

RECOMENDACIÓN UIT-R BS.639*,**

**Anchura de banda necesaria para la emisión en radiodifusión
(ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas)**

(1986)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en la radiofusión sonora con modulación de amplitud y doble banda lateral (MA-DBL) la anchura de banda de emisión es el doble que la anchura de banda de audiofrecuencia;
- b) que, por razones de calidad, la anchura de banda de audiofrecuencia debe ser lo mayor posible;
- c) que la interferencia de los canales adyacentes viene determinada, entre otros factores, por la anchura de banda de la señal modulada, y que cierto tratamiento de la señal de sonido del programa radiofónico puede aumentar considerablemente las componentes de audiofrecuencia superiores;
- d) que la anchura de banda del sistema de transmisión completo MA-DBL (anchura de banda del sistema) viene determinada por la influencia combinada de la anchura de banda de emisión y de la anchura de banda del receptor;
- e) que, en la mayoría de los casos prácticos, la anchura de banda de emisión excede considerablemente de la anchura de banda del receptor, aunque en algunas partes del mundo prevalecen cada vez más los receptores con anchura de banda ensanchada o doble;
- f) que, entre otros factores, la eficacia de utilización del espectro resulta afectada por la separación entre portadoras, así como por la anchura de banda necesaria de emisión;
- g) que la interferencia de los canales adyacentes disminuye en zonas relativamente cercanas al transmisor deseado, en las que, para un transmisor de potencia mediana a baja, normalmente puede suponerse una concentración mayor de audiencia;
- h) que cuando la interferencia de los canales adyacentes se reduce al mínimo mediante una separación geográfica apropiada entre las estaciones, pueden obtenerse ciertas ventajas utilizando una anchura de banda de emisión considerablemente mayor que la separación entre canales, lo cual aumenta la anchura de banda del sistema, en particular cuando se emplean receptores con anchura de banda ensanchada,

recomienda

que cuando se requiera (para optimizar la utilización del espectro o para mejorar la respuesta en AF del sistema global) todo el sistema puede optimizarse, y los problemas de planificación pueden reducirse, aprovechando el conocimiento de la correlación entre la anchura de banda del sistema, la separación entre canales y la relación de protección de canal adyacente, que se indica en el Anexo 1.

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 1 de Radiocomunicaciones.

** La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2002 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

ANEXO 1

**Anchura de banda necesaria para la emisión en radiodifusión
(ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas)****1 Introducción**

En los sistemas de radiodifusión sonora con modulación de amplitud de doble banda lateral (MA-DBL), la anchura de banda de emisión es aproximadamente el doble de la anchura de banda del programa en audiofrecuencia, influyendo mucho, por consiguiente, en la calidad de la recepción. Por otro lado, para una separación dada entre canales adyacentes, conviene limitar la anchura de banda de emisión a fin de evitar interferencias entre esos canales.

La diferencia que se observa en radiodifusión sonora entre la anchura de banda de emisión y la anchura de banda de los receptores, ha dado lugar a estudios destinados a mejorar el sistema de transmisión. No hay duda de que convendría fijar la anchura de banda del programa en audiofrecuencia que va a ser emitida y la anchura de banda global de los receptores, y determinarlas sirviéndose de filtros limitadores de banda. Si estas dos anchuras de banda son casi iguales y su relación con la separación de los canales es satisfactoria, el sistema de transmisión permitirá utilizar al máximo la anchura de banda transmitida y obtener una relación de protección óptima entre canales adyacentes.

2 Anchura de banda necesaria de la emisión**2.1 Banda 5 (ondas kilométricas) y 6 (ondas hectométricas)**

Evidentemente, tanto la anchura de banda de la emisión como la banda de paso de los receptores deben elegirse de manera que no exista una degradación innecesaria de la calidad de recepción ni cualquier aumento de la interferencia de los canales adyacentes. En zonas en las que se espera que la interferencia de los canales adyacentes no sea despreciable, sería una buena solución la utilización de valores iguales para la separación entre canales, anchura de banda de la emisión y banda de paso del receptor. En zonas en las que se espera que la interferencia de los canales adyacentes sea menor, pueden ser adecuados valores diferentes; por ejemplo, la anchura de banda de la emisión y la banda de paso del receptor pueden ser iguales pero muy superiores a la separación entre canales. Esto resulta especialmente cierto si la misma red de transmisores se utiliza durante el día y la noche. En estas circunstancias se pueden utilizar receptores, equipados con filtros con anchuras de banda conmutables, para mejorar de forma eficaz la calidad de recepción en diferentes condiciones de propagación.

