

RECOMENDACIÓN UIT-R SM.443-3

Mediciones de anchura de banda en las estaciones de comprobación técnica de las emisiones

(Cuestión UIT-R 26/1)

(1966-1978-1995-2005)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que para favorecer la utilización racional del espectro de frecuencias radioeléctricas es necesario que las estaciones de comprobación técnica puedan medir la anchura de banda de las emisiones;
- b) que es necesario que en las estaciones de comprobación técnica se realicen mediciones de las anchuras de banda fáciles de aplicar y con resultados fiables a fin de que puedan compararse los resultados obtenidos por estaciones diferentes;
- c) las definiciones de diferentes anchuras de banda que aparecen en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) y en la Recomendación UIT-R SM.328, especialmente las definiciones de anchura de banda ocupada y anchura de banda entre puntos a x dB;
- d) la disponibilidad cada vez mayor de equipos capaces de medir directamente la anchura de banda ocupada, incluidos los equipos que utilizan técnicas de procesamiento de la señal digital y de transformada rápida de Fourier (TRF);
- e) el Capítulo 4.5 sobre medición de la anchura de banda del Manual del UIT-R – Comprobación técnica del espectro (edición de 2002),

recomienda

- 1** que para medir la anchura de banda ocupada, las estaciones de comprobación técnica utilicen el «método de $\beta\%$ » directo especificado en el Anexo 1;
- 2** que para medir la anchura de banda entre puntos a x dB, las estaciones de comprobación técnica utilicen el «método de x dB» especificado en el Anexo 2;
- 3** que se realice una estimación de la anchura de banda ocupada a partir de la anchura de banda entre puntos a x dB utilizando el procedimiento descrito en el Anexo 3 cuando no se satisfacen las condiciones para realizar una medición precisa de la anchura de banda ocupada o si no se dispone de equipos capaces de llevar a cabo la medición del $\beta\%$.

Anexo 1

Método de medición de la anchura de banda ocupada (método de $\beta\%$)

1 Introducción

El número 1.153 del RR y la Recomendación UIT-R SM.328 definen el término anchura de banda ocupada de la forma siguiente:

«*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 en una Recomendación UIT-R para la *clase de emisión* considerada, se tomará un valor de $\beta/2$ igual a 0,5%.»

De conformidad con el § 2 de la Recomendación UIT-R SM.328 sobre emisiones del transmisor, la emisión óptima desde el punto de vista de la eficacia de utilización del espectro se alcanza cuando la anchura de banda ocupada es igual a la anchura de banda necesaria para esa clase de emisión, indicada por la Recomendación UIT-R SM.1138, que se incorpora al RR por referencia.

De acuerdo con la definición anterior, la anchura de banda ocupada puede medirse utilizando analizadores digitales de barrido de espectro o receptores digitales de comprobación técnica, que permitan almacenar en memoria las trazas registradas para su posterior procesamiento gráfico, o empleando analizadores que utilicen técnicas TFR.

2 Condiciones generales para la medición de la anchura de banda

Las condiciones generales para medir la anchura de banda son las siguientes:

- Debe asegurarse la línea de visibilidad con la curva de Fresnel entre la antena transmisora y receptora a fin de garantizar un alto grado de discriminación de la fuente de emisión.
- Debe utilizarse una antena directiva con una fuerte directividad y un elevado valor de la relación lóbulo frontal-lóbulo posterior con objeto de minimizar la influencia de los efectos de desvanecimiento por multitrayecto.
- Puede utilizarse cualquier analizador de espectro o receptor digital de comprobación técnica adecuado.
- No deben aparecer interferencias impulsivas (por ejemplo, interferencias procedentes de una fuente de encendido).

3 Procedimiento de medición

El analizador de espectro o el receptor digital de comprobación técnica debe ajustarse de la siguiente forma:

- Frecuencia: frecuencia central estimada de la emisión.
- Margen de medición: de 1,5 a 2 veces la anchura de banda estimada de la emisión.
- Anchura de banda de resolución (RBW): menos del 3% del margen de medición.
- Anchura de banda de vídeo: 3 veces RBW o más.
- Nivel de atenuación: se ajusta de manera que la relación S/N sea superior a 30 dB.

- Detector: de cresta o de muestreo.
- Tiempo de barrido o tiempo de adquisición: automático (para emisiones impulsivas lo suficientemente largas de forma que pueda registrarse un impulso por cada píxel en la pantalla).
- Traza: persistencia máxima, MaxHold, (para modulación analógica), impresión tras borrado, ClearWrite, (para modulación digital).

En la mayoría de los sistemas digitales, la anchura de banda ocupada permanece constante a lo largo del tiempo porque normalmente se transmiten los trenes de datos con una velocidad de símbolo constante. En estos casos, el valor transitorio de la anchura de banda calculada será relativamente constante para cada traza registrada. Para igualar los resultados de distintas medidas consecutivas puede fijarse un tiempo de barrido mayor, lo que facilitará la lectura de los resultados.

En los sistemas analógicos, especialmente cuando se transmiten señales de audio (F3E, A3E, J3E), el valor transitorio de la anchura de banda ocupada varía rápidamente con la modulación. En estos casos, las estaciones de comprobación técnica sólo están interesadas en la máxima anchura de banda ocupada durante un cierto tiempo de observación (por ejemplo, una hora). Para conseguir este resultado, debe aplicarse la función «persistencia máxima».

Una vez registrada la traza, el espectro mostrado se analiza matemáticamente para calcular la anchura de banda ocupada, de la forma siguiente:

Se suma la potencia (o nivel) espectral de cada línea de frecuencia de la traza almacenada a lo largo del margen de medición ajustado para obtener el 100% de potencia de referencia. En un segundo cálculo, empezando por la frecuencia más baja registrada, se suma nuevamente la potencia espectral de cada línea de frecuencia hasta que esta suma alcance el 0,5% de la potencia total predeterminada. En este punto, se hace una marca. A continuación, se realiza el mismo cálculo empezando desde la frecuencia más alta registrada (el borde derecho de la pantalla) hasta alcanzar nuevamente el 0,5% de la potencia total y se hace una segunda marca. La anchura de banda ocupada es la diferencia de frecuencia entre las dos marcas.

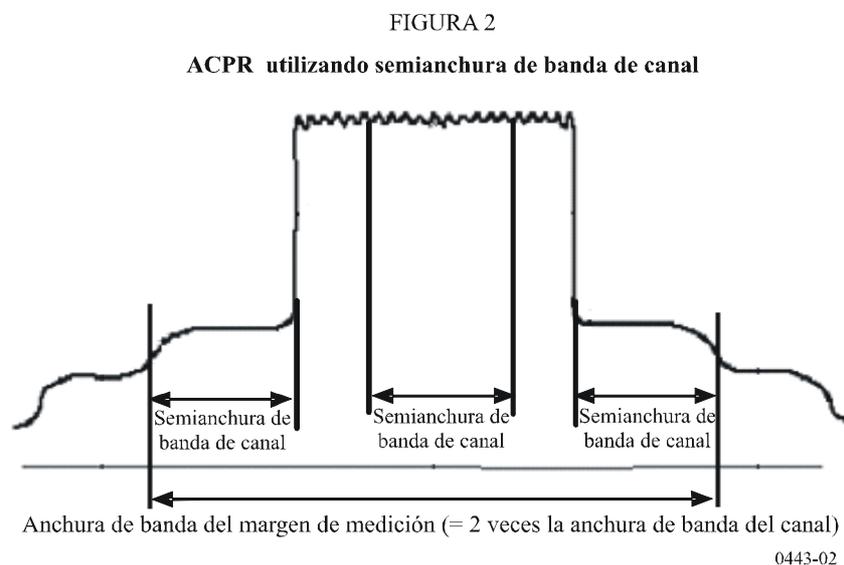
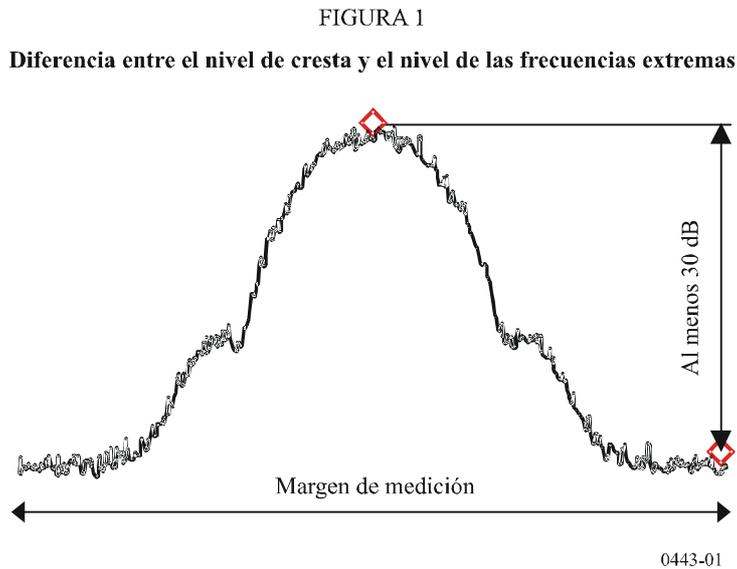
4 Condiciones de la medición y precisión

La precisión relativa depende de:

- *La forma espectral de la señal*
Cuando la señal aumenta y disminuye abruptamente hacia los bordes del canal utilizado, la precisión es mayor.
- *La anchura de banda de resolución (RBW)*
Con una RBW más pequeña se obtiene una mayor precisión porque el cálculo de la anchura de banda se basa en la forma gráfica de la traza mostrada, que siempre está ampliada por el filtro de medición.
- *La gama de frecuencias*
Si la gama de frecuencias es demasiado amplia cada vez entrará más ruido en el proceso de cálculo, lo que hace disminuir la precisión. Sin embargo, la gama debe ser lo suficientemente amplia como para incluir al menos algunas componentes espectrales por debajo de los puntos del 0,5% (o -26 dB).

– *El ruido y el nivel de interferencia*

Como el ruido y la interferencia fuera del canal utilizado se incluyen en el proceso de cálculo, una gran diferencia entre la señal útil y la interferencia aumentará la precisión. Por consiguiente, para asegurar un error en la medición inferior al 10% se recomienda una mínima relación de potencia de canal adyacente (ACPR) o una mínima diferencia entre el nivel de cresta y el nivel de las frecuencias extremas de 30 dB (véanse las Figs. 1 y 2).



– *Pruebas de medición*

La fluctuación de la señal digital debida a una señal de modulación no constante puede dar lugar a incertidumbres en los resultados de la medición. En consecuencia, se recomienda realizar al menos 400 veces las pruebas de medición para obtener el valor medio de la anchura de banda ocupada.

Debe tenerse la precaución de que no aparezca ninguna señal interferente dentro de la gama registrada porque se consideraría parte de la señal deseada y ello daría lugar a un elevado error de medición.

Anexo 2

Método de medición de anchura de banda entre puntos a x dB («método de x dB»)

1 Introducción

La anchura de banda entre puntos a x dB (Recomendación UIT-R SM.328 (§ 1.14)) se define como la anchura de una banda de frecuencias fuera de cuyos límites inferior y superior, las componentes discretas del espectro 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.

En los casos en que se necesite específicamente, por ejemplo para determinar el límite del dominio fuera de banda en las emisiones de radar, la anchura de banda entre puntos a x dB puede medirse utilizando cualquier analizador de espectro o receptor digital de comprobación técnica.

Además, de conformidad con los requisitos del § 2 de la Recomendación UIT-R SM.328 sobre emisiones óptimas de un transmisor desde el punto de vista de la eficacia en la utilización del espectro, la anchura de banda entre puntos a « x dB» puede también relacionarse con la anchura de banda necesaria de la clase de emisión pertinente indicada por la Recomendación UIT-R SM.1138, incorporada al RR por referencia.

2 Procedimiento de medición

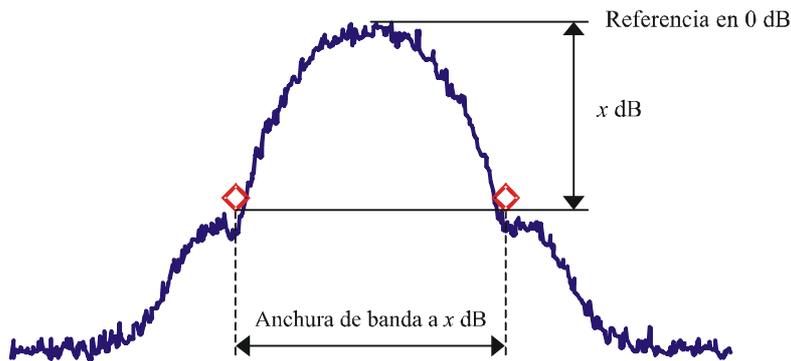
En primer lugar, debe determinarse el nivel de referencia de 0 dB. Normalmente se trata del nivel de la raya espectral más alta cuando el espectro se registra con una RBW estrecha en el analizador. Suponiendo que durante el tiempo de registro la potencia del transmisor vuelve a la portadora al menos una vez, este nivel es igual a la potencia emitida total. Sin embargo, en las señales con modulación digital, esta hipótesis no puede realizarse. Aunque la referencia de 0 dB sigue ajustada al nivel de la raya espectral más elevada, no es la potencia emitida total, por lo que los valores de x , para obtener resultados comparables, son distintos en el caso emisiones analógicas y digitales.

El analizador de espectro/receptor digital debe ajustarse como sigue:

- Frecuencia central: f_0 (frecuencia portadora o frecuencia central estimada de la emisión).
- Margen de medición: 1,5 veces la anchura de banda estimada de la emisión.
- RBW: menos del 3% del margen de medición.
- Anchura de banda de vídeo: 3 veces RBW o más.
- Detector: de cresta.
- Traza: persistencia máxima.

Una vez construida la traza se busca el nivel de cresta. El valor de la anchura de banda entre puntos a x dB se lee en la pantalla del equipo como la anchura de una banda de frecuencias tal que más allá de sus límites inferior y superior cualquier componente discreta del espectro se encuentre al menos x dB por debajo que un nivel predeterminado de referencia de 0 dB. Si en este nivel hay más de dos rayas espectrales, se toman las frecuencias extremas. La diferencia de frecuencias entre las dos marcas es la anchura de banda entre puntos a x dB.

FIGURA 3
Anchura de banda entre puntos a x dB



0443-03

3 Condiciones de la medición y precisión

La precisión del método « x dB» depende de:

– *La forma espectral de la señal*

Cuando la señal aumenta y disminuye abruptamente hacia los bordes del canal utilizado la precisión es mayor.

– *La anchura de banda de resolución (RBW)*

Con una RBW más pequeña se obtiene una mayor precisión porque la forma mostrada de la señal siempre es ampliada por el filtro de medición.

– *La gama de frecuencias*

Si la gama de frecuencias es demasiado amplia, están disponible menos líneas de presentación para mostrar la señal y fijar los marcadores. Una menor resolución aumenta la incertidumbre de la medición.

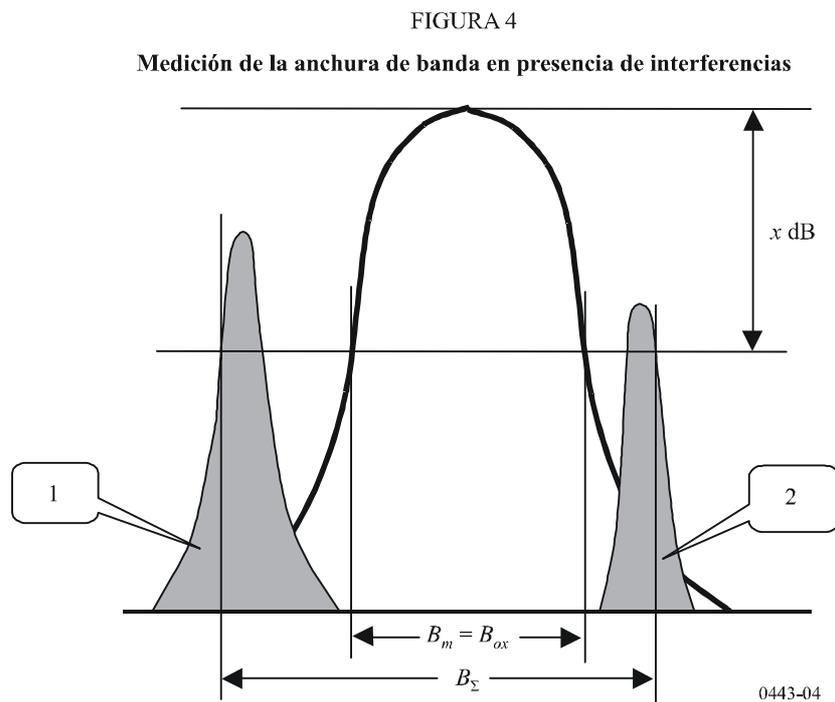
– *El ruido y el nivel de interferencia*

La relación S/N debe ser suficiente de acuerdo con la emisión analizada. Se recomienda un valor mínimo de $x + 5$ dB para asegurar un error de medición inferior al 10%. Uno de los mejores métodos, cuando la dinámica de la señal no es suficiente en la estación de comprobación técnica, es efectuar la medición con una estación móvil que pueda desplazarse hasta las proximidades del transmisor.

Las señales interferentes que caen dentro de la gama mostrada pueden tolerarse y no tendrán repercusión en los resultados de una medición de x dB manual, siempre que sean estrechas comparadas con la anchura de banda de la señal deseada y siempre que la frecuencia de interferencia no caiga en uno de los puntos a x dB.

4 Medición de anchuras de banda entre puntos a x dB en condiciones de influencia de las interferencias

En algunos casos pueden medirse los valores de la anchura de banda entre puntos a x dB o, al menos, estimarse en presencia de interferencias cuyos niveles rebasan el valor de un nivel medido de x dB. Como se representa en la Fig. 4, cuando los extremos de la anchura entre puntos a x dB desde cada borde de un espectro de la emisión considerada no están enmascarados por las interferencias (espectros 1 y 2), se mide la anchura de banda de este espectro particular sin tener en cuenta los espectros de la interferencia. En otras palabras, en el caso mostrado en la Fig. 4, la anchura de banda entre puntos a x dB, B_{ox} , es igual a B_m y no a B_{Σ} .

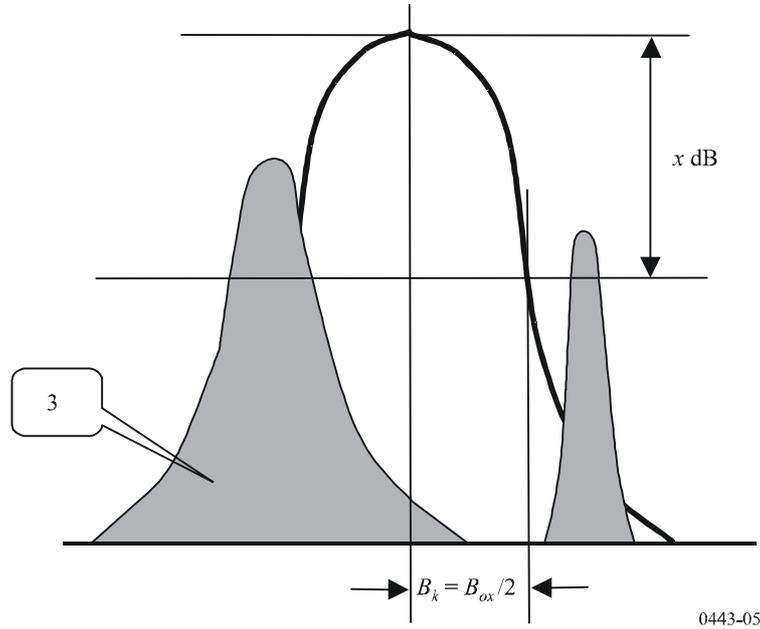


En caso de dudas sobre si los espectros 1 y 2 pertenecen a señales interferentes, los transmisores que causan la interferencia pueden determinarse utilizando un dispositivo medidor de correlación de dos canales con un pequeño valor del factor de correlación mutua entre la señal correspondiente a un espectro de la emisión considerada y la señal de la interferencia potencial (§ 4.9.5.1 del Manual del UIT-R – Comprobación técnica del espectro (edición de 2002)).

Incluso en el caso del enmascaramiento del borde de la anchura de banda entre puntos a x dB por un espectro interferente, como muestra la Fig. 5 (espectro 3), si el espectro de la señal deseada es simétrico, como sucede en la mayoría de los casos, puede realizarse una estimación del valor de la anchura de banda basándose en la semianchura del espectro; es decir, $B_{ox} = 2 B_k$.

Es lógico que en las mediciones realizadas en condiciones de influencia de las interferencias aparezcan más errores que en las mediciones realizadas en ausencia de interferencia. No obstante, las estimaciones obtenidas en algunos casos son bastante adecuadas para aplicaciones prácticas.

FIGURA 5
Medición de la anchura de banda basándose en la mitad del espectro



Anexo 3

Estimación de la anchura de banda ocupada utilizando el método de « x dB»

1 Introducción

En las siguientes situaciones, no puede aplicarse el método de $\beta\%$ para medir directamente la anchura de banda ocupada:

- interferencia dentro de banda con niveles superiores al de la señal deseada;
- no se dispone el equipo adecuado capaz de utilizar el método de $\beta\%$.

En estos casos, puede utilizarse el método de « x dB» descrito en el Anexo 2 para realizar una estimación de la anchura de banda ocupada.

Para estimar la anchura de banda ocupada como resultado del método de « x dB», deben seleccionarse adecuadamente los valores para el nivel de referencia de 0 dB y para x .

Generalmente, existen dos enfoques distintos para comparar la anchura de banda medida con la anchura de banda necesaria u ocupada:

- se mide siempre la anchura de banda entre puntos a -26 dB y se aplica un factor de conversión;
- se mide la señal para valores específicos de x dB que son distintos para cada clase de emisión.

2 Estimación de la anchura de banda ocupada a partir de la anchura de banda entre puntos a -26 dB

Con este método, la anchura de banda se mide siempre en puntos a -26 dB siguiendo el procedimiento del Anexo 2. Para estimar la anchura de banda ocupada o la anchura de banda necesaria deben utilizarse los factores de conversión entre la anchura de banda entre puntos a 26 dB, B_{26} , y la anchura de banda necesaria, B_n , que figuran en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Clase de emisión	Relación entre B_{26} y B_n
A1A, A1B, A2A, A2B	$B_{26} = 0,9 B_n$
F1B	$B_{26} = B_n$
F3C	$B_{26} = B_n$
F7BDX	$B_{26} = 0,9 B_n$

3 Estimación directa de la anchura de banda ocupada a partir de la medición de la anchura de banda entre puntos a x dB

Con este método, la anchura de banda se mide utilizando el método « x dB» descrito en el Anexo 2.

El nivel de referencia de 0 dB se ajusta siempre al nivel de cresta de la curva resultante. Los valores de x deben tomarse del Cuadro 2 de acuerdo con la modulación de la señal.

CUADRO 2

Clase de emisión	Valores de x dB que deben utilizarse cuando se mide la anchura de banda entre puntos a x dB a fin de realizar una estimación directa de la anchura de banda ocupada
A1A A1B	-30
A2A A2B	-32
A3E	-35
B8E	-26
F1B	-25
F3C	-25
F3E G3E	-26
F7B	-28
H2B	-26
H3E	-26
J2B	-26
J3E	-26
R3E	-26

El valor resultante de la medición es la estimación de la anchura de banda ocupada.