

INFORME 1059-1

CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE BANDA LATERAL ÚNICA EN
LA RADIODIFUSIÓN EN ONDAS DECAMÉTRICAS

(Cuestión 44/10)

(1986-1990)

1. Introducción

Este Informe se ha elaborado teniendo en cuenta la atención que se presta a la introducción progresiva de los sistemas de radiodifusión en banda lateral única en las bandas actualmente atribuidas al servicio de radiodifusión en bandas decamétricas. La introducción de esta forma de radiodifusión puede realizarse de forma más racional si existe suficiente orientación sobre los parámetros técnicos implicados. Las siguientes consideraciones se refieren principalmente a la modulación de amplitud de banda lateral única con demodulación síncrona. En lo que respecta al periodo de transición necesario para pasar de los sistemas DBL a los sistemas BLU, habrá que tener también en cuenta la recepción de señales BLU de portadora reducida por receptores que funcionen con detección de la envolvente. Al final del periodo transitorio, se podrán aprovechar todas las ventajas de las transmisiones BLU, a saber:

- utilización más eficaz del espectro de frecuencias y reducción de la interferencia;
- posibilidad de mejorar la relación de protección necesaria entre canales adyacentes en el caso de que sea suficiente la reducción de la portadora;
- posibilidad de mejorar la capacidad de la recepción, en particular cuando las condiciones de propagación son malas (desvanecimiento selectivo), con receptores BLU.

Las técnicas de modulación consideradas más convenientes para realizar economías en la ocupación del espectro son las que utilizan el sistema de banda lateral única. La Recomendación 501 de la CAMR-79 y el número 302 del Reglamento de Radiocomunicaciones proponen el mayor empleo posible de las transmisiones BLU en los sistemas con modulación de amplitud. Estos sistemas son de dos tipos, a saber, de banda lateral única (BLU) y de banda lateral única compatible (BLUC).

El sistema BLUC no es adecuado para la radiodifusión con modulación de amplitud, sobre todo por su mayor distorsión; además, se necesita una anchura de banda de radiofrecuencia mayor y una supresión satisfactoria de las emisiones fuera de banda resultará probablemente difícil en ondas decamétricas.

En caso de que se introdujera la técnica de banda lateral única en la radiodifusión con modulación de amplitud, convendría utilizar las definiciones que figuran en la Recomendación 326.

Según esta Recomendación, la componente de la portadora se define con relación a la potencia en la cresta de la envolvente, P_p , de la emisión. La potencia en la cresta de la envolvente, P_p , de un transmisor radioeléctrico está determinada por el nivel aceptable de intermodulación D_n .

En lo que concierne a los transmisores de radiodifusión de banda lateral única, el nivel aceptable de intermodulación, D_n , determina la distorsión no lineal (calidad) y la radiación fuera de banda (interferencia de canal adyacente).

En los sistemas de banda lateral única con portadora reducida, la precisión de la portadora reconstituida localmente es importante para la calidad de la recepción.

Los parámetros del sistema para un futuro sistema BLU de radiodifusión sonora en la banda 7 (ondas decamétricas) deben elegirse teniendo en cuenta las diferentes necesidades del periodo de transición (recepción de señales BLU con receptores que utilizan demodulación de envolvente) y las del periodo siguiente durante el cual sólo se utilizarán receptores con demodulación síncrona [CCIR, 1978-82a]. La especificación del sistema de BLU figura en la Recomendación 640.

2. Características técnicas fundamentales de los sistemas de radiodifusión de BLU

2.1 Naturaleza de la modulación en Banda Lateral Unica (BLU)

Cuando se hace referencia a la Banda Lateral Unica (BLU), suele considerarse que la señal transmitida está Modulada en Amplitud (MA). De hecho, la señal de BLU transmitida está compuesta por una modulación de amplitud y de fase. Ambas componentes de modulación contienen la misma información, pero tienen una diferencia de fase de 90° . Tanto la información de amplitud como la de fase pueden recuperarse independientemente utilizando un detector síncrono enganchado en fase con la portadora entrante. Si la fase de la portadora reinsertada es la misma que la de la portadora entrante, se recupera la modulación de amplitud. Por el contrario, si la fase de la portadora reinsertada tiene una diferencia de 90° con respecto a la portadora entrante, se recupera la información de fase.

Por estas razones puede concluirse lo siguiente:

- los servicios adicionales (datos, etc.) que utilizan una modulación de fase adicional son difíciles de aplicar en una señal BLU;
- la transmisión en BLU está menos afectada por el desvanecimiento selectivo que la transmisión en DBL. Esta mejora se debe al nivel constante de la portadora regenerada y también a que el comportamiento del detector síncrono no se degrada con los cambios de fase de la portadora entrante (durante periodos de desvanecimiento selectivo) porque en la detección se utilizan las componentes tanto de fase como de amplitud de la señal BLU.

2.2 Potencia de la cresta de la envolvente (P_p)

La potencia nominal del transmisor BLU viene indicada por su potencia en la cresta de la envolvente, P_p . Esta P_p está especificada como la potencia media producida durante condiciones de cresta empleando una modulación completa, por lo que es difícil medirla utilizando un potenciómetro térmico conectado con una carga artificial, a menos que la señal de entrada sea sinusoidal.

2.3 *Relaciones entre las potencias de la portadora y de la banda lateral en los sistemas de DBL y BLU**

La potencia de la banda lateral P_l de un transmisor depende de la potencia en la cresta de la envolvente P_p y de la reducción elegida de la portadora, a .

En el caso de un transmisor de radiodifusión de banda lateral única, el valor más adecuado de a vendrá determinado, principalmente, por la necesidad de reconstituir la portadora en un receptor de banda lateral única de costo reducido. Para producir la portadora de referencia para el demodulador síncrono de un receptor de banda lateral única a un costo aceptable, la reducción de la portadora en el transmisor de radiodifusión de banda lateral única debe limitarse a un valor comprendido entre 6 y 12 dB.

* De acuerdo con el Reglamento de Radiocomunicaciones (véase también la Recomendación 326) se utilizarán las expresiones de potencias siguientes:

- potencia en la cresta de la envolvente (PX)
- potencia media (PY)
- potencia de la portadora (PZ)

A fin de efectuar una presentación común en este Informe que contiene numerosas expresiones diferentes para la potencia y la tensión, se emplean las denominaciones siguientes que difieren de las que aparecen en el Reglamento de Radiocomunicaciones y en la Recomendación 326:

$$\begin{aligned} PX &= P_p \\ PY &= P_m \\ PZ &= P_c \end{aligned}$$

La fig. 1 muestra la relación entre potencia de la banda lateral P_s y la reducción a de la portadora para una potencia en la cresta de la envolvente dada del transmisor. La mención (1) indica los valores en caso de modulación por una señal sinusoidal y la mención (2) indica los valores en caso de modulación por ruido o por programa radiofónico. Los valores de las tensiones U y de las potencias P se expresan como porcentajes de los valores en la cresta de la envolvente. En caso de modulación por programa radiofónico y con una reducción de portadora superior a 30 dB, la potencia de la banda lateral $P_s(2)$ será aproximadamente el 10% de P_p . Un transmisor que funcione con una reducción de portadora de 6 dB sólo podrá radiar una potencia de banda lateral $P_s(2)$ de aproximadamente el 2,5% de su potencia nominal en la cresta de la envolvente, cuando está modulado con una señal de programa radiofónico.