2.2 Banda 7 (ondas decamétricas)

En el caso de radiodifusión en ondas decamétricas, la anchura de banda necesaria de la emisión para MA-DBL no debe en ningún caso exceder el valor de 9 kHz. En la Recomendación UIT-R BS.640, se especifica una anchura de banda necesaria máxima de 4,5 kHz para radiodifusión en MA-BLU.

3 Consideraciones generales

3.1 Existe una correlación bien determinada entre la anchura de banda del sistema, la separación entre portadoras y la relación de protección en radiofrecuencia para los canales adyacentes.

3.2 El valor teóricamente óptimo de protección contra las interferencias en el canal adyacente se puede determinar utilizando un receptor ideal con banda de paso «rectangular». En este caso, la relación de protección en radiofrecuencia está determinada principalmente por la distorsión no lineal del transmisor.

3.3 El espectro de energía, incluida la radiación fuera de banda debida a la no linealidad del transmisor, ha sido objeto de un estudio teórico. Un estudio experimental de este espectro de energía, en el caso de un transmisor de gran potencia de ondas hectométricas demuestra que la noción de anchura de banda ocupada, tal como se define en el Artículo 1, número 1.153 del Reglamento de Radiocomunicaciones, no da una idea exacta de la influencia que ejerce la limitación de la anchura de banda en las interferencias en el canal adyacente.

4 Relaciones entre la anchura de banda de audiofrecuencia, la relación de protección en radiofrecuencia y la separación entre canales

4.1 Resultados de mediciones

En la República Federal de Alemania se ha efectuado una serie de mediciones de las relaciones de protección en radiofrecuencia para varios valores de anchura de banda en radiofrecuencia, iguales en emisión que en recepción, y para varios valores de separación entre canales, por el método de medida objetiva de dos señales dados en las Recomendaciones UIT-R BS.559 y UIT-R BS.560. En las mediciones se empleó un receptor comercial de gran calidad con una banda de paso casi ideal. La Fig.1 ilustra la relación entre los parámetros considerados. Para determinado valor de separación entre canales existen numerosos pares de valores de anchura de banda en radiofrecuencia y de relación de protección entre canales adyacentes. No obstante, si únicamente se eligen dos parámetros, el tercero queda fijado automáticamente.

4.2 Resultados de los cálculos

Se puede determinar la relación entre la anchura de banda del sistema, la relación de protección del canal adyacente y la separación entre canales mediante el método numérico (Recomendación UIT-R BS.559).

Los estudios realizados se basaron en la hipótesis de que la separación entre portadoras y la relación de protección del canal adyacente son valores predeterminados. De acuerdo con la Recomendación UIT-R BS.560, se supuso un valor relativo de la relación de protección en radiofrecuencia de -26 dB, correspondiente a una separación entre canales de 9 kHz. Por lo tanto, se han tenido en cuenta las características de los tipos corrientes de receptores.

En principio, todo sistema de radiodifusión con modulación de amplitud produce el mismo efecto en la calidad de recepción que un filtro paso bajo. Los sistemas de modulación de amplitud concebidos en función de la separación entre los canales y de las relaciones de protección antes indicadas, pueden diferir entre sí en la anchura de banda y en la pendiente de corte de la respuesta global amplitud/frecuencia. Los estudios efectuados se han extendido, por lo tanto, para abarcar este aspecto del problema de la calidad de recepción.

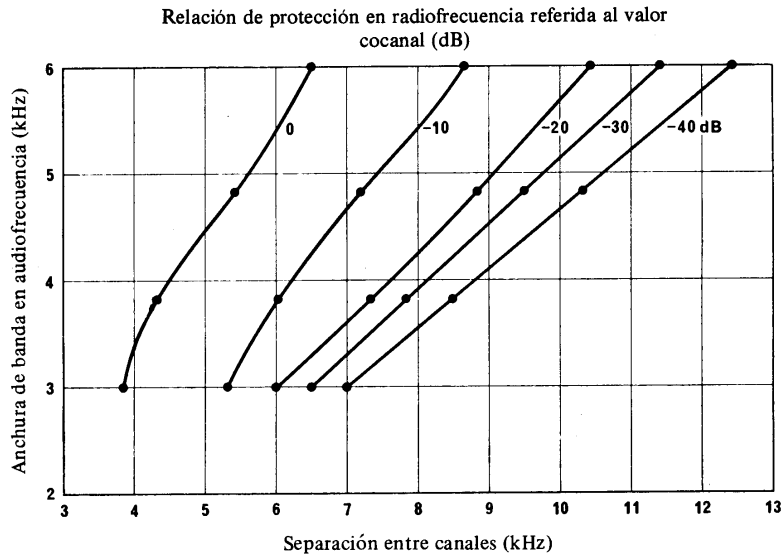


FIGURA 1 – Utilización del espectro radioeléctrico

D01-sc

Se ha supuesto que la influencia de la respuesta global amplitud/frecuencia del conjunto del sistema es uniforme entre los extremos transmisor y receptor. Este método, sin embargo, no es sino una primera aproximación y habrá que realizar otros estudios en condiciones distintas. Los cálculos han revelado que cualquiera de las tres curvas amplitud/frecuencia de la Fig. 3 dará una relación de protección satisfactoria para el canal adyacente en un sistema con una separación entre canales de 9 kHz. Las curvas de la Fig. 2 indican los pares de valores de anchura de banda b y de pendiente de corte a_0 que se necesitan en los extremos transmisor y receptor de un sistema de radiodifusión sonora con modulación de amplitud. La curva de trazo continuo corresponde a un receptor con filtro de corte brusco que suprime el batido con la portadora del canal adyacente. La curva de trazo interrumpido corresponde al caso en que no se utiliza tal filtro. Los puntos ①, ② y ③ de la curva de la Fig. 2 corresponden a las características del equipo terminal que daría las respuestas amplitud/frecuencia que corresponden a las curvas A, B y C de la Fig. 3, respectivamente.

Los resultados obtenidos concuerdan bien con la Fig. 1 que se considera corresponde a condiciones límite, pues se aplica al caso ideal de una característica de banda de paso rectangular. La banda de paso del sistema decrece rápidamente, pues, con la pendiente de corte.

4.3 Resultados de las pruebas de audición

Se han utilizado tres filtros paso bajo, cuyas características se representan por las curvas A, B y C de la Fig. 3, para simular la influencia de una separación de 9 kHz entre los canales y de una relación de protección de -26 dB para el canal adyacente en la calidad de reproducción del sonido de un sistema de radiodifusión sonora con modulación de amplitud.

Las pruebas subjetivas han demostrado perfectamente que con las curvas A y B se obtiene mejor impresión de calidad que con la curva C. Sin embargo, es muy pequeña la diferencia de calidad entre las curvas A y B, lo cual puede tener un interés económico considerable, pues la pendiente de corte del receptor para la curva B es inferior en 40 dB/octava al de la curva A.

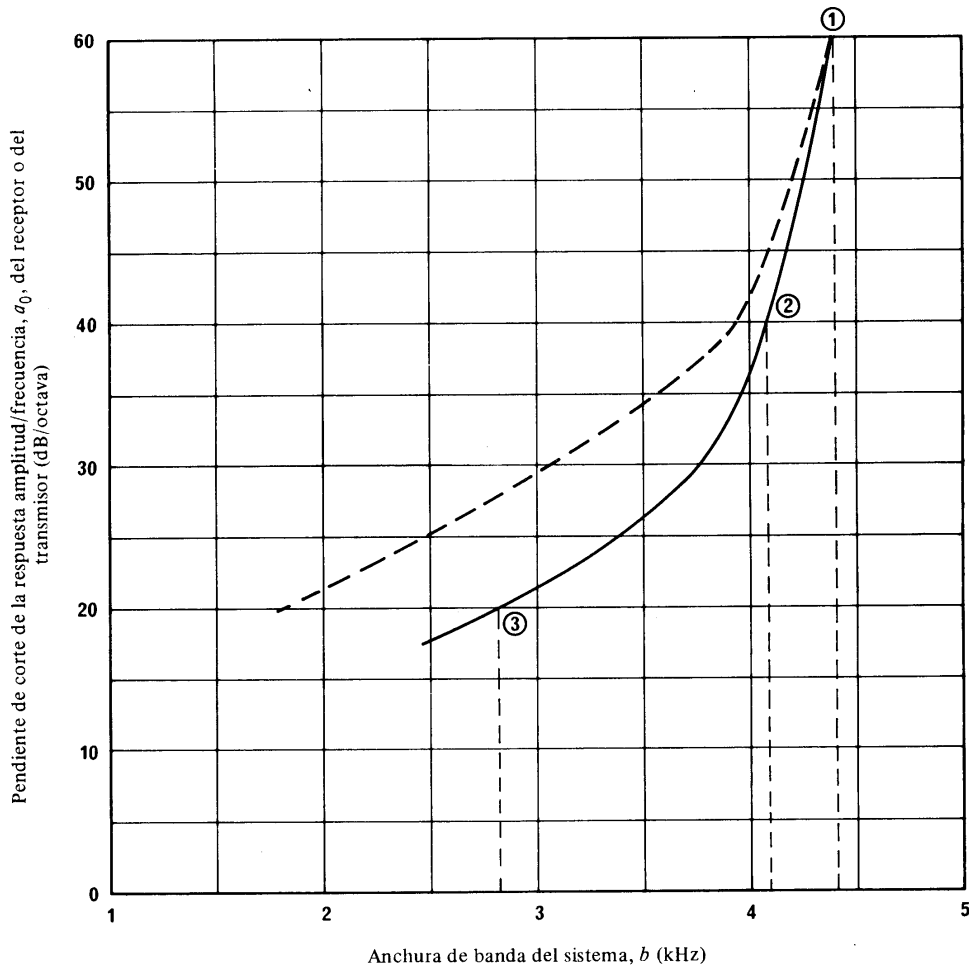


FIGURA 2 – Características de un sistema de radiodifusión sonora con modulación de amplitud que da una calidad óptima

Hipótesis de base:

Separación entre canales: 9 kHz

Relación de protección relativa para el canal adyacente: - 26 dB

— : Característica con filtro de corte brusco para eliminar el batido de las portadoras

- - - : Característica sin filtro de corte brusco

D02-sc

5 Características de las bandas de paso en radiofrecuencia y frecuencia intermedia de los receptores corrientes

En ese texto se indica que los valores de la banda de paso en radiofrecuencia y frecuencia intermedia, medidos entre puntos a 6 dB, se sitúan entre 5 y 10 kHz. Se señala que, en recepción, la banda en audiofrecuencia representa aproximadamente la mitad de estos valores. Los valores más altos registrados corresponden a receptores de «primera categoría» con selectividad variable, utilizados en la URSS.

Existen, naturalmente, numerosos receptores con una banda de paso más estrecha. Se ha señalado, sin embargo, la existencia de receptores de banda de paso más ancha en algunas zonas.

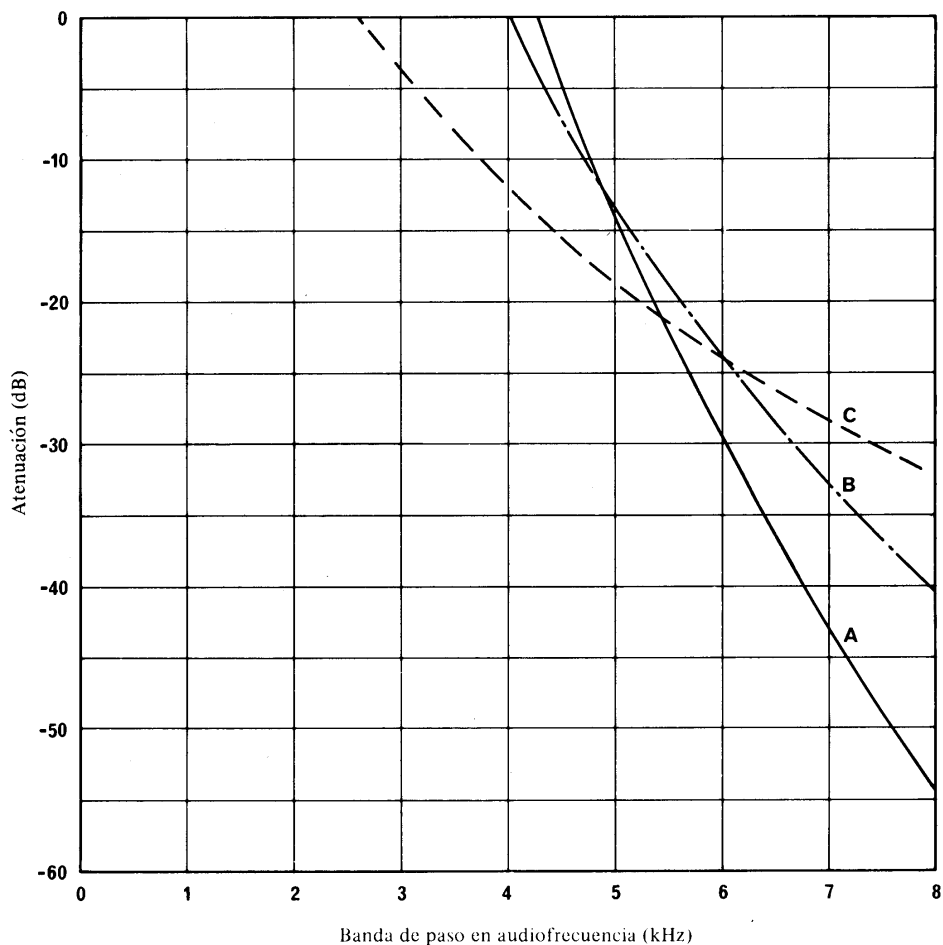


FIGURA 3 – Curvas de respuesta global amplitud/frecuencia de un sistema de radiodifusión sonora con modulación de amplitud para una calidad óptima de reproducción del sonido

- Curvas A: Pendiente de corte de -120 dB por octava para el sistema completo
 B: Pendiente de corte de -80 dB por octava para el sistema completo
 C: Pendiente de corte de -40 dB por octava para el sistema completo

D03-sc

6 Utilización de la limitación de banda en la práctica de explotación

A pesar de que la utilización de la limitación de banda es una práctica habitual, la reacción del público en cuanto a los efectos en la calidad de los programas ha sido prácticamente nula. En cambio, se ha registrado una mejor recepción en muchos casos en los que anteriormente las interferencias por el canal adyacente eran muy molestas.

De acuerdo con el Plan de Ginebra, se explota en la actualidad gran número de transmisiones en las bandas 5 (ondas kilométricas) y 6 (ondas hectométricas) con limitación de banda. En la banda de ondas kilométricas, un 50,6% del número total de transmisores trabaja con una anchura de banda igual o inferior a 10 kHz, mientras que en la de ondas hectométricas, este valor es de sólo 31,3%.

7 Transmisión y recepción con anchura de banda estrecha y con armónicos

Se ha descrito un nuevo método aplicable en las bandas 5 (ondas kilométricas), 6 (ondas hectométricas) y 7 (ondas decamétricas), que permite mejorar la calidad del sonido en el receptor y reducir al mismo tiempo la anchura de banda de la señal moduladora en audiofrecuencia. El sistema está basado en el hecho de que el oído humano es incapaz de identificar las frecuencias armónicas que sean superiores en unos 4 kHz al tono fundamental.

Se consigue mejorar la calidad del sonido añadiendo armónicos artificiales generados en el receptor. La amplitud de los armónicos se controla mediante una frecuencia piloto en el extremo superior de la banda de paso en audiofrecuencia. La frecuencia piloto contiene la información relativa a la amplitud de los armónicos y la necesaria señal de sincronización por medio de una modulación de banda lateral única.

8 Espectro fuera de banda de las emisiones de radiodifusión sonora de doble banda lateral

En la Recomendación UIT-R SM.328, § 3.5.1, se dan las curvas límite de la radiación fuera de banda de las emisiones de radiodifusión de doble banda lateral con modulación de amplitud. Las curvas no están en relación fija con el nivel de la portadora, porque esta relación depende:

- del factor de modulación del transmisor (valor eficaz);
- de la anchura de banda necesaria de la emisión, y
- de la anchura de banda del analizador de espectro utilizado para la medición.

Sin embargo, las curvas límite dependen, en una relación fija, del nivel máximo de las componentes de las bandas laterales, el cual depende, exclusivamente, de la distribución de la potencia en dichas bandas.

9 Efecto del tratamiento de la señal de sonido sobre la anchura de banda

Algunos transmisores que funcionan en la banda 7 (ondas decamétricas) emplean un filtro de conformación de la señal de sonido y un limitador para lograr una modulación media mayor. La utilización del filtro se denomina corrientemente técnica de modulación trapezoidal. Mediciones efectuadas en India han mostrado que, en el caso de la modulación trapezoidal, la anchura de banda ocupada de la emisión es mayor que en el caso de la modulación convencional. En el Cuadro 1 se resumen los resultados de las mediciones.

CUADRO 1

Anchura de banda ocupada por la modulación trapezoidal y por la modulación convencional

Modulación (%)	Anchura de banda ocupada (kHz)			
	Modulación trapezoidal		Modulación convencional	
	Límite superior de la frecuencia moduladora (kHz)		Límite superior de la frecuencia moduladora (kHz)	
	4,5	5,0	4,5	5,0
30	11,0	12,0	10,3	11,5
50	11,7	12,9	11,1	12,0
70	13,7	14,6	12,1	13,0

Sin embargo, cuando la frecuencia más alta de una señal moduladora de ruido coloreado (Recomendación UIT-R BS.559) no está limitada a un valor de 10 kHz por un filtro paso bajo, la anchura de banda ocupada en el caso de la modulación trapezoidal es menor que en el caso de la modulación convencional. Este resultado se atribuye al filtro de conformación de sonido utilizado para la modulación trapezoidal, que, de hecho reduce las componentes de frecuencias superiores a unos 8 kHz en la señal moduladora.

10 Conclusiones

10.1 La Fig. 1 ilustra la dependencia mutua entre la relación de protección en radiofrecuencia para los canales adyacentes, la separación entre canales y la anchura de banda en audiofrecuencia, en la hipótesis de que la anchura de banda en audiofrecuencia del transmisor es la misma que la del receptor. Cuando se eligen dos de estos tres parámetros, el tercero queda determinado automáticamente. En general, se especifican la separación entre canales y la relación de protección en radiofrecuencia. Se puede entonces transmitir la anchura de banda de audiofrecuencia indicada en la Fig. 1, pero la anchura de banda de la señal transmitida sólo puede utilizarse plenamente cuando la selectividad de los receptores corresponde a la del filtro de audiofrecuencia del transmisor.

10.2 En radiodifusión sonora con modulación de amplitud, la predeterminación de la relación de protección para los canales adyacentes y de la separación entre los canales, equivale a determinar la calidad de reproducción del sonido. Por ejemplo, con una separación de 9 kHz y una relación de protección de -26 dB, la Fig. 2 muestra que con una pendiente de corte de valor razonable será difícil rebasar los 4,4 kHz de anchura de banda. Por otro lado, esa misma figura demuestra que toda reducción de la pendiente de corte entraña una disminución de la banda de paso en audiofrecuencia.

Las pruebas subjetivas han demostrado que, sin salirse de los límites de la Fig. 2, la calidad de recepción depende, esencialmente, de la anchura de banda en audiofrecuencia. No obstante al acercarse a dichos límites, un ligero aumento de la banda de paso en audiofrecuencia puede significar un incremento considerable de la pendiente de corte sin que mejore perceptiblemente la calidad de recepción.

Estudios análogos para las separaciones de 8 y 10 kHz dieron resultados con las mismas tendencias. La distribución por partes iguales al receptor y al transmisor de la respuesta global amplitud/frecuencia no es necesariamente la óptima. Los cálculos demuestran, al contrario, que la relación de protección para el canal adyacente es más sensible a las modificaciones de la respuesta amplitud/frecuencia en recepción que en transmisión. No obstante, desde el punto de vista económico puede que no convenga aumentar la selectividad del receptor. Es necesario, pues, realizar nuevos estudios antes de tomar una decisión definitiva.
