

INFORME 899-1

**SISTEMAS DE MODULACIÓN DE ALTA EFICACIA DESDE EL
PUNTO DE VISTA DE LA UTILIZACIÓN DEL ESPECTRO
PARA EL SERVICIO MÓVIL TERRESTRE**

(Cuestión 7/8; Programa de Estudios 7B/8)

(1982-1990)

1. Sistema Lincompex (sistema con compresor y expansor interconectados)**1.1 Introducción**

El sistema Lincompex se ha desarrollado para mejorar la calidad del servicio radiotelefónico que utiliza las bandas de ondas decamétricas. Las características del equipo Lincompex para los servicios telefónicos fijo y móvil marítimo por ondas decamétricas, especificadas en las Recomendaciones 455 y 475, son totalmente satisfactorias para la explotación práctica de la radiotelefonía en ondas decamétricas.

La congestión en la banda de ondas métricas del servicio móvil terrestre plantea un grave problema en muchos países, debido al rápido crecimiento del servicio móvil telefónico terrestre en zonas geográficas de extensión limitada. La técnica de banda lateral única es indudablemente la mejor manera de reducir al mínimo la anchura de banda ocupada. Sin embargo es difícil, utilizada en su forma habitual, hacer frente con esta técnica a las condiciones de propagación propias del servicio móvil terrestre, como por ejemplo los desvanecimientos rápidos y el fuerte ruido impulsivo en las zonas urbanas.

El sistema Lincompex posee propiedades que permiten la protección contra esas condiciones.

Se entiende generalmente que el sistema Lincompex puede ser utilizado en el servicio móvil terrestre radiotelefónico, mejorando algo las características básicas del sistema Lincompex que se utiliza en las frecuencias de ondas decamétricas.

1.2 Características mejoradas del sistema Lincompex para el servicio móvil terrestre

Con el fin de superar las condiciones de propagación inherentes al servicio móvil terrestre radiotelefónico, se han introducido las siguientes mejoras en los equipos utilizados en las pruebas efectuadas en Japón [Kadokawa y otros, 1981]:

- Con el fin de reducir el efecto Doppler y la influencia del error de frecuencia, se aumenta la sensibilidad de la modulación de frecuencia en el canal de control a 6 Hz/dB (el triple de 2 Hz/dB utilizado en la banda de ondas decamétricas).
- Con el fin de compensar los desvanecimientos rápidos e intensos, se han dividido por 3, aproximadamente, los tiempos de establecimiento y de vuelta al reposo del compresor y del expansor; además el tiempo de establecimiento del regulador de desvanecimiento se ha reducido 10 veces con relación al Lincompex de ondas decamétricas; el límite inferior de dicho regulador de desvanecimiento se amplía en unos 15 dB; el nivel en el canal de control se aumenta hasta alcanzar el mismo nivel del canal telefónico.
- Con el fin de mejorar la calidad telefónica, se emplea un circuito de preacentuación, con una característica de 6 dB/octava.

1.3 Resultados de las pruebas

En las pruebas prácticas realizadas en Japón se obtuvieron resultados satisfactorios. En el cuadro I se recogen los resultados obtenidos en estas pruebas, respecto a la intensidad media de campo correspondiente a cada nota de evaluación.

CUADRO I - Valores medidos de la intensidad media de campo necesaria para cada nota

Nota	Apreciación general	Intensidad de campo en dB(μ V/m)		
		Lincompex	MF	BLU
5	excelente	41	47	(1)
4	buena	25	30	37
3	regular	18	22	24
2	mala	18	16	19
1	inutilizable	(2)	(2)	(2)

(1) No se conoce.

(2) No medido.

Conforme se indica en la escala de notas de 3 a 5, el sistema Lincompex sometido a prueba dio la misma calidad de transmisión de la palabra, aunque la intensidad de campo sea unos 5 dB inferior a la del sistema de modulación de frecuencia. Las personas que efectuaron la evaluación de la calidad de transmisión de la palabra estimaron que el sistema Lincompex apenas resultó afectado por el desvanecimiento, y que la protección contra el ruido urbano fue casi la misma que en el sistema de modulación de frecuencia.

En cuanto a la selectividad para la señal adyacente, se advierte que la relación entre el nivel de la señal radioeléctrica interferente y el de la señal radioeléctrica deseada es superior a 70 dB con una separación de frecuencia de 6 kHz.

1.4 Labor futura

Para mejorar las características técnicas y contribuir a reducir la separación entre canales, hay que proseguir los estudios.

Se invita a las administraciones a acelerar los estudios con miras a reducir la separación entre canales en el servicio móvil terrestre por ondas métricas.

Sin embargo, hay otros factores que influyen directamente en el grado en que el sistema Lincompex puede contribuir a reducir la separación entre canales. En particular, es necesaria una estabilidad de frecuencia sumamente alta para lograr los resultados mencionados. El logro de esa estabilidad es muy costoso en la actualidad y aumenta considerablemente el tamaño del equipo portátil y de ciertos equipos móviles.

2. Sistema BLU (Yugoslavia)

2.1 Introducción

En Yugoslavia [CCIR, 1974-78] se han utilizado ya, durante más de cinco años, varios millares de equipos por ondas métricas (VHF) de banda lateral única (BLU) para aplicaciones en el servicio móvil terrestre.

La calidad de funcionamiento de la BLU se comparó con la de la MF, tanto mediante pruebas de laboratorio como pruebas en condiciones reales, utilizando transmisores-receptores que podían funcionar en ambos modos. Se emplearon los mismos pasos de entrada en los receptores y el mismo amplificador lineal de potencia en los transmisores. La polarización del amplificador de potencia se ajustó separadamente para ambos modos.

2.2 Características del equipo

Las características de los transmisores-receptores se resumen en el cuadro II.

CUADRO II- Características de los transmisores-receptores

Transmisor

	Potencia de salida RF (W)	Anchura de banda	Tratamiento de las señales vocales
MF	2, 6, 20	Excursión de frecuencia ± 5 kHz	Preacentuación
BLU	2, 6, 20	2,4 kHz	Recortador de crestas de 20 dB

Receptor

	Sensibilidad	Anchura de banda FI	Tratamiento de las señales vocales
MF	1 μ V/20 dB SINAD	16 kHz/6 dB	Desacentuación
BLU	1 μ V/20 dB SINAD	2,4 kHz/6 dB	

2.2.1 Estabilidad de frecuencia

Por su bajo consumo de energía, tiempo de precalentamiento nulo y pequeño tamaño, se utilizó un oscilador de cristal con efectos de temperatura compensados (TCXO).

Variación de la frecuencia en función de la temperatura: $\pm 1 \times 10^{-6}$ (-30 a $+60$ °C). Esta estabilidad basta para asegurar una comunicación confiable de BLU hasta 100 MHz.

2.3 Resultados de las pruebas

2.3.1 Consumo de energía

En los equipos portátiles, el peso, el tamaño y el consumo de energía tienen suma importancia. Las comparaciones se basan en la misma potencia de salida de RF para BLU y MF. En el cuadro III aparece una comparación directa entre el consumo de energía del mismo equipo en los modos MF y BLU.

CUADRO III- Comparación del consumo de energía de los transmisores-receptores MF y BLU

Transmisión	Salida de potencia RF	Consumo de energía (W)		Nivel del producto de intermodulación (dB)
		Amplificador final de potencia ⁽³⁾	Transmisor	
MF	20 W _{eff}	36	52	
BLU-I ⁽¹⁾	20 W potencia en la cresta de la envolvente	22	36	-30
BLU-II ⁽²⁾	20 W potencia en la cresta de la envolvente	14	22	-30

$f = 37$ MHz.

(1) BLU-I: Con señal de prueba de dos tonos (CCIR).

(2) BLU-II: Nivel medio de voz; con limitación de amplitud de 20 dB.

(3) Amplificador final de potencia de RF optimizado separadamente para BLU y MF.

En la fig. 1 se compara el consumo de energía en diferentes niveles de potencia de salida de RF.

El diagrama indica que el consumo de energía en un sistema MF es superior al doble del de un sistema BLU de potencia de salida de RF equivalente.

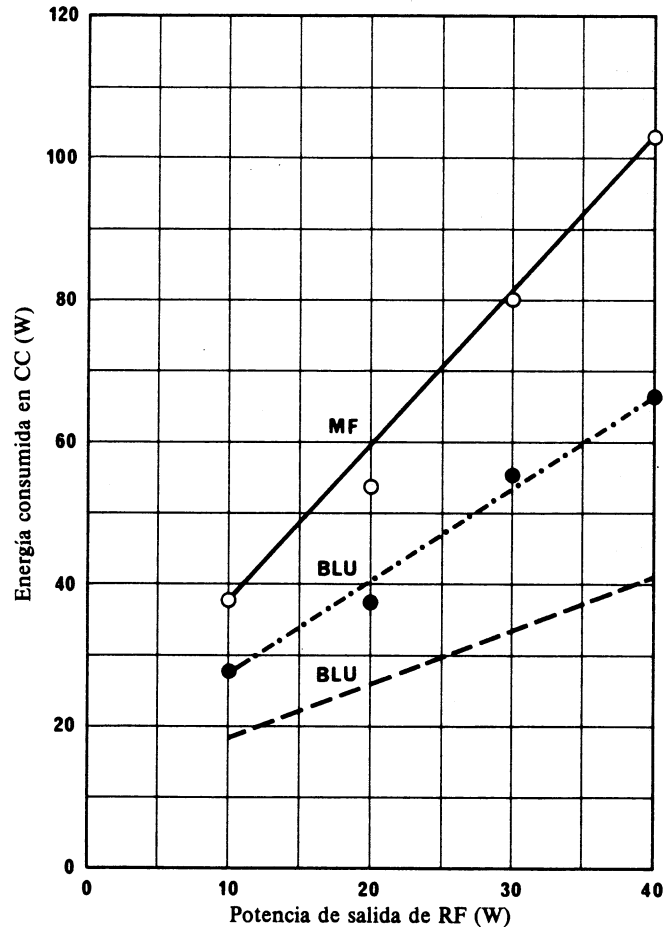


FIGURA 1 - Comparación del consumo de energía con diferentes niveles de potencia de RF

- - - - MF
 ······ BLU 2 tonos
 - · - · BLU-nivel telefónico medio

Nivel de productos de intermodulación: -30 dB
 $f = 37$ MHz

2.3.2 Alcance máximo

Se empleó un método de nitidez de los logatomos para comparar la eficacia de las técnicas de modulación de MF y BLU con respecto a la inteligibilidad. Una prueba completa comprendía 2000 logatomos.

Los resultados de las pruebas de laboratorio aparecen en la fig. 2, donde puede verse que en las condiciones correspondientes al alcance máximo, la potencia de salida de radiofrecuencia de un transmisor MF debe ser superior en 6 a 10 dB a la del transmisor de BLU.