Para el cálculo de $P_s(2)$ se ha supuesto que la relación potencia media/potencia en la cresta de la envolvente es de 0,1 (véase la Recomendación 326, cuadro I).

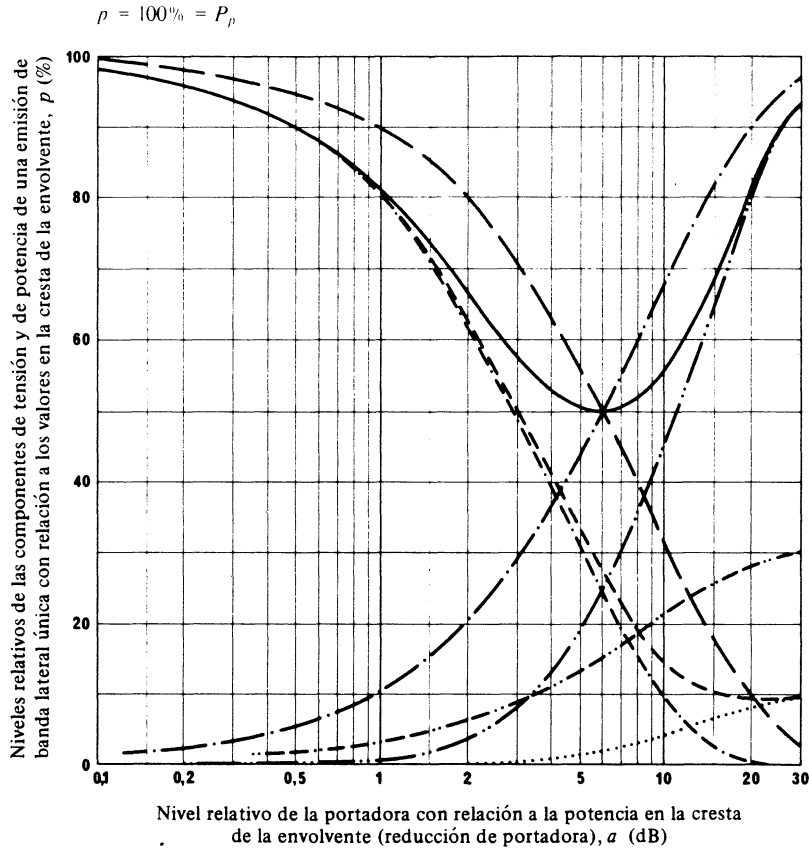


FIGURA 1

- P_p : Potencia en la cresta de la envolvente del transmisor (definida por el nivel aceptable de intermodulación D_n)
- U_c : Tensión de la portadora (valor eficaz)
- · - · - $U_s(1)$: Tensión de la señal de la banda lateral en el caso de modulación por una señal sinusoidal (valor eficaz)
- · · · · $U_s(2)$: Tensión de la señal de la banda lateral en el caso de modulación por un programa radiofónico o por ruido (valor eficaz)
- - - - - P_c : Potencia de la portadora
- · - · - $P_s(1)$: Potencia de banda lateral en el caso de modulación por una señal sinusoidal
- · · · · $P_s(2)$: Potencia de banda lateral en el caso de modulación por un programa radiofónico o por ruido
- $P_m(1)$: Potencia media del transmisor en el caso de modulación por una señal sinusoidal
- - - - - $P_m(2)$: Potencia media del transmisor en el caso de modulación por un programa radiofónico o por ruido

2.4 Potencia equivalente de la banda lateral

Para ——— sustituir un transmisor DBL (potencia de la portadora P_c) para radiodifusión sonora en la banda 7 (ondas decamétricas) por un transmisor BLU equivalente, las potencias de banda lateral del transmisor BLU deben ——— ser el doble de la suma de las potencias de las dos bandas laterales de un transmisor DBL. Ello se justifica por lo menos durante el periodo de transición, cuando las emisiones BLU habrán de recibirse también con receptores DBL de anchura de banda igual a $2B_N$, que es el doble de la necesaria para la recepción de la emisión BLU, y también porque la cobertura de la zona servida debe ser igual.

Transcurrido el periodo de transición, cuando sólo se utilicen receptores con demodulación **síncrona** y la mitad de la anchura de banda de un receptor DBL, la potencia de banda lateral de todos los transmisores BLU podría reducirse, teóricamente, a la mitad del valor original. Sin embargo, la relación señal/ruido a la salida del receptor no se modificaría solamente si el espectro que causa la interferencia cocanal y de canal adyacente en la banda de paso del receptor tiene una densidad de potencia uniforme. Esta condición no se cumple en la práctica [Gröschel, 1978], por la presencia de una portadora y por la distribución no uniforme de la potencia en el espectro de las emisiones radiofónicas.

Así, quizá sea más adecuada la siguiente fórmula para la potencia equivalente de banda lateral P_s de los futuros transmisores BLU de radiodifusión sonora por ondas decamétricas:

$$P_s (\text{BLU}) \approx (1 \text{ a } 2) \times P_s (\text{DBL})$$

Quizá sea realista utilizar un factor cercano a 2.

En la fig. 2 se dan algunos detalles más sobre la potencia necesaria en la cresta de la envolvente de los futuros transmisores BLU que sustituirán a los actuales transmisores DBL de radiodifusión sonora por ondas decamétricas. Durante el periodo de transición, las condiciones de recepción especiales exigirán una potencia en la cresta de la envolvente del transmisor unas cuatro veces superiores a la que se necesitará después del periodo de transición [CCIR, 1978-82a].

La CAMR HFBC (1987) definió la potencia equivalente de la banda lateral de la siguiente manera:

Cuando la reducción de la portadora con relación a la potencia en la cresta de la envolvente es de 6 dB, una emisión BLU equivalente es la que ofrece la misma relación señal/ruido en audiofrecuencia a la salida del receptor que la emisión DBL correspondiente, cuando es recibida por un receptor DBL con detección de envolvente. Esto se logra cuando la potencia en banda lateral de la emisión BLU es 3 dB mayor que la potencia total de las bandas laterales de la emisión DBL. (La potencia en la cresta de la envolvente de una emisión BLU equivalente, así como la potencia de la portadora, son iguales a la de la emisión DBL.)

2.5 Comparación entre el consumo de energía de transmisores de DBL y de BLU equivalentes

Aparte de la mejor utilización del espectro, uno de los objetivos de la introducción de la modulación BLU para la radiodifusión sonora en las bandas de ondas decamétricas es la considerable reducción en el consumo de energía del transmisor. La economía óptima de energía podrá conseguirse finalmente cuando esté generalizado el uso de receptores de BLU (que emplean la mitad de la anchura de banda de los receptores de DBL), lo que permitirá reducir el nivel de la portadora de -6 dB a -12 dB.



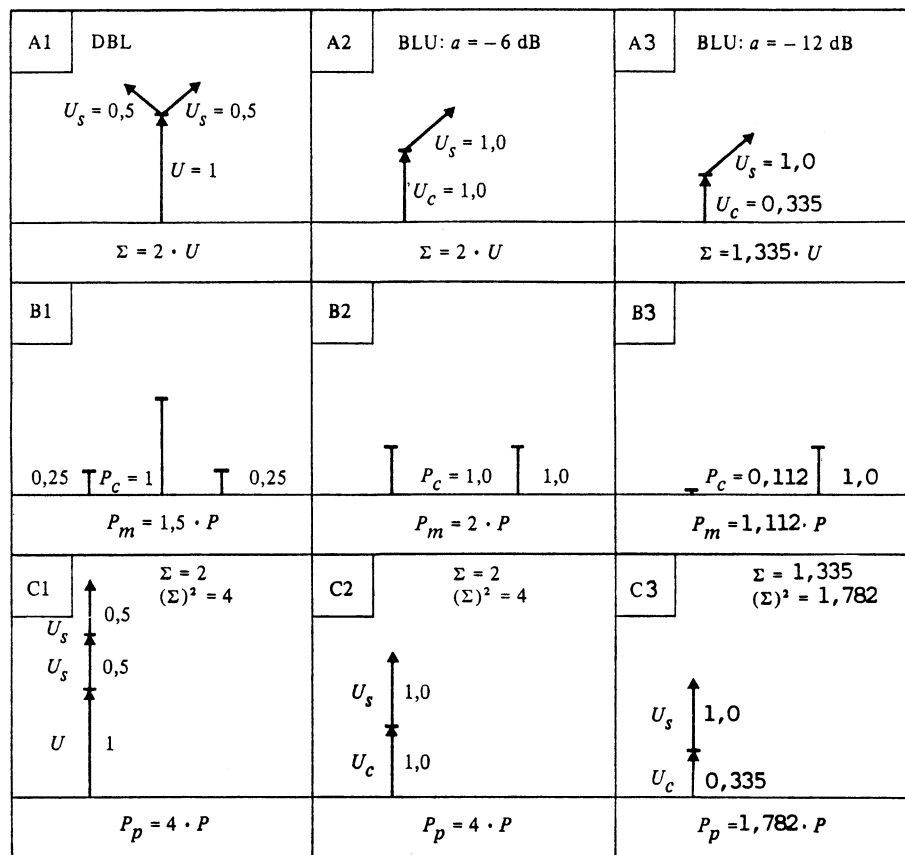


FIGURA 2 – Relación entre niveles y potencias de portadora y de banda lateral con transmisión DBL y BLU, según la reducción de la portadora

(A efectos de comparación, se dio por sentado que el nivel de potencia de la portadora del transmisor DBL era igual a 1. Modulación completa con un solo tono sinusoidal; $P_S(\text{BLU}) = 2 \times P_S(\text{DBL})$).

A1...A3: Nivel de las componentes del espectro (a la salida del transmisor)

B1...B3: Potencia media a la salida del transmisor

C1...C3: Potencia en la cresta de la envolvente a la salida del transmisor

Índice 1: Señal DBL

Índice 2: Señal BLU, reducción de la portadora en -6 dB (clase de emisión H3E)

Índice 3: Señal BLU, reducción de la portadora en -12 dB (clase de emisión R3E)

U : Nivel de la portadora del transmisor DBL

U_s : Nivel de las bandas laterales

U_c : Nivel de la portadora del transmisor BLU

P : Potencia de la portadora del transmisor DBL

P_c : Potencia de la portadora del transmisor BLU

P_m : Potencia media

P_p : Potencia en la cresta de la envolvente

Basándose en la hipótesis de una modulación por programa con un factor de modulación efectivo del 40%, que se consigue comprimiendo considerablemente la señal moduladora, se han calculado y se resumen en los cuadros I y II los valores representativos del consumo de energía de transmisores de DBL y de BLU con una potencia equivalente de banda lateral.

Esta comparación se funda en un factor global de eficacia del 60% para los transmisores de DBL y del 38 ó 60% para los transmisores de BLU. Estos valores se han establecido a partir de los transmisores de BLU actualmente utilizados. En este caso, un transmisor de BLU con, por ejemplo, una reducción de portadora de 12 dB y una potencia doble de banda lateral comparada con la potencia de la banda lateral DBL, consumirá en total un 25 o un 40% de la energía consumida por un transmisor de DBL. (Se aplican las condiciones de la Figura 2.)

Durante el periodo de transición, en el que ha de tenerse en cuenta la recepción con receptores de DBL, se recomienda una reducción de la portadora de 6 dB. En este caso, un transmisor de BLU con una potencia doble de banda lateral consume aproximadamente un 70% o un 7% más de energía que un transmisor de DBL (véase el cuadro II).

CUADRO I

Relaciones de potencia de salida

Reducción de la portadora	Modulación sinusoidal $m_{eff} = 100\%$	Modulación por programa $m_{eff} = 40\%$
6 dB	2,0	1,16
12 dB	1,11	0,27

Potencia media de salida de un transmisor de BLU respecto a la potencia de la portadora de un transmisor de DBL ($m = 100\%$, condiciones iguales a las de la Figura 2)

CUADRO II

Relación de consumo de energía

Reducción de la portadora	Modulación sinusoidal $m_{eff} = 100\%$		Modulación por programa $m_{eff} = 40\%$	
	Eficacia del sistema DBL		Eficacia del sistema DBL	
	38%	60%	38%	60%
6 dB	2,11	1,33	1,70	1,07
12 dB	1,17	0,74	0,40	0,25

Consumo de energía de un transmisor de BLU respecto al de un transmisor de DBL. Eficacia del sistema DBL: 60% ($m = 100\%$, condiciones iguales a las de la Figura 2).

2.6 Reducción de la portadora

La magnitud de la reducción de la portadora de una señal BLU determina la distorsión no lineal adicional que se produce cuando esta señal es demodulada por detección de envolvente en un receptor DBL convencional. Esta distorsión adicional depende de la reducción « a » de la portadora y de la profundidad de la modulación. A causa de esta distorsión adicional previsible en el periodo de transición, la reducción de la portadora debería ser como máximo de -6 dB en relación con la potencia en la cresta de la envolvente (clase de emisión H3E) o aun menor. Esta conclusión se confirmó en una prueba práctica de compatibilidad de recepción efectuada a una distancia de 2000 km desde el lugar de transmisión, situado en Japón. La evaluación subjetiva de la degradación por distorsión de los programas BLU recibidos se hizo con referencia a los programas DBL recibidos utilizando la escala de cinco notas de la Recomendación 562. Los resultados se muestran en la fig. 3.

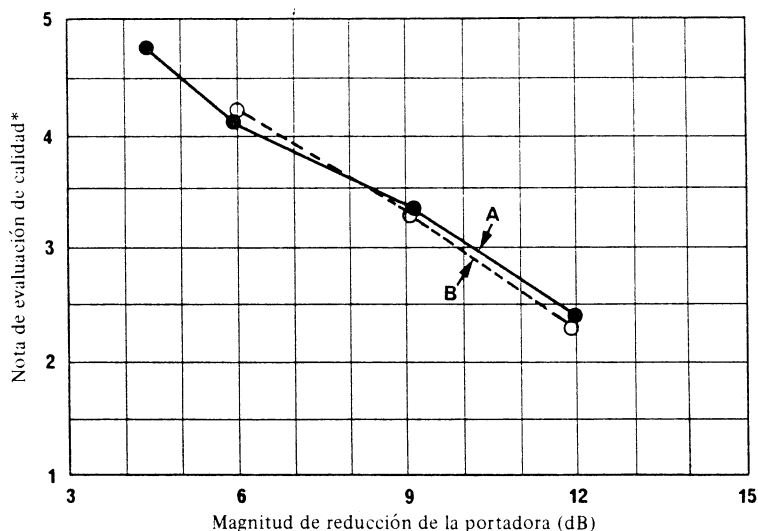


FIGURA 3 – Evaluación en la prueba de recepción utilizando receptores DBL clásicos para un sistema BLU

A: Palabra

B: Música ligera

* Véase el cuadro I de la Recomendación 562.

Para una reducción de portadora de 6 dB, la degradación media de las señales BLU con relación a las señales DBL era ligeramente superior a la nota 4 [CCIR, 1982-86a].

En este caso predomina la distorsión de intermodulación. La magnitud de distorsión que se alcanza con modulación completa es bastante amplia. En la práctica, con factores medios de modulación de 35 a 45%, esta distorsión será menor.

2.7 Nivel de intermodulación admisible en los transmisores BLU

El valor admisible de la atenuación de intermodulación D_N dependerá en gran parte de la calidad requerida de la transmisión en relación con la distorsión no lineal. Las consideraciones teóricas fundadas en un modelo matemático para el cálculo de la interferencia de canal adyacente en los sistemas BLU [Gröschel, 1978] muestran que, en relación con la interferencia de canal adyacente, la atenuación de intermodulación D_N de los transmisores de radiodifusión BLU no necesita ser mejor que 20 ó 25 dB. Por lo tanto en los futuros sistemas BLU, el nivel admisible de intermodulación deberá determinarse en función de la calidad deseada de la señal recibida. Para los futuros transmisores de radiodifusión sonora BLU parece adecuado una gama de valores de D_N entre 26 dB (distorsión armónica $\approx 6,5\%$) y 35 dB (distorsión armónica $\approx 2,3\%$), según el tipo principal de programa (voz, música).

2.8 Demodulación

Las señales moduladas en amplitud se pueden detectar mediante dos técnicas diferentes: la de detección de envolvente convencional o la de mezcla de la señal de entrada con una portadora inyectada que se genera internamente. El detector de envolvente emplea una rectificación de las crestas que sigue con precisión la envolvente de la onda modulada.

En el método de mezcla, la frecuencia de la portadora inyectada internamente debe ser igual a la de la portadora de las señales BLU o DBL entrantes, en cuyo caso la información de banda lateral RF se transferirá a la gama de audio. A la demodulación por mezcla se la llama generalmente demodulación de producto. En este caso, la frecuencia de la portadora insertada es casi la misma que la de la portadora entrante. Cuando estas portadoras están enganchadas en fase se dice que la demodulación es sincrónica o coherente.

Las señales DBL (A3E) o DBL con nivel de portadora variable pueden detectarse mediante demodulación con detección de envolvente o demodulación sincrónica.

La demodulación de producto sólo es posible en un receptor BLU que anula o suprime la otra banda lateral y la portadora mediante filtrado antes de la demodulación.

Las señales BLU (H3E, R3E) pueden demodularse mediante las técnicas de demodulación de producto o sincrónica. Las señales BLU H3E (-6 dB) permiten la detección de envolvente, pero la calidad audio conseguida es apenas suficiente, y por ello esta técnica sólo debería contemplarse durante el periodo de transición, cuando existan aún receptores antiguos.

La demodulación sincrónica tiene las siguientes ventajas en comparación con la demodulación de producto:

- la función de enganche hace que los requisitos de estabilidad de frecuencia de los osciladores del receptor sean menos severos;
- los operadores no capacitados pueden conseguir fácilmente la sintonización adecuada;
- permite detectar las señales tanto A3E como BLU;
- resulta menos sensible al efecto de los transmisores insuficientemente ajustados (conversión MA-MP).

Dadas estas ventajas, se debería recomendar la demodulación sincrónica para los nuevos modelos de receptores, como método de demodulación normal, y los parámetros del sistema deberían basarse en este concepto.

2.9 Influencia del desvanecimiento relativo en los sistemas de demodulación

La radiodifusión en las bandas de ondas decamétricas se basa casi exclusivamente en la cobertura de la onda ionosférica. Debido al desvanecimiento selectivo, la recepción de señales de onda ionosférica con modulación de doble banda lateral (DBL) y detección de envolvente (lineal) en el receptor adolece gravemente de distorsión no lineal. Esta degradación puede evitarse en gran parte cuando se utiliza la demodulación sincrónica o de producto (véanse también los § 2.1 y 2.8).

Se han analizado transmisiones de prueba en la banda 6 (ondas hectométricas) utilizando la modulación sinusoidal (800 Hz) para determinar la distorsión no lineal que aparece con la detección de envolvente (A3E) y con la detección sincrónica (R3E).

Los resultados se presentan en la fig. 4 y muestran claramente que la distorsión no lineal causada por efectos de propagación ionosférica, tales como el desvanecimiento selectivo, se reducirán en gran parte mediante la utilización de la demodulación de producto en el receptor. Será posible lograr la misma mejora, incluso con emisiones de la clase A3E, si se utiliza demodulación sincrónica. No se logrará ninguna mejora en emisiones de banda lateral única compatible (BLUC) [CCIR, 1978-82b].

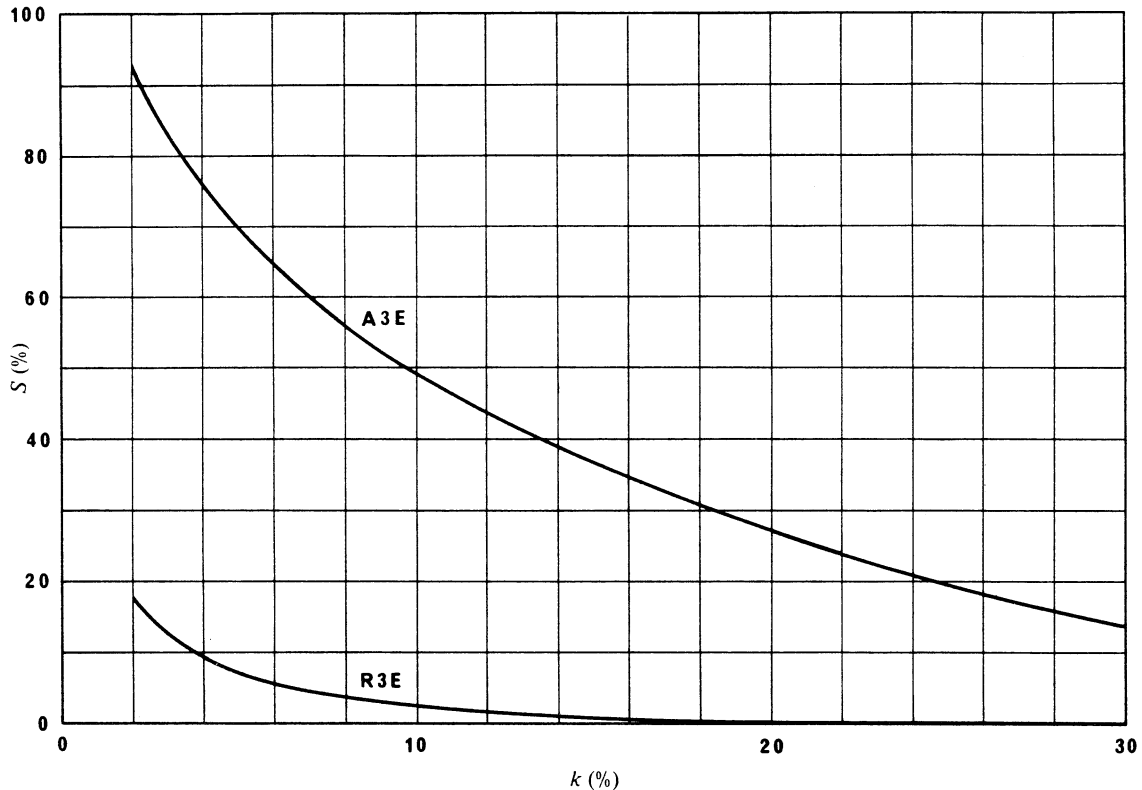


FIGURA 4 Probabilidad acumulativa (S) de la distorsión no lineal (k) promediada durante el periodo de medición. Comparación entre la detección de envolvente (A3E) y sincrónica (R3E)

2.10 Precisión de la portadora reconstituida localmente en el receptor BLU

En los sistemas de banda lateral única con portadora reducida, la precisión de la portadora reconstituida localmente es importante para la calidad de recepción. Según se desprende de amplias pruebas subjetivas de audición [Thiessen, 1973], los efectos de la distorsión no lineal y de la imprecisión de la reconstitución de la portadora se superponen, pudiendo describirse mediante la siguiente expresión:

$$\Delta Q = (k_2/10\%)^2 + (k_3/6\%)^2 + (\Delta f/12 \text{ Hz})^2 \quad (1)$$

en donde:

- ΔQ : degradación de la calidad según una escala de 6 notas,
- k_2, k_3 : factor de distorsión del segundo y tercer armónicos,
- Δf : error de frecuencia (Hz) de la portadora reconstituida.

Un valor máximo $\Delta Q_{\text{máx}} = 0,25$ parece ser el límite de lo tolerable. Valores de $k_2 = 2,9\%$, $k_3 = 1,7\%$ y $\Delta f = 3,5 \text{ Hz}$, serían admisibles en su conjunto suponiendo que los efectos perturbadores tengan una distribución uniforme.

2.11 Factores adicionales que han de tomarse en cuenta

2.11.1 Habría que adoptar en cada banda de radiodifusión la supresión de la misma banda lateral (superior o inferior). Según las investigaciones realizadas actualmente en materia de tecnología de filtros de frecuencia intermedia y de audiofrecuencia, resulta preferible la supresión de la banda lateral inferior. Por esta razón se sugiere que, para la radiodifusión, la banda lateral superior contenga la señal completa de audiofrecuencia.

2.11.2 La reducción de la portadora no debe exceder de 12 dB. Esta condición se confirmó, desde el punto de vista de la calidad de funcionamiento de un receptor BLU mediante una prueba de recepción realizada en Japón, a una distancia de 2000 km del lugar de transmisión, utilizando receptores BLU experimentales obtenidos incorporando detectores sincronos en receptores de ondas decamétricas convencionales existentes en el mercado.

La fig. 5 muestra la evaluación subjetiva de la calidad del sonido reproducido en receptores BLU experimentales, utilizando la escala de degradación de siete notas de la Recomendación 562, con respecto a la calidad obtenida en receptores DBL con detección de envolvente.

La calidad de recepción de señales BLU era peor que la de señales DBL en los casos en que la reducción de portadora era superior a 12 dB, pues se causaba gran distorsión en el receptor BLU debido a la dificultad de una correcta extracción de portadora.

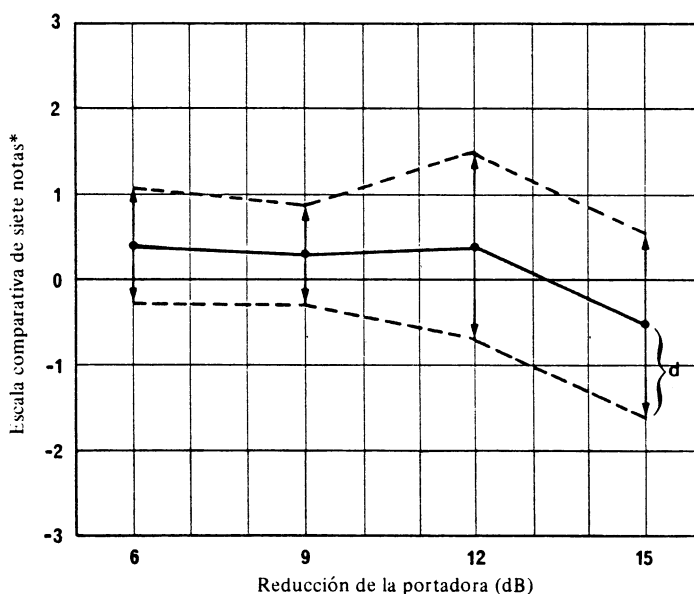


FIGURA 5 – Evaluación en la prueba de recepción utilizando el receptor de radiodifusión BLU experimental para un sistema BLU

d: Desviación típica

* Véase el cuadro II de la Recomendación 562.

2.11.3 La anchura de banda de la audiofrecuencia transmitida debiera guardar relación con la separación entre portadoras. (No puede indicarse una anchura de banda precisa; pero ésta puede muy bien aproximarse al valor de la separación entre portadoras.)

3. Periodo de transición

1987

31.12.1990

2000

31.12.2015

Comienzo del periodo de transición	Los nuevos transmisores deben ser capaces de funcionar en BLU	Ultimo examen de la fecha definitiva de introducción de la BLU	Fin de la transición, BLU con reducción de portadora de 12 dB
BLU: reducción de portadora de 6 dB	Los receptores de bajo coste deben estar equipados con demulación síncrona		
	Examen de la fecha definitiva de abandono de la DBL		

FIGURA 6 – Ejemplo de organización del periodo transitorio de la DBL a la BLU

Durante el periodo de transición, representado en la Figura 6 _____ las emisiones BLU serán sobre todo recibidas por receptores de DBL clásicos que utilizan detección de envolvente. Si se quiere evitar una deterioración excesiva de la calidad de recepción, los transmisores BLU deberán funcionar con una reducción de portadora no superior a 6 dB, lo que influirá en la potencia de los transmisores BLU si se quiere obtener el mismo nivel del sonido. Para obtener en BLU y DBL el mismo nivel del sonido con un receptor DBL clásico de detección de envolvente, la potencia de la banda lateral de la emisión BLU deberá ser superior en 3 dB a la potencia total de las bandas laterales de la emisión DBL. Si no es posible aumentar la potencia de la banda lateral de la emisión BLU, habrá que admitir cierta reducción de la zona de cobertura. Un modo de reducir este problema consiste en agrupar las transmisiones DBL.

La posibilidad de conversión de los transmisores DBL a la explotación BLU se describe en el § 5.3.

3.1 *Evaluación de las cuestiones sobre compatibilidad de un proyecto de sistema BLU*

Uno de los principales **elementos** con que tropieza el **empleo** — de la radiodifusión BLU por ondas decamétricas está constituido por el hecho de que _____ los oyentes no dispondrán todavía de receptores BLU. Como consecuencia, durante un periodo transitorio las emisiones de este tipo habrán de ser captadas con calidad suficiente por receptores clásicos con detección de envolvente. Entre otros parámetros (tales como la anchura de banda de audiofrecuencia y la compresión), el más importante desde el punto de vista de la incompatibilidad es el nivel de reducción de la portadora. La calidad de recepción depende no sólo de las características de transmisión sino también del tipo de receptor utilizado y de su sintonización, así como de las características de propagación tales como la naturaleza e intensidad de los desvanecimientos.

3.2 *Receptores BLU*

La **CMR** HFBC-87 decidió fomentar la introducción inmediata de la BLU, y definió el proceso de transición de la DBL a la BLU (Resolución Nº517HFBC-87). Esta transición **tiene** las consecuencias siguientes desde el punto de vista de la evolución de los receptores:

- Se dejarán de fabricar los receptores clásicos que utilizan únicamente la detección de envolvente.
- Los nuevos receptores que se utilicen durante el periodo de transición y después del mismo, deberán estar dotados de un demodulador síncrono que utilice para la adquisición de la portadora un dispositivo de regeneración de ésta por medio de un bucle idóneo de control que enganche el receptor **en fase con** la portadora entrante. Se cree que los receptores de este tipo funcionarán también con las emisiones DBL clásicas y las emisiones BLU cuya portadora esté reducida en 6 ó 12 dB con relación a la potencia en la cresta de la envolvente.

Las tres principales razones que conducen a recomendar tales demoduladores síncronos son las siguientes:

- Permiten la introducción de técnicas BLU que ahorran espectro sin dificultar la sintonía.
- Permiten recibir las transmisiones DBL y BLU con una reducción de portadora de 6 ó 12 dB.
- En presencia de desvanecimientos selectivos ofrece menos distorsión que los receptores actuales con detección de envolvente.

Para obtener la mejor calidad de recepción que permita la BLU será preciso que los receptores BLU tengan una anchura de banda AF de unos 4 kHz y una selectividad mucho mejor, con un desvanecimiento del orden de 35 dB/kHz, lo que se obtiene actualmente con ayuda de los modernos filtros cerámicos de frecuencia intermedia. No cabe excluir una selectividad algo menos buena, pero a costa de una anchura de banda de audiofrecuencia inferior.

3.3 *Relaciones de protección en radiofrecuencia en el periodo de transición de DBL a BLU*

En lo que sigue, se supone que la banda de paso del transmisor tiene una anchura de 4,5 kHz (véase el anexo I a la Recomendación 639), que los bordes de la banda de paso presentan una pendiente de 40 dB/kHz, que su señal moduladora está sujeta a un alto grado de compresión (véase la Recomendación 560) y que en el caso de una emisión BLU la reducción de la portadora es de 6 dB, y se utiliza la banda lateral superior.

Esta elevada compresión producirá un índice de modulación eficaz a corto plazo del 50% aproximadamente.

3.3.1 *Relaciones de protección cocanal en radiofrecuencia en el periodo de transición*

Dada la necesidad de aumentar en 3 dB la potencia radiada en la banda lateral en el caso de emisiones BLU equivalentes, —————habrá que reservar también un margen de 3 dB para la relación de protección cocanal en el caso de que una señal DBL deseada sea interferida por una señal BLU, si se quiere mantener la misma calidad de recepción. Pruebas prácticas realizadas en Japón han confirmado la necesidad de este margen. Un modo de reducir este problema consiste en agrupar las transmisiones DBL.

3.3.2 *Relaciones de protección relativas en radiofrecuencia en el periodo de transición*

- se supone primero que una señal DBL deseada es recibida por un receptor de DBL convencional con detección de envolvente que es interferida por una emisión de BLU con potencia de banda lateral equivalente .

Con arreglo a la relación de protección en radiofrecuencia resultante, la recepción de la señal DBL deseada en el canal inferior a, por ejemplo, $\Delta f = -5$ kHz se verá degradada en 1 dB aproximadamente, mientras que en las mismas condiciones la recepción de la señal DBL deseada en el canal adyacente superior a $\Delta f = +5$ kHz se verá degradada en 4 dB aproximadamente en comparación con las actuales relaciones de protección en radiofrecuencia, como se especifica en la Recomendación 560.

Sin embargo, si se desplaza ligeramente la sintonía del receptor, pueden obtenerse degradaciones iguales de unos 2,5 dB en ambos lados.

- En el caso de una señal BLU deseada interferida por una señal DBL, los resultados obtenidos coinciden prácticamente con los valores especificados en la Recomendación 560 (curva D). En este caso, la recepción de la señal BLU deseada no se verá degradada durante el periodo de transición.
- En el caso de una señal BLU deseada interferida por una señal BLU, los resultados son los mismos que en el caso de una señal DBL deseada interferida por una señal BLU, porque en ambos casos el receptor es el mismo y las potencias de las bandas laterales son equivalentes. Por tanto, en este caso, se producirá la misma degradación que con una señal DBL interferida por una señal BLU.

Los resultados descritos muestran que durante el periodo de transición las relaciones de protección para $\Delta f = \pm 5$ kHz se ven degradadas en unos 2,5 dB en el caso en que una emisión de BLU interfiera otra BLU o de DBL. Cuando una emisión de BLU es interferida por una de DBL, se necesitarán las mismas relaciones de protección que son ahora válidas para una de DBL interferida por otra de DBL.

Es posible que se disponga durante el periodo de transición de los mismos receptores BLU que son también adecuados para la recepción de señales DBL, e incluso que la recepción de señales DBL mejore debido a sus ventajas (tales como la reducción de la distorsión armónica producida por el desvanecimiento selectivo y una mejor selectividad con una mayor anchura de banda en audiofrecuencia).

3.4 *Relaciones de protección en audiofrecuencia después del periodo de transición para las emisiones BLU con portadora reducida*

Con arreglo a los parámetros técnicos propuestos para un futuro sistema BLU, se supone una reducción de la portadora de 12 dB al mismo tiempo que se mantienen todas las demás hipótesis del § 3.3 para los transmisores. Tanto las señales deseadas como las interferentes son señales BLU.



En la fig. 7 se muestra una serie de relaciones de protección en radiofrecuencia calculadas con dichas hipótesis para distintos receptores BLU que tienen distintas anchuras de banda y pendientes de atenuación.

En la fig. 7 se dan las relaciones de protección relativas en radiofrecuencia, A_{rel} , con respecto a la diferencia de frecuencia Δf entre la portadora deseada f_w y la portadora interferente f_i :

$$\Delta f = f_w - f_i$$

Así, un valor negativo de Δf indica la interferencia del canal adyacente superior.

La curva ① es válida para un receptor BLU cuya respuesta en frecuencia corresponde a la del receptor de referencia de la UER ($B_R = 4$ kHz), y el desplazamiento de sintonía, en este caso obligatorio, da al receptor una banda de paso efectiva en audiofrecuencia de 4 kHz. la recepción en el canal adyacente inferior para $\Delta f = -5$ kHz se ve degradada en unos 7 dB, mientras que la mejora en el canal adyacente superior será de casi 17 dB.

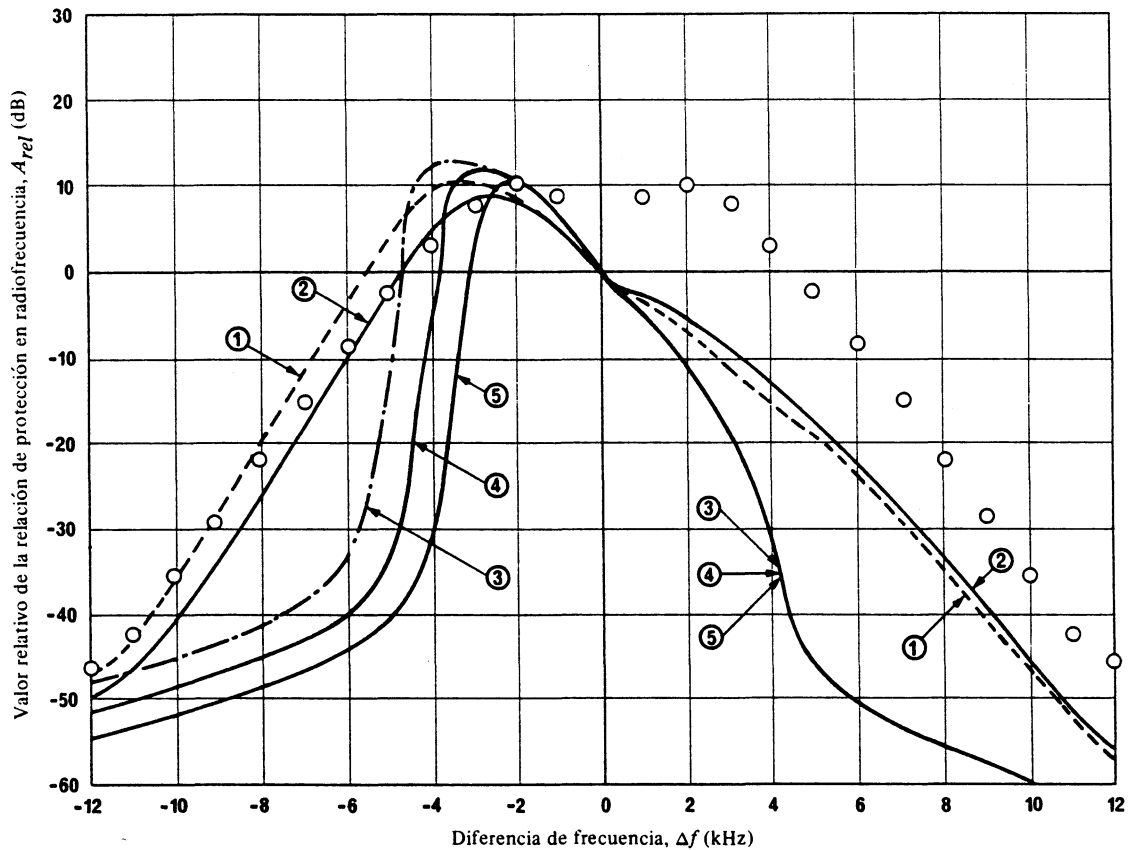


FIGURA 7 - Relación de protección en radiofrecuencia después del periodo de transición

Señal deseada: BLU; señal interferente: BLU

Receptor:

- ① UER $B_R = 4$ kHz; pendiente 8 dB/kHz
- ② UER* $B_R = 3$ kHz; pendiente 8 dB/kHz
- ③ Filtro cerámico $B_R = 4,4$ kHz; pendiente 35 dB/kHz
- ④ Filtro cerámico $B_R = 3,7$ kHz; pendiente 35 dB/kHz
- ⑤ Filtro cerámico $B_R = 3,0$ kHz; pendiente 35 dB/kHz
- ○ ○ Valores de la Recomendación 560, curva D

$\Delta f = f_w - f_i$ B_R : Anchura de banda en radiofrecuencia del receptor

f_i siempre coincide $\Delta f = 0$

* Separado por 1 kHz.

Si ha de utilizarse después del periodo de transición un receptor con los límites de selectividad del receptor de referencia de la UER, este receptor no debe disminuir la relación de protección relativa en radiofrecuencia en el canal adyacente inferior (véase la Recomendación 560 del CCIR) y su anchura de banda en audiofrecuencia podría aumentarse hasta 3 kHz (fig. 7, curva ②), lo que equivaldría a una anchura de banda en radiofrecuencia un 50% superior a la actual (2 kHz)).

Sin embargo, sería mucho más conveniente aprovechar la necesidad de introducir receptores BLU para mejorar su selectividad. Podría lograrse una mejora considerable de la relación de protección relativa utilizando un filtro FI de cerámica con una selectividad en los extremos de la banda de unos 35 dB/kHz. Las relaciones de protección correspondientes para bandas de paso del receptor de 4,4, 3,7 y 3,0 kHz se indican en la fig. 7 por las curvas ③, ④ y ⑤, respectivamente. Con una anchura de banda de 4,4 kHz, la protección mejoraría en unos 7 dB en el canal adyacente inferior y en más de 40 dB en el canal adyacente superior. Como puede verse, se lograría incluso una anchura de banda del receptor de 3,8 kHz con relaciones de protección de al menos 27 dB en los canales adyacentes inferior y superior. Este ejemplo muestra claramente la gran ventaja de mejorar la selectividad en los extremos de la banda del receptor.

3.5 Conclusiones

En el cuadro III se resumen los efectos de la introducción de emisiones BLU con reducción de la portadora en 6 dB durante el periodo de transición y con reducción de la portadora en 12 dB en la fase final. Estos efectos presuponen la utilización de receptores con respuesta en frecuencia como el receptor de referencia de la UER durante el periodo de transición y un receptor BLU equipado con un filtro FI de cerámica o mecánico que tenga una anchura de banda de unos 4 kHz y una pendiente de atenuación de 35 dB/kHz.

Si un transmisor DBL existente se adapta a la explotación BLU se tendrá en la banda lateral una potencia inferior a la potencia equivalente de las bandas laterales. Esto dará como resultado una relación señal/interferencia en audiofrecuencia unos 3 dB inferior a la que se tenía en DBL.

4. Valores relativos de las relaciones de protección en RF

La CAMR HFBC-87 estudió la posibilidad de utilizar los siguientes valores relativos de las relaciones de protección en RF.

Los valores de las relaciones de protección relativas en RF dados en el cuadro IV deben utilizarse siempre que haya emisiones BLU como las especificadas en el apéndice 45 al Reglamento de Radiocomunicaciones, en la utilización de las bandas de ondas decamétricas atribuidas a título exclusivo al servicio de radiodifusión.

Los valores dados se refieren al caso de las señales deseada y no deseada en DBL en el mismo canal para una misma calidad de recepción.

Para la recepción de las señales deseadas DBL y BLU (reducción de la portadora de 6 dB con respecto a la potencia en la cresta de la envolvente), se supone un receptor convencional de DBL con detección por envolvente diseñado para una separación de canales de 10 kHz.

Para la recepción de una señal BLU deseada (reducción de la portadora de 12 dB con respecto a la potencia en la cresta de la envolvente), se supone un receptor de referencia como el especificado en el punto 3, parte B del apéndice 45 al Reglamento de Radiocomunicaciones.

En las señales BLU con una reducción de portadora de 6 dB con respecto a la potencia en la cresta de la envolvente se supone una potencia equivalente de banda lateral como la especificada en el punto 1.2, parte B del apéndice 45 al Reglamento de Radiocomunicaciones.

Los valores para el caso 2 del cuadro IV corresponden a una situación en la que la frecuencia central de la banda de paso de la frecuencia intermedia del receptor de DBL coincide con la frecuencia portadora de la señal BLU deseada. Cuando no es así, el valor para +5 kHz puede aumentar a -1 dB.

CUADRO III – Resumen de los efectos de la introducción de transmisiones BLU con reducción de la portadora de 6 dB durante el periodo de transición y con reducción de la portadora de 12 dB más tarde

	Sistema durante la transición		Sistema final
Reducción de la portadora del transmisor	6 dB		12 dB
Potencia total del transmisor	Con portadora constante: más potencia Con portadora flotante: menos potencia (comparable al sistema final)		Menos potencia
Costo inicial del transmisor (inversión)	Mayor que el de un transmisor DBL convencional		Menos que el de un DBL
Costo de explotación del transmisor	Mayor que el de un transmisor DBL convencional		Menos que el de un DBL
Anchura de banda del transmisor	DBL: $\pm 4,5$ kHz/BLU: +4,5 kHz		BLU: +4,5 kHz
Características de selectividad del receptor	DBL: UER	BLU: Filtro de cerámica	BLU: Filtro de cerámica
Anchura de banda AF del receptor	2 kHz	3,7-4 kHz	3,7-4 kHz
Anchura de banda RF del receptor	4 kHz	3,7-4 kHz	3,7-4 kHz
Pendiente del filtro FI	8 dB/kHz	35 dB/kHz	35 dB/kHz
Precio del receptor	Ningún cambio	Inicialmente más caro	Menos caro que durante la transición
Separación entre canales	10 kHz		5 kHz
Utilización del espectro	Ningún ahorro, ligeramente menos eficaz		Hasta el doble de las emisiones
Relación de protección relativa para el canal adyacente	2,5 dB peor	Mejor	Unos 25 dB mejor
Calidad	Ligeramente peor	Mejor	Mejor

CUADRO IV - Valores relativos de las relaciones de protección en RF respecto a la relación de protección en RF en el mismo canal para señales DBL deseadas y no deseadas (en DB)* para uso en las bandas de ondas decamétricas atribuidas a título exclusivo al servicio de radiodifusión.

	Señal deseada	Señal no deseada	Separación entre frecuencias portadoras f no deseada - f deseada Δf (kHz)								
			-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20
1	Doble banda lateral (DBL)	Banda lateral única (BLU) (reducción de la portadora de 6 dB respecto a P_p)	-51	-46	-32	+1	3	-2	-32	-46	-51
2	Banda lateral única (BLU) (reducción de la portadora de 6 dB respecto a P_p)	Doble banda lateral (DBL)	-54	-49	-35	-3	0	-3	-35	-49	-54
3	Banda lateral única (BLU) (reducción de la portadora de 6 dB respecto a P_p)	Banda lateral única (BLU) (reducción de la portadora de 6 dB respecto a P_p)	-51	-46	-32	+1	0	-2	-32	-46	-51
4	Banda lateral única (BLU) (reducción de la portadora de 12 dB respecto a P_p)	Banda lateral única (BLU) (reducción de la portadora de 12 dB respecto a P_p)	-57	-57	-57	-45	0	-20	-47	-52	-57

* No es necesario tener en cuenta las separaciones de frecuencia Δf inferiores a -20 kHz ni superiores a 20 kHz.

5. Tecnología de los transmisores

5.1 Transmisores de DBL

Los modernos transmisores de doble banda lateral de alta potencia siguen utilizando una válvula en la etapa final del amplificador para generar la alta potencia de radiofrecuencia. La modulación de amplitud se genera utilizando un modulador digital que modula la tensión anódica por medio de una modulación de anchura de impulsos o de etapas de impulsos. Este método con acoplamiento en corriente continua permite un funcionamiento dinámico del nivel de portadora (DAM) o la generación de señales de BLU con un amplificador de potencia de radiofrecuencia de clase C.

Los transmisores de DBL modernos de 100 a 500 kW de potencia suelen tener una eficacia de 65 a 75%, con una profundidad de modulación de 100%. Al disminuir la profundidad de modulación estos valores disminuyen solamente un poco en porcentaje.

5.2 Transmisores de BLU

En los transmisores modernos, la BLU puede generarse con uno de los dos métodos siguientes:

- a) generación de BLU de bajo nivel seguida de una amplificación de potencia lineal de clase AB o B;
- b) generación de BLU de bajo nivel seguida de una separación de la información de amplitud y de la información de fase. La información de amplitud se modula en amplitud con un modulador anódico según se indica en el § 5.1. La fuente de frecuencia para el transmisor se modula en fase con la información de fase obtenida. La señal compuesta, disponible en la salida del transmisor, es similar a la señal de BLU. Este método se denomina "método Kahn".

El primer método arroja una eficacia total del transmisor de alrededor del 40% con una P_p completa, es decir una modulación al 100%, utilizando circuitos adicionales de ahorro de energía. Con la modulación al 100% el segundo método alcanza una eficacia de 65 a 75%, similar al valor de la DBL. Con un nivel de modulación medio del 40% y una reducción de portadora de 12 dB, la eficacia total del método Kahn disminuye un 10%, lo que da una eficacia de 55 a 65%. Esta disminución de la eficacia se debe a que la potencia media de salida en RF disminuye mientras que las necesidades de potencia de entrada del transmisor (refrigeración, calefacción, etc.) siguen siendo las mismas.

La P_p máxima que se puede obtener para la BLU es inferior a la P_p máxima de la DBL en los transmisores que pueden funcionar en modos DBL y BLU. Para el método de amplificación lineal la P_p alcanza 0,25 veces el valor de la DBL. La P_p generada con el método Kahn alcanza 0,5 a 0,75 veces el valor de la DBL.

Si P_p se mantiene constante, el cambio de -6 dB a -12 dB del nivel de la portadora puede utilizarse para aumentar hasta 3,5 dB la potencia de banda lateral deseada.

5.3 Posibilidades de conversión a BLU de los transmisores de DBL existentes

La mayoría de los transmisores de DBL existentes aplican una modulación anódica utilizando un transformador de modulación y un choque de modulación. El modulador de ánodo se acopla en corriente alterna con la etapa final de radiofrecuencia y, por consiguiente, sólo es posible el tipo de amplificación lineal de la generación de BLU. Las modificaciones que ello conlleva son importantes. La P_p de BLU resultante no puede rebasar la potencia portadora de DBL original.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GRÖSCHEL, G. [junio de 1978] A mathematical model for the calculation of the adjacent channel interference in single-sideband and double-sideband AM sound-broadcasting systems. *EBU Rev. Tech.*, **169**, 122-136.
- THIESSEN, P. [agosto de 1973] Assessment of the deterioration in quality of single-sideband transmissions as result of frequency error and harmonic distortion. *EBU Rev. Tech.*, **140**, 179-187.

Documentos del CCIR

- [1978-82]: a. 10/41 (Alemania (República Federal de)); b. 10/11 (Alemania (República Federal de)).
- [1982-86]: a. 10/7 (Japón).