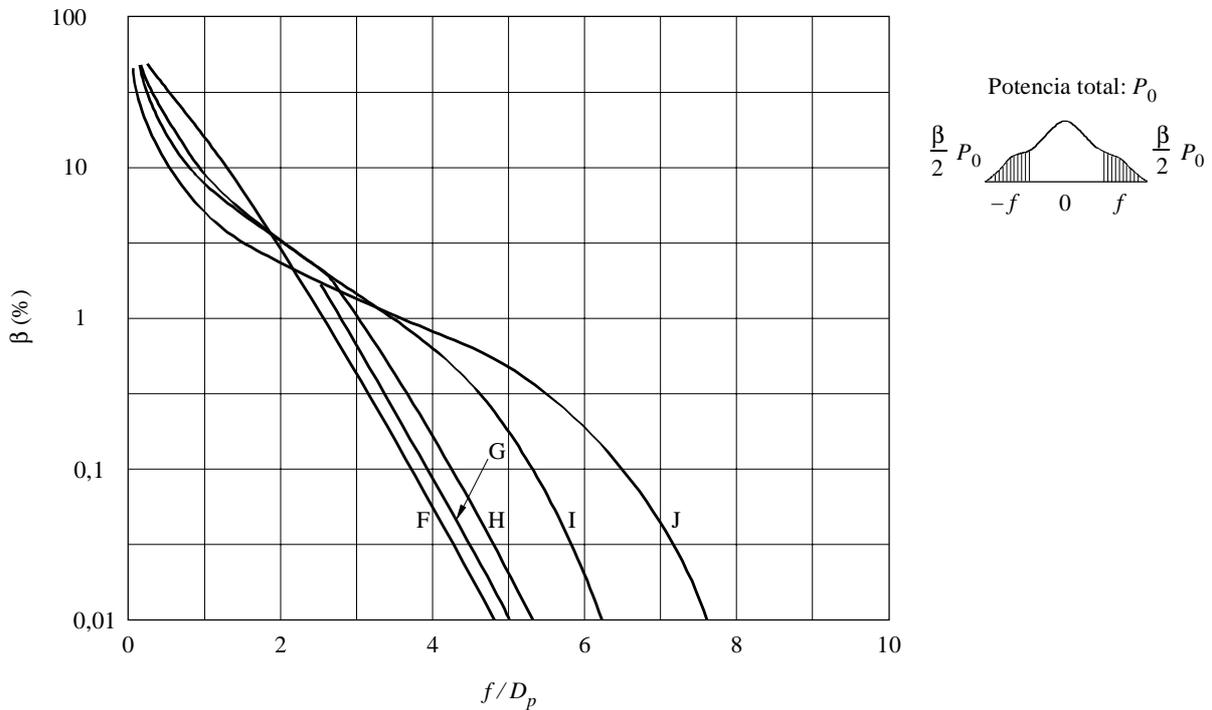
0328-10

En la Fig. 11 se reproducen las curvas de las emisiones cuya excursión de frecuencia es pequeña. Estas curvas se han obtenido de la Fig. 9 por integración gráfica.

La Fig. 12 obtenida de las Figs. 10 y 11, muestra la anchura de banda normalizada para diferentes valores de radiación fuera de banda. Las irregularidades que se observan a proximidad de los puntos  $D_p/M = 0,5$  pueden atribuirse al hecho de que las Figs. 8 y 9 se dedujeron por diferentes métodos, comenzando por los dos casos extremos del índice de modulación.

Se han llevado a esta Fig. 12 los datos experimentales, lo que ha demostrado claramente la validez de las Figs. 8 a 12.

FIGURA 11  
Potencia fuera de banda del espectro para  $D_p/M < 0,5$



- Curvas F:  $D_p/M = 0,5$
- G:  $D_p/M = 0,4$
- H:  $D_p/M = 0,3$
- I:  $D_p/M = 0,2$
- J:  $D_p/M = 0,15$

0328-11

### 3.10 Emisiones con modulación de amplitud de banda lateral única y de banda lateral independiente para telefonía y telegrafía armónica multicanal

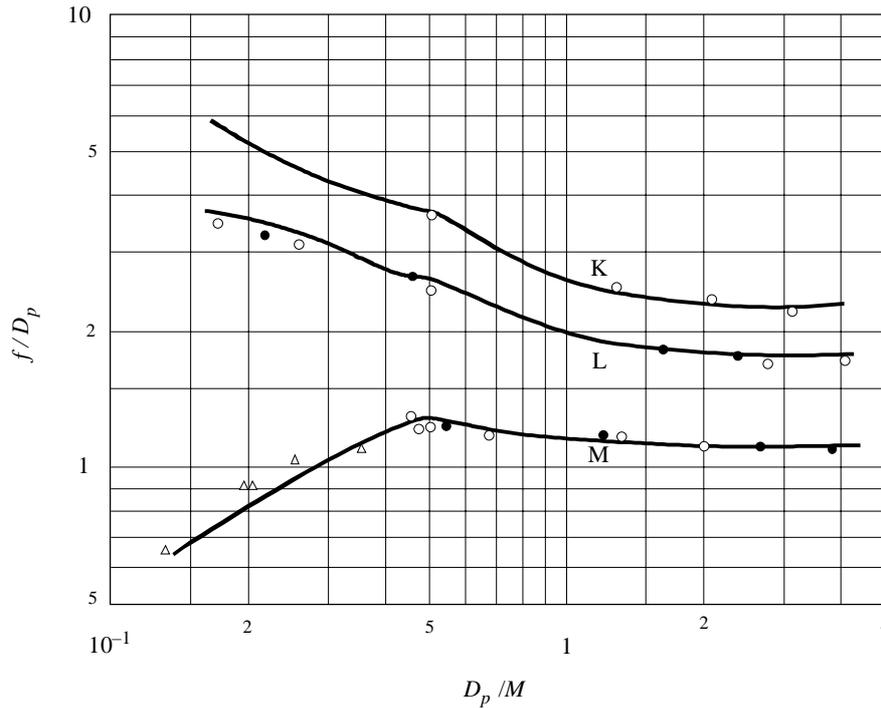
#### 3.10.1 Introducción

La anchura de banda ocupada y la radiación fuera de banda de las emisiones de señales analógicas con modulación de amplitud dependen, en grado variable, de varios factores, que son:

- el tipo de señal moduladora;
- el nivel de la señal de entrada que determina el espectro de modulación del transmisor;
- la banda de paso que está determinada por filtros utilizados en las etapas de audiofrecuencia, así como en las etapas intermedias y final de modulación del transmisor;
- el nivel de las componentes de distorsión por armónicos y productos de intermodulación radiados en frecuencias del espectro fuera de banda.

Los resultados de las mediciones dependen también de la banda de paso del dispositivo selectivo de medida empleado y de sus características dinámicas, tales como el tiempo de integración del instrumento o de otros aparatos cualesquiera utilizados junto con el dispositivo de medición selectivo.

FIGURA 12  
**Anchura de banda, en función de  $D_p$ , para porcentajes específicos de la potencia fuera de banda**



Curvas K:  $\beta = 0,1\%$   
 L:  $\beta = 1\%$   
 M:  $\beta = 10\%$   
 ● ○ △ Valores medidos

0328-12

### 3.10.2 Forma de la envolvente espectral para emisiones de clase J3E y J7B moduladas con ruido blanco

Este punto trata de los resultados de las mediciones realizadas por varias administraciones sobre transmisores de diferentes diseños para emisiones de clase J3E y J7B.

El Cuadro 6 sintetiza las principales características de los transmisores y las condiciones en que se realizaron las mediciones.

CUADRO 6

**Características de los transmisores y condiciones en que se realizaron las mediciones para emisiones J3E y J7B**

Punto N.º	1	2	3	4	5
Clase de emisión	J3E	J3E	J3E	J3E; J7B	J3E
<i>Características del transmisor:</i> – potencia en la cresta de la envolvente, $P_p$ (dos tonos) <sup>(1)</sup> (kW) – distorsión de intermodulación de tercer orden $\alpha_3$ <sup>(1)</sup> (dB)	Diferentes valores	0,150	Varios transmisores 2,5-30		Varios transmisores Varios kW a algunas decenas de kW
<i>Tipo de señal moduladora:</i> – anchura de banda	Diferentes valores	Aproximadamente -40	Diferentes valores	Ruido blanco Ruido ponderado	Ruido blanco
<i>Nivel de la señal de entrada</i> <sup>(1)</sup> ajustado a un valor tal que: – a la entrada, $P_m$ (ruido) = – a la salida, $P_m$ (ruido) = – a la salida, $P_p$ (ruido) =	$P_m$ (dos tonos)	Limitado sólo por $B_p$ <sup>(2)</sup>  $P_p$ (dos tonos)	$P_m$ (dos tonos)	0,25 $P_p$ (dos tonos)	
<i>Tipo de dispositivo de medida:</i> – banda de paso (Hz)		Analizador de espectro 300	Analizador de espectro		Analizador de espectro $\leq 0,05 F$ <sup>(2)</sup>
Forma del espectro	Véase la Fig. 14				Véase el § 3.10.2.5

(1) En todas las pruebas el transmisor es primero modulado con dos señales sinusoidales de igual amplitud. A continuación se determinan la potencia en la cresta de la envolvente,  $P_p$  (dos tonos), y el nivel de distorsión por intermodulación de tercer orden,  $\alpha_3$ , de acuerdo con los métodos expuestos en la Recomendación UIT-R SM.326. Por último, las dos señales sinusoidales se reemplazan por ruido, cuyo nivel se ajusta de manera que se obtengan las condiciones mencionadas en «nivel de la señal de entrada», donde  $P_m$  indica la potencia media y  $P_p$  la potencia en la cresta de la envolvente.

(2)  $B_p$  es la banda de paso de los filtros del transmisor, y  $F$  es la anchura de banda necesaria.

Los resultados de las mediciones pueden resumirse como sigue:

**3.10.2.1 Respetto a las pruebas descritas en el punto 1 del Cuadro 6**

Suponiendo que el transmisor funciona en las condiciones indicadas en el punto 1 del Cuadro 6, y suponiendo asimismo que la radiación fuera de banda es causada principalmente por la intermodulación que se produce en las etapas de radiofrecuencia posteriores al modulador final, se puede deducir:

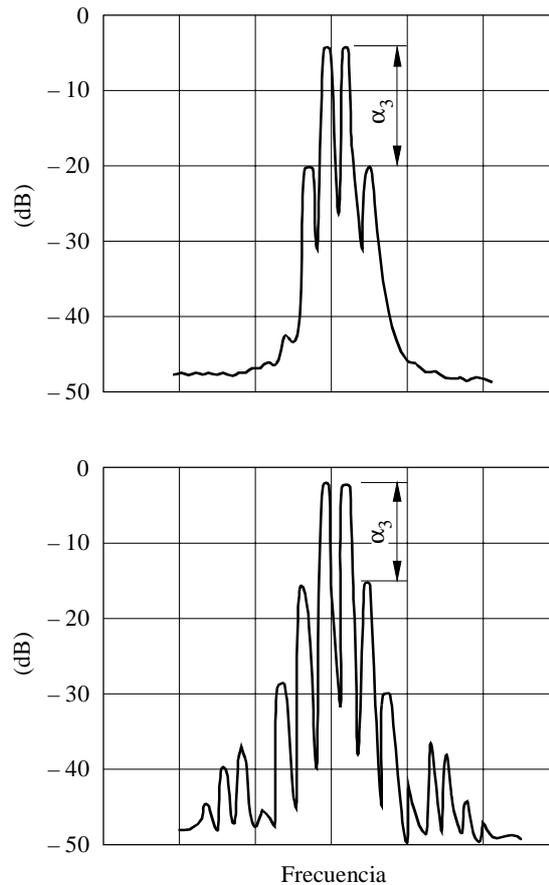
- la parte central del espectro de radiofrecuencia presenta fundamentalmente una forma rectangular y se superpone a una curva que indica la radiación fuera de banda, que es simétrica respecto a la frecuencia central (véase la Fig. 14);
- la diferencia  $\alpha_N$  entre el nivel de la parte plana de la parte superior del espectro y aquel en el que comienza la radiación fuera de banda, es generalmente igual al nivel de la distorsión de intermodulación de tercer orden  $\alpha_3$  (véase la Fig. 15);
- la pendiente (dB(Hz)) de la curva que representa la radiación fuera de banda, es inversamente proporcional a la anchura de banda  $B$  de la señal de ruido a la entrada;

- la pendiente es constante, por lo menos, en las proximidades de los límites de la anchura de banda y tiene un valor comprendido entre 10 dB y 20 dB por la anchura de banda  $B$  según la naturaleza de la distorsión (véase la Fig. 16);
- la anchura de banda ocupada por la emisión es igual a la anchura del espectro principal, a condición de que  $\alpha_3$  sea por lo menos 20 dB.

Las conclusiones precedentes se consideran también válidas en los casos en que la señal de modulación es comparable a un ruido blanco, como en los casos de emisiones de radiotelefonía que utilizan un dispositivo para lograr la privacidad por división de banda o en el de emisiones de radiotelegrafía armónica multicanal.

FIGURA 13

**Envolvente del espectro de la emisión de clase J3E  
modulada por dos tonos sinusoidales**



$\alpha_3$ : Nivel de intermodulación de 3<sup>er</sup> orden

0328-13

### 3.10.2.2 Respecto a las pruebas descritas en el punto 2 del Cuadro 6

Los resultados, especialmente en lo relativo al nivel en que comienza la radiación fuera de banda propiamente dicha, son sensiblemente los mismos que se obtienen con las mediciones descritas en el punto 1 del Cuadro 6 y en el punto 1 del Cuadro 7.

### 3.10.2.3 Respecto a las pruebas descritas en el punto 3 del Cuadro 6

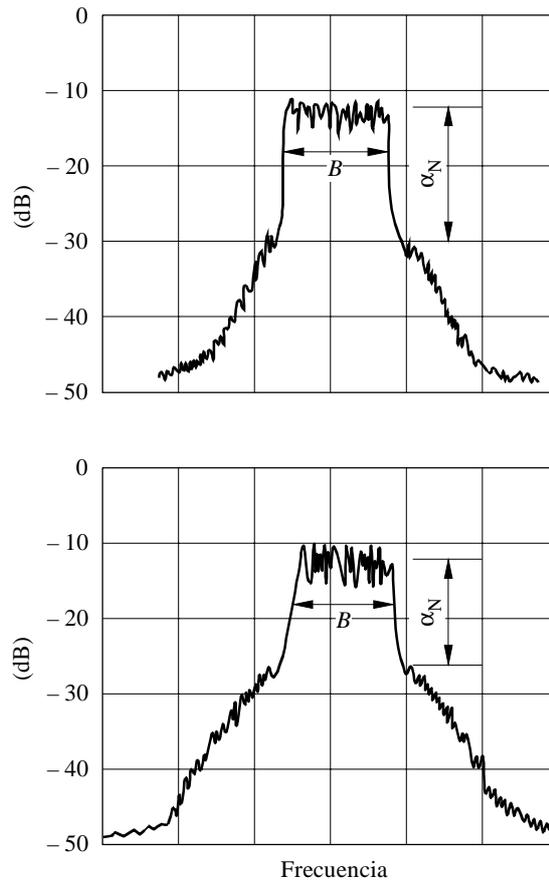
Los transmisores empleados en estas pruebas, aunque de diseño y potencias diferentes, utilizaban triodos en la etapa final: estos transmisores podían ser excitados hasta la aparición de una corriente de rejilla.

En una primera serie de pruebas, los transmisores se cargaron considerablemente, a fin de determinar la posible influencia de la corriente de rejilla. En estas condiciones, el nivel de la distorsión de intermodulación de tercer orden,  $\alpha_3$ , fue bastante pobre y se comprobó una marcada diferencia entre el valor de  $\alpha_3$  y el nivel  $\alpha_N$  del espectro de potencia al cual comienza la radiación fuera de banda.

En el curso de una segunda serie de pruebas, se determinaron  $\alpha_N$  y  $\alpha_3$  en función del nivel de modulación a la entrada. Cuando los valores de este nivel eran bajos se cumplía bastante bien la relación  $\alpha_3 = \alpha_N$ .

Por otra parte, se ha observado que en las condiciones de modulación mencionadas en el punto 3 del Cuadro 6 la potencia media de la señal de radiofrecuencia modulada por el ruido era 1 dB superior aproximadamente a la potencia media de la señal de radiofrecuencia modulada por dos señales sinusoidales. Debido a ello, la potencia en la cresta de la envolvente se excedió durante un porcentaje notable del tiempo. Esta condición no corresponde a las prácticas generalmente adoptadas en explotación, y las experiencias ulteriores parecen indicar que puede ser necesario ajustar el nivel de la señal de ruido a un valor 2 dB a 3 dB inferior al utilizado durante las pruebas que acaban de describirse.

FIGURA 14  
**Envolvente del espectro de la emisión de clase J3E  
 modulada por ruido blanco**



$\alpha_N$ : Véase el texto  
 B: Anchura de banda de la señal de ruido

0328-14

**3.10.2.4 Respecto a las pruebas descritas en el punto 4 del Cuadro 6**

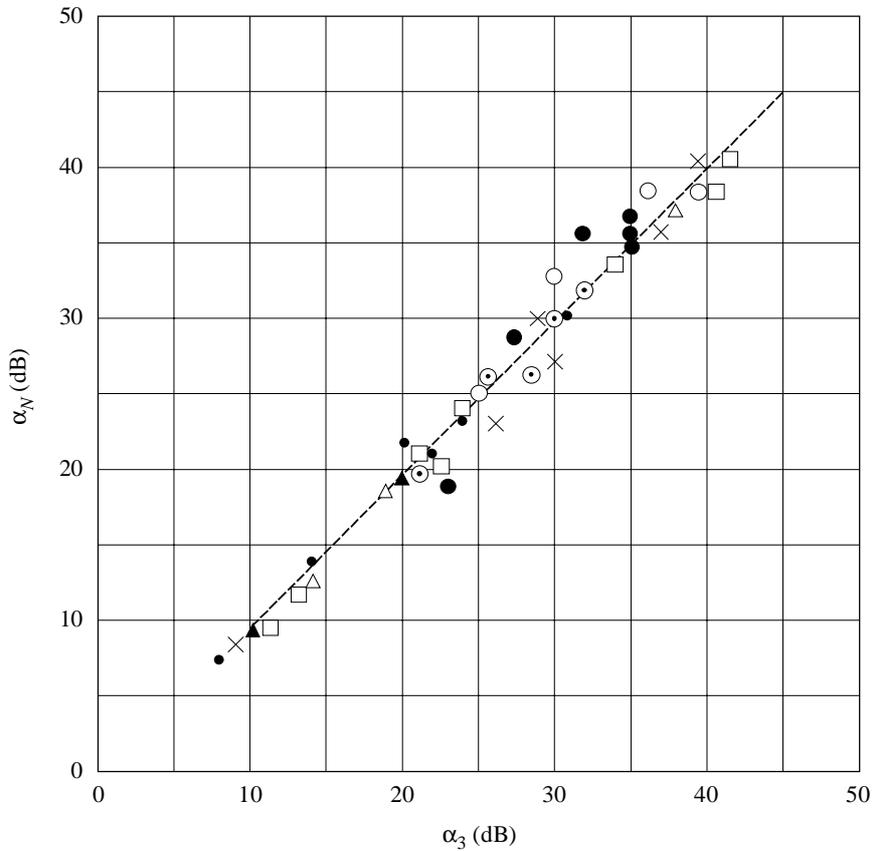
El ajuste del nivel de la señal de entrada mencionado en el punto 4 del Cuadro 6 se aplica a los transmisores tanto de la clase J3E como J7B. Para este caso, se satisface la siguiente relación con respecto a la potencia de la señal de radiofrecuencia:

$$P_m \text{ (ruido)} = 0,5 P_m \text{ (dos tonos)} = 0,25 P_p \text{ (dos tonos)} \tag{13}$$

En estas condiciones, la envolvente de la señal modulada por el ruido no excederá el nivel correspondiente al valor nominal de la potencia durante más del 2% del tiempo aproximadamente.

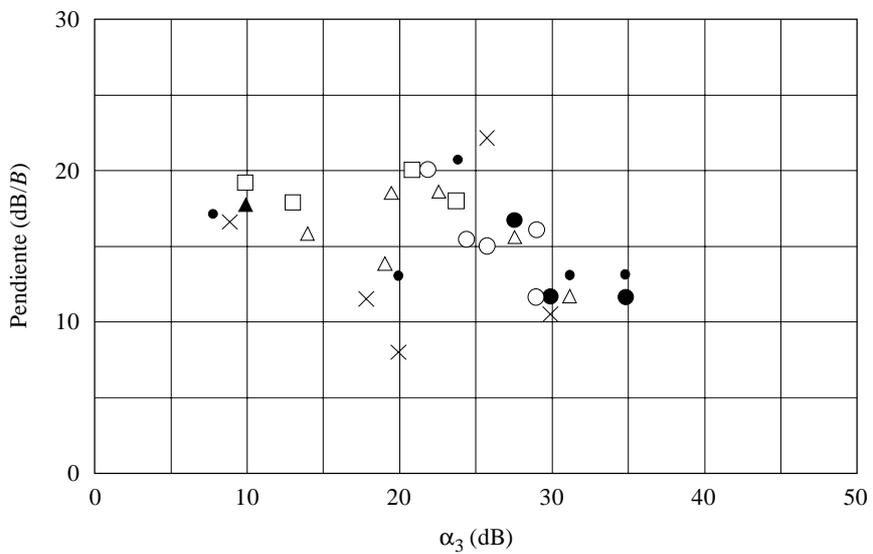
Si se emplea una señal de ruido ponderado con un transmisor de clase J3E, se puede utilizar el mismo ajuste.

FIGURA 15  
 Valor de  $\alpha_N$  de la Fig. 14 para diferentes valores de  $\alpha_3$



0328-15

FIGURA 16  
 Valor de la pendiente en la proximidad de la anchura de banda para diferentes valores de  $\alpha_3$



0328-16

**3.10.2.5 Respetto a las pruebas descritas en el punto 5 del Cuadro 6**

Si se representa la frecuencia en abscisas en unidades logarítmicas, entonces la frecuencia de referencia coincide con el centro de la anchura de banda necesaria,  $F$ , y si las densidades de potencia se representan en ordenadas (dB), las curvas que representan el espectro fuera de banda producido por varios transmisores con potencias diferentes y con clase de emisión J3E, están por debajo de dos líneas rectas, que comienzan en  $(+0,5 F, 0 \text{ dB})$  o en  $(-0,5 F, 0 \text{ dB})$ , y terminan en  $(+0,6 F, -30 \text{ dB})$  o en  $(-0,6 F, -30 \text{ dB})$ , respectivamente. Más allá de estos últimos puntos y por debajo del nivel de  $-60 \text{ dB}$ , las curvas están por debajo de dos líneas rectas, que empiezan en el último punto y tienen una pendiente de  $12 \text{ dB/octava}$ .

**3.10.3 Forma de la envolvente del espectro para emisiones de clase B8E y R7J moduladas con ruido blanco**

En este punto se consideran los resultados de las mediciones hechas por diversas administraciones sobre transmisores de diseños diferentes para las emisiones de clase B8E y R7J.

Las principales características de los transmisores así como las condiciones de prueba de las mediciones, se sintetizan en el Cuadro 7.

CUADRO 7  
**Características de los transmisores y condiciones en que se realizaron las mediciones para emisiones B8E y R7J**

Punto N.º	1	2	3
Clase de emisión	B8E	B8E	B8E; R7J
<i>Características del transmisor:</i> – potencia en la cresta de la envolvente $P_p$ (dos tonos) <sup>(1)</sup> (kW) – distorsión de intermodulación de tercer orden $\alpha_3$ <sup>(1)</sup> (dB) – número de canales activos durante la medida – anchura de banda del canal de conversación (Hz) – atenuación de portadora con relación a la potencia en la cresta de la envolvente (dB)	20  $\leq -35$  2, en la banda lateral inferior  3 000  -50	Varios transmisores Desde varios kW hasta algunas decenas de kW    2 y 4	Varios transmisores Valores diferentes
<i>Tipo de señal moduladora:</i> – anchura de banda	Ruido blanco 30 Hz a 20 kHz $\pm 1 \text{ dB}$	Ruido blanco	Ruido blanco de 100 Hz a 6 kHz por banda lateral
<i>Nivel de la señal de entrada</i> <sup>(1)</sup> ajustado a un valor tal que: – a la entrada, $P_m$ (ruido) =	0,25 $P_p$ (dos tonos)		0,25 $P_p$ (dos tonos)
<i>Tipo de dispositivo de medida:</i> – banda de paso (Hz)	Dispositivo de medida selectiva del valor eficaz verdadero Curvas C: 3 800 D: 100	Analizador de espectro  $\leq 0,05 F$ <sup>(2)</sup>	Analizador de espectro
Forma del espectro	Véase la Fig. 17	Véase el § 3.10.3.2	

<sup>(1)</sup> En todas las pruebas el transmisor es primero modulado con dos señales sinusoidales de igual amplitud. A continuación se determinan la potencia en la cresta de la envolvente,  $P_p$  (dos tonos), y el nivel de distorsión por intermodulación de tercer orden,  $\alpha_3$ , de acuerdo con los métodos expuestos en la Recomendación UIT-R SM.326. Por último, las dos señales sinusoidales se reemplazan por ruido, cuyo nivel se ajusta de manera que se obtengan las condiciones mencionadas en «nivel de la señal de entrada», donde  $P_m$  indica la potencia media y  $P_p$  la potencia en la cresta de la envolvente.

<sup>(2)</sup>  $B_p$  es la banda de paso de los filtros del transmisor, y  $F$  es la anchura de banda necesaria.

Los resultados de las mediciones pueden resumirse como sigue:

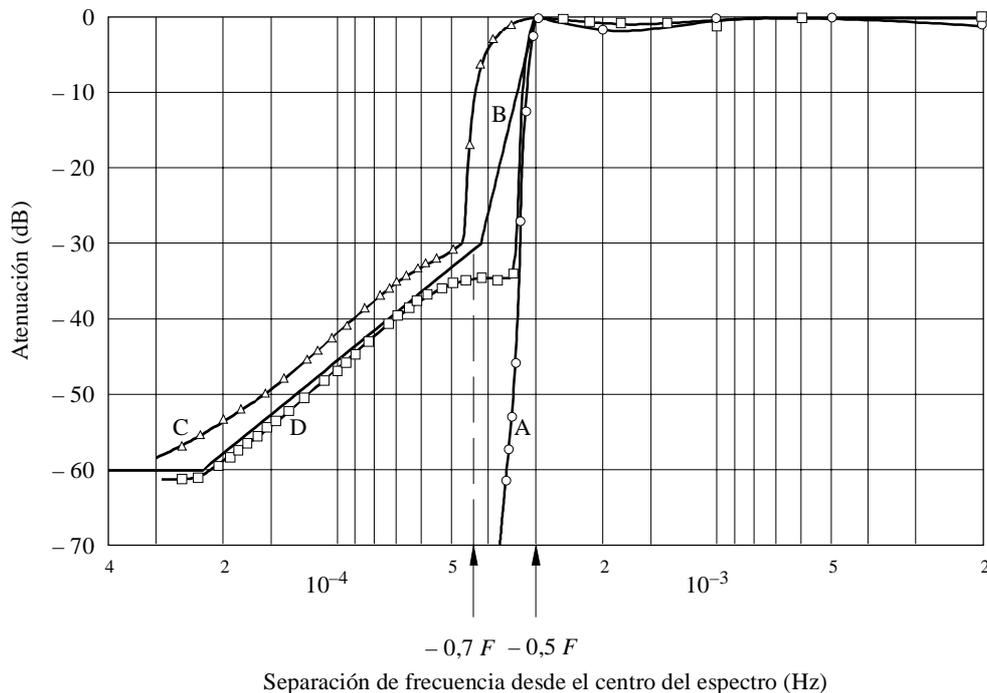
### 3.10.3.1 Respecto a las pruebas descritas en el punto 1 del Cuadro 7

Se ha utilizado únicamente la banda lateral inferior, habiéndose atenuado la banda lateral superior a  $-60$  dB, por lo menos, gracias a un filtro incorporado al transmisor. La onda portadora se atenuó a  $-50$  dB, aproximadamente (clase J3E), y la banda paso de audiofrecuencias era, aproximadamente, de 6 000 Hz.

La anchura de banda de la señal de ruido no estaba limitada más que por las características del filtro del transmisor (véase la Curva A de la Fig. 17). Conviene señalar, a este respecto, que si se quiere determinar el espectro radioeléctrico transmitido sobre un solo canal telefónico debe limitarse la anchura de banda de la señal de prueba antes de ser aplicada al transmisor ya que su anchura total es considerablemente mayor que la del canal telefónico.

FIGURA 17

#### Envolvente del espectro de densidad de potencia para una emisión de clase B8E



$F$ : Anchura de banda necesaria (6 000 Hz)

Curvas A: Características del filtro del transmisor

B: Curva límite especificada en el § 3.5.2.3

C: Medida con un analizador con una banda de paso de 3 800 Hz

D: Medida con un analizador con una banda de paso de aproximadamente 100 Hz

0328-17

Se ha efectuado una serie de mediciones con un voltímetro selectivo cuya banda de paso era de 100 Hz, aproximadamente. Para las otras series de mediciones, se utilizó un receptor con una banda de paso de 3,8 kHz y una pendiente de atenuación muy abrupta.

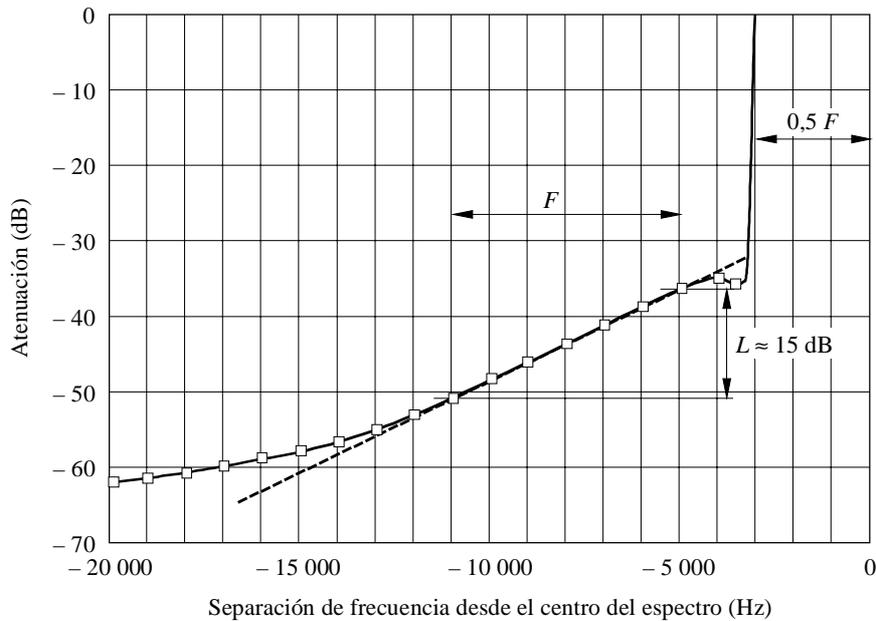
Los resultados se indican, respectivamente, por las Curvas C y D de la Fig. 17, que representan la envolvente de los espectros de la mitad inferior de la banda lateral inferior para la gama de las frecuencias radioeléctricas más bajas. Para la gama de frecuencias elevadas se han obtenido curvas semejantes a las de la Fig. 17.

Si el espectro medido con un aparato de banda estrecha se encuentra, como en el caso presente, exactamente en los límites de la Curva B, el espectro analizado con un receptor de banda ancha sobrepasa estos límites. Como los aparatos de medida de banda ancha no tienen en cuenta la estructura fina del espectro especialmente en las regiones en que su pendiente es abrupta, se recomienda utilizar para estas mediciones aparatos de banda estrecha.

Por otra parte, se puede deducir de la Fig. 17 que la radiación fuera de banda comienza a un nivel casi igual al de los productos de intermodulación de tercer orden, es decir, a  $-35$  dB. La radiación fuera de banda permanece casi constante en las proximidades inmediatas a los límites de la anchura de banda; para las frecuencias alejadas de estos límites, la curva disminuye gradualmente, al principio proporcionalmente a la frecuencia, luego alcanza al final, una pendiente de 12 dB por octava aproximadamente. En la Fig. 18 se ha utilizado una escala lineal de frecuencias en abscisas para representar mejor la envolvente del espectro descrito precedentemente.

FIGURA 18

Curva D de la Fig. 17 representada con una escala lineal de frecuencia



$L$ : Región lineal, aproximadamente igual a la anchura de banda necesaria,  $F$

0328-18

### 3.10.3.2 Respecto a la prueba descrita en el punto 2 del Cuadro 7

Si se representa la frecuencia en abscisas en unidades logarítmicas, entonces la frecuencia de referencia coincide con el centro de la anchura de banda necesaria,  $F$ , y si las densidades de potencia se representan en ordenadas (dB), las curvas que representan el espectro fuera de banda producido por varios transmisores con potencias diferentes y con una emisión de clase B8E (con dos o cuatro canales activos simultáneamente) están por debajo de dos líneas rectas, que comienzan en  $(+0,5 F, 0$  dB) o en  $(-0,5 F, 0$  dB), y terminan en  $(+0,55 F, -30$  dB) o en  $(-0,55 F, -30$  dB), respectivamente. Más allá de estos últimos puntos y por debajo del nivel de  $-60$  dB, las curvas están por debajo de dos líneas rectas, que empiezan en los últimos puntos y tienen una pendiente de 12 dB/octava.

### 3.10.3.3 Respecto a las pruebas descritas en el punto 3 del Cuadro 7

El equipo de prueba se dispuso de forma que se facilitaran las mediciones realizadas por el método de dos señales o el de ruido blanco, a fin de poder comparar ambas técnicas. Con el método de ruido blanco se filtró la señal de salida del generador de ruido blanco con objeto de limitar la anchura de banda del ruido a la anchura de banda máxima normalmente previsible en tráfico, es decir, de 100 Hz a 6 000 Hz por banda lateral. Un filtro de eliminación de banda proporcionó un intervalo en el que pudieron medirse los productos de distorsión «dentro de la banda» utilizando el filtro de 30 Hz del analizador de espectro. Al medir relaciones de distorsión próximas a 50 dB, fue necesario utilizar un filtro eliminador de banda con anchura de banda mínima igual a 500 Hz a 3 dB y factor de forma de 3,5 a 1 para 60 dB a fin de que el filtro del analizador de espectro de 30 Hz diera una definición adecuada.

La mayoría de las pruebas de carga con ruido blanco se realizaron para un nivel medio de potencia de salida de  $-6$  dB con relación al valor de la potencia en la cresta de la envolvente, que confirma la relación indicada en la ecuación (13) del § 3.10.2.4.

Las pruebas confirman y amplían las conclusiones previas y demuestran que el empleo de una señal de ruido blanco es un sustituto válido para la señal moduladora de dos tipos de transmisiones múltiples de uso común, B8E y R7E. Además, las pruebas revelan una relación experimental útil y estable entre la distorsión de intermodulación dentro de la banda y la radiación fuera de banda. Sin embargo, no se observó una clara concordancia entre las relaciones de distorsión de los productos de intermodulación con dos señales y la distorsión equivalente con un ruido blanco.

### 3.11 Clase de emisión G1B (telegrafía con modulación de fase en canal único)

#### 3.11.1 Anchura de banda necesaria

La anchura de banda necesaria puede calcularse mediante la siguiente fórmula:

$$B_n = K B$$

siendo:

$B$ : velocidad de modulación (Bd)

$K = 5$ , para radioenlaces con desvanecimiento

$K = 3$ , para radioenlaces sin desvanecimiento.

#### 3.11.2 Espectro fuera de banda

La curva que representa el espectro fuera de banda debe encontrarse por debajo de los puntos con las coordenadas indicadas en el Cuadro 8.

CUADRO 8

Fórmula para calcular $B_x$ a los niveles $X$ (dB)				
-20	-30	-40	-50	-60
$3 B$	$7 B$	$13 B$	$23 B$	$41 B$

Para cada punto de la curva de limitación del espectro, la abscisa es la frecuencia relativa  $\pm B_x/2 B$  y la ordenada es el nivel relativo  $X$ . El nivel de referencia 0 dB es el de la portadora sin modular.

## 4 Aproximación de las envolventes de los espectros fuera de banda para cálculos analíticos

En el § 3.4.2.2 del Manual de la UIT sobre Comprobación técnica del espectro (Ginebra, 1995) figuran las fórmulas para aproximar las envolventes de los espectros fuera de banda mediante funciones de potencia (líneas rectas en escala logarítmica doble, véanse los § 3.1.4, 3.4.2, 3.5.1.3, 3.5.2.3, 3.6.1.3 y 3.7.8 anteriores) y funciones exponenciales. Para convertir la pendiente de las líneas rectas a una escala logarítmica doble (función de potencia), expresada en  $N_{oct}$  (dB/octava) y  $N_{dec}$  (dB/década), debe utilizarse la siguiente ecuación:

$$N_{dec} = 3,33 N_{oct}$$

## ANEXO 1

Ejemplos de espectros ilustrativos de las definiciones de potencia fuera de banda, anchura de banda necesaria y anchura de banda entre puntos a  $x$  dB.

Abcisas: Frecuencia

Ordenadas: Potencia/Hz.

NOTA 1 – Se supone que los espectros son simétricos.

NOTA 2 – Las líneas de puntos muestran el límite para el espectro fuera de banda.

FIGURA 19  
Evaluación del espectro comparando la potencia fuera de banda y la potencia de la curva límite de banda

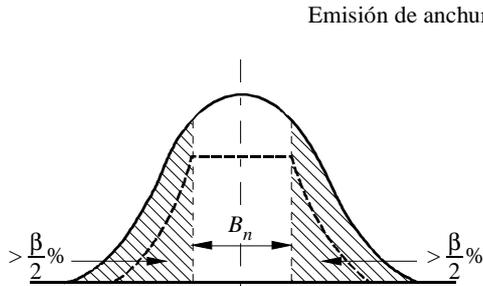
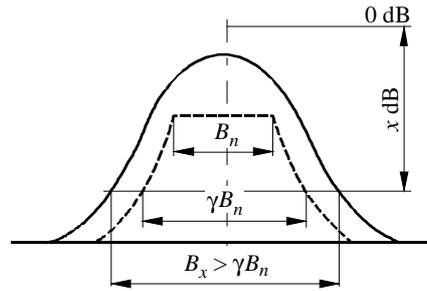
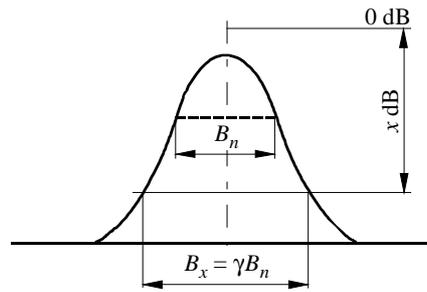
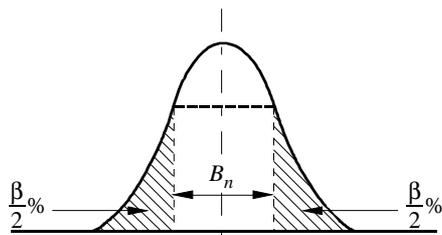


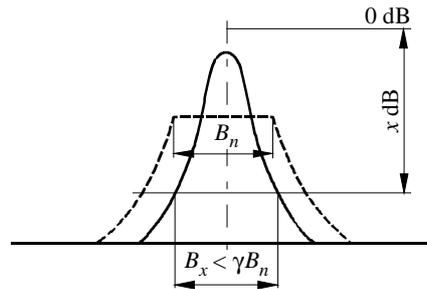
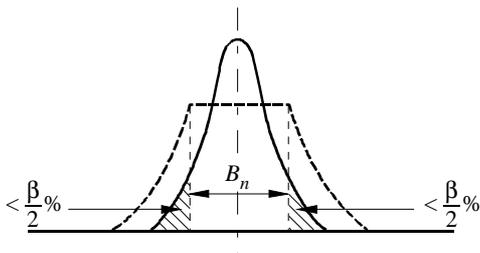
FIGURA 20  
Evaluación del espectro por medio de la anchura de banda entre puntos a x dB



Emisión correspondiente a la «óptima»



Emisión de anchura inferior a la «óptima»

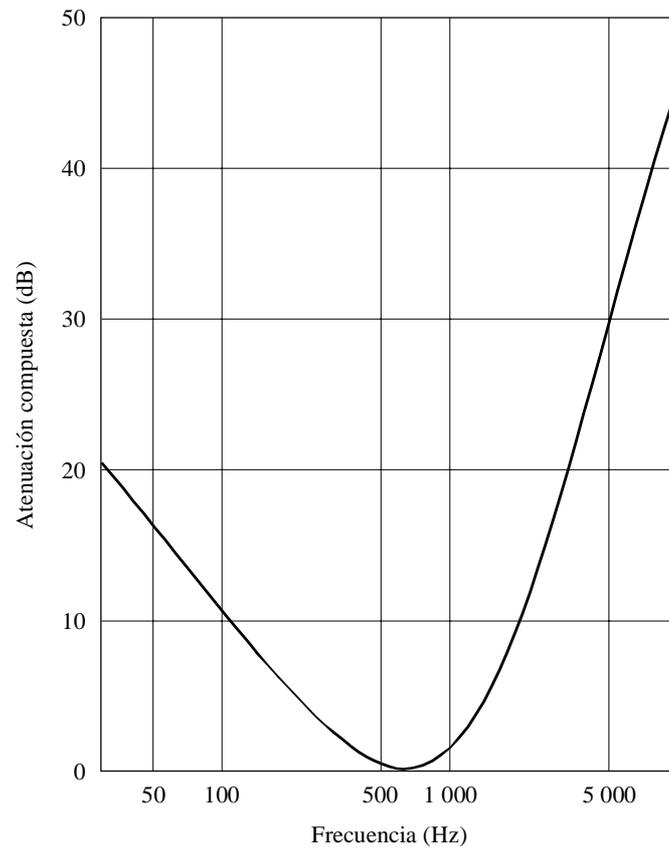


- $B_n$ : Anchura de banda necesaria
- $B_x$ : Anchura de banda entre puntos a x dB
- x: Valor del nivel de medición (dB)
- $\gamma$ : Relación requerida entre la anchura de banda entre puntos a x dB y la anchura de banda necesaria, determinada por el nivel x dB y los parámetros de la curva que limita el espectro fuera de banda
- $\frac{\beta}{2}$ : Mitad de la potencia fuera de banda admisible

## ANEXO 2

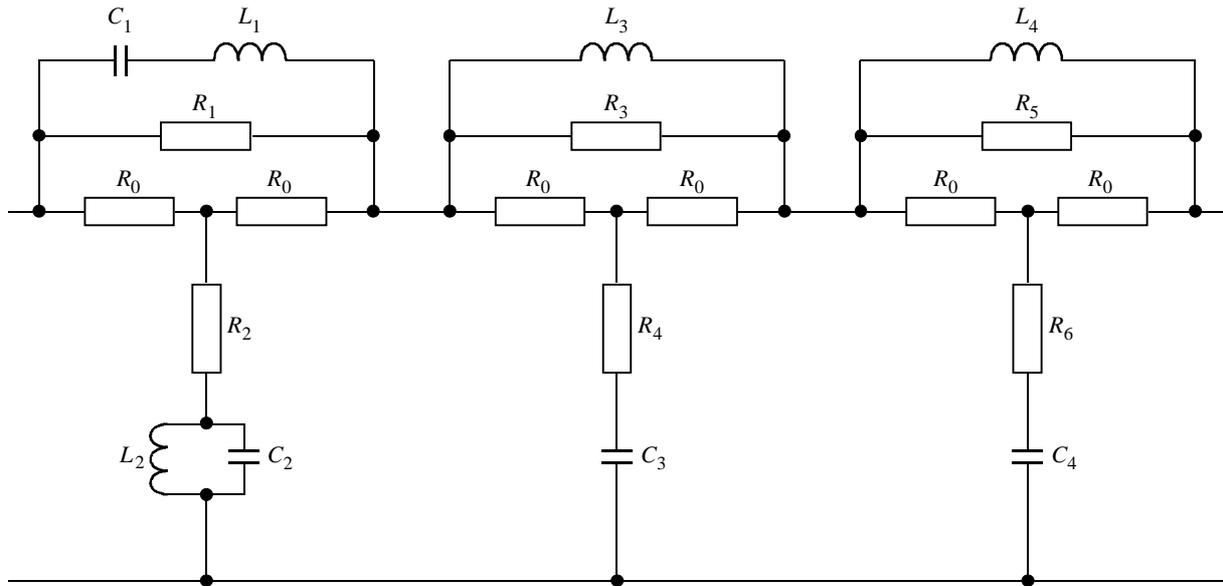
(Véase la Recomendación UIT-T G.227)

FIGURA 21

**Curva de respuesta relativa de la red ponderadora  
del generador de la señal telefónica convencional**

0328-21

FIGURA 22  
Red ponderadora del generador de la señal telefónica convencional



Sección 1

$$\frac{R_1}{R_0} = 45$$

$$\frac{R_2}{R_0} = 0,0222$$

$$\frac{R_3}{R_0} = 10$$

$$\frac{R_4}{R_0} = 0,1$$

$$\frac{R_5}{R_0} = 22$$

$$\frac{R_6}{R_0} = 0,0455$$

Sección 2

$$\frac{L_1 \omega_0}{R_0} = 0,5$$

$$\frac{L_2 \omega_0}{R_0} = 2$$

$$\frac{L_3 \omega_0}{R_0} = 0,5$$

$$\frac{L_4 \omega_0}{R_0} = 1,11$$

Sección 3

$$R_0 C_1 \omega_0 = 2$$

$$R_0 C_2 \omega_0 = 0,5$$

$$R_0 C_3 \omega_0 = 0,5$$

$$R_0 C_4 \omega_0 = 1,11$$

$$\omega_0 = 2\pi \times 10^3 \times \text{s}^{-1}$$

$R_0$ : Impedancia característica de la red  
Tolerancia de los componentes:  $\pm 1\%$

## ANEXO 3

## Extracto de la Recomendación UIT-R BS.559, § 1.3

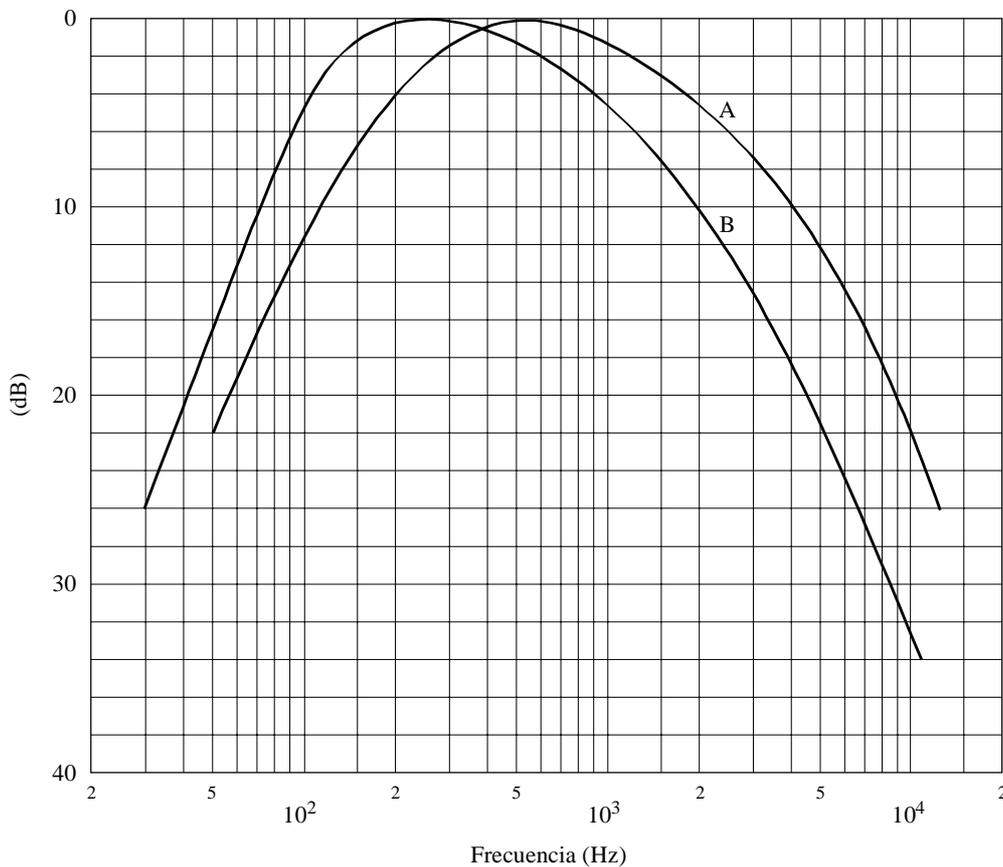
**1 Señal de ruido utilizada para la modulación de los generadores de señales**

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. 23 que se mide con filtros de un tercio de octava).

FIGURA 23



Curvas A: Espectro del ruido normalizado (medido con filtros de un tercio de octava)

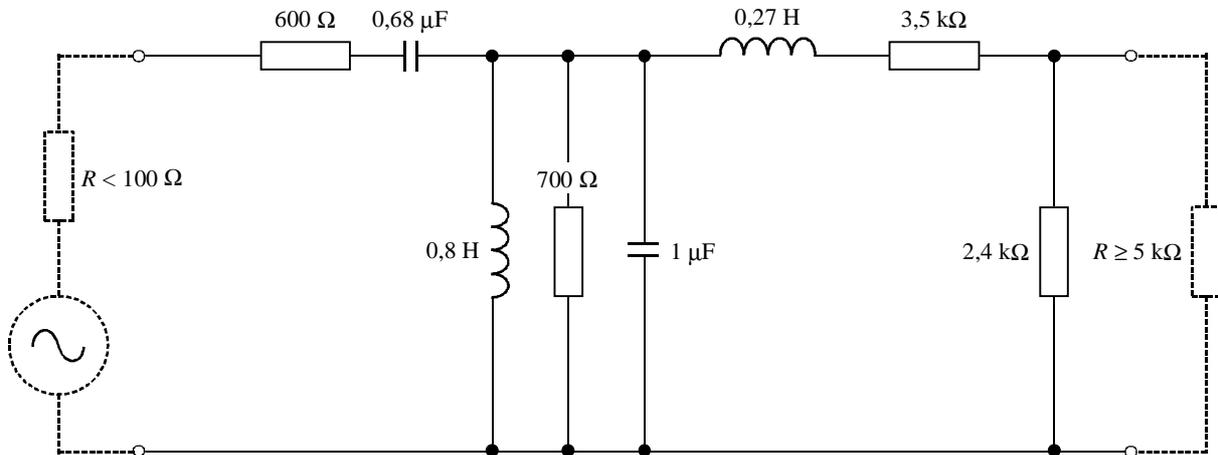
B: Respuesta en frecuencia del filtro

0328-23

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. 24. La característica de respuesta en frecuencia de este filtro se representa por la Curva B de la Fig. 23. (Conviene advertir que la diferencia entre las Curvas A y B de la Fig. 23 se debe a que la Curva A se basa en mediciones con filtros de un 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 audiodiferencia del modulador del generador de señal no debe variar en más de 2 dB hasta la frecuencia de corte del filtro paso bajo.

FIGURA 24  
Circuito de filtrado



0328-24

## ANEXO 4

### Tipos de señales moduladoras y ajuste del nivel de la señal de entrada

#### 1 Telefonía con clase de emisión A3E

Teniendo en cuenta que la distribución estadística de la amplitud del ruido es prácticamente independiente de la anchura de banda del ruido y que apenas se modifica cuando el ruido se pondera por medio de una red lineal, se estima que los procedimientos que se indican a continuación permitirían simular la condición de carga de un transmisor en condiciones de tráfico real.

El transmisor se modula primeramente mediante una señal sinusoidal con un índice de modulación del 100%. La señal sinusoidal se sustituye a continuación por una señal de ruido cuyo nivel se ajusta hasta que la tensión eficaz después de la demodulación lineal de la señal de radiofrecuencia, sea igual al 35% de la tensión eficaz producida por la señal sinusoidal.

En este ajuste que se aplica tanto a las señales moduladas por un ruido blanco como a las señales moduladas por un ruido ponderado, la envolvente de la señal modulada por el ruido no excede el nivel correspondiente al índice de modulación del 100% durante más del 0,01% del tiempo, aproximadamente, según la curva de la Fig. 25.

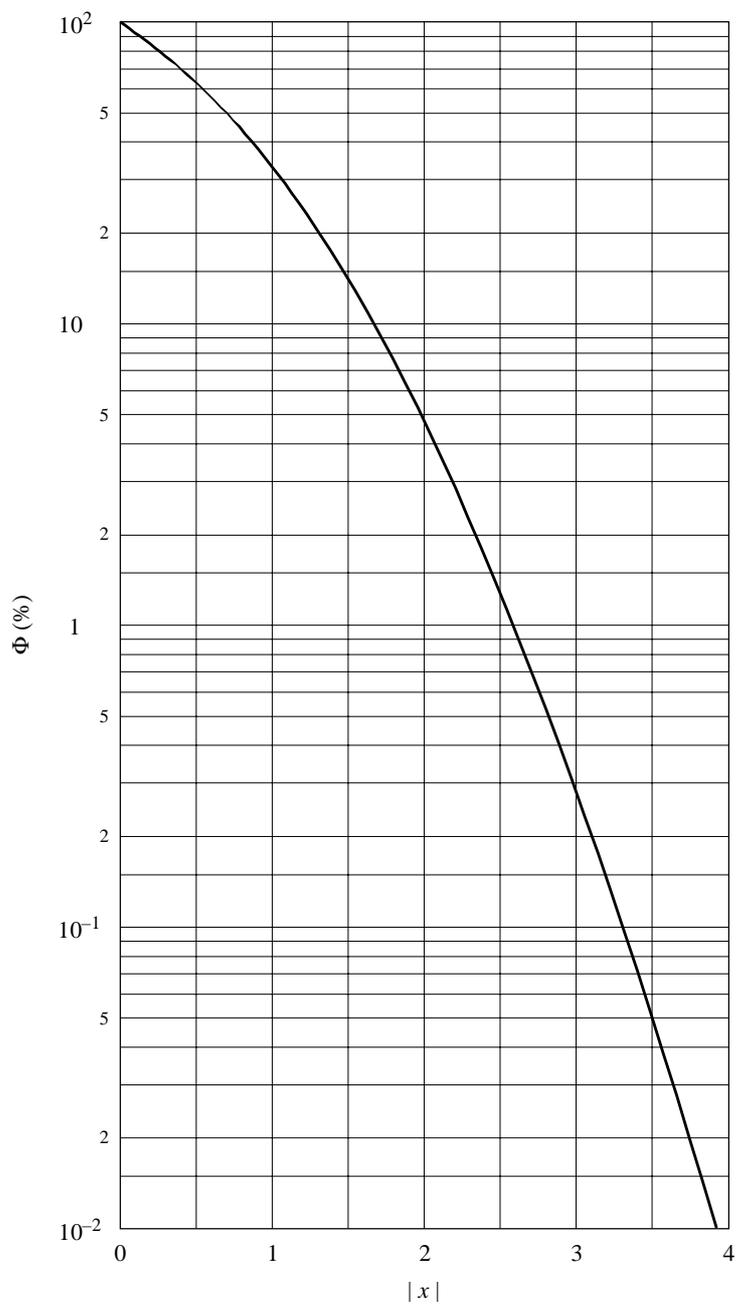
Los niveles deberían medirse, de preferencia a la salida del transmisor en la forma antes descrita, a fin de evitar la aparición de errores resultantes de los diferentes valores de anchura de banda de ruido. Estos errores pueden producirse cuando el nivel de ruido se mide a la entrada o a la salida de los filtros limitadores de banda utilizados en el transmisor.

#### 2 Radiodifusión sonora con clase de emisión A3EGN

El procedimiento de ajuste descrito en el § 1 anterior puede también aplicarse a transmisores para radiodifusión sonora, excepto que en este caso el ruido está ponderado de acuerdo con las curvas que se mencionan en el § 3.6.1.2 y se muestran en la Fig. 23.

FIGURA 25

Tiempo  $\Phi$  (%) durante el cual el valor instantáneo del ruido blanco excede la tensión umbral  $\pm u$ , en función de la relación  $x$



$x$  está dado por  $|x| = |u| / U_{ef}$   
donde:

$U_{ef}$ : Valor eficaz de la tensión de ruido  
 $u$ : Nivel umbral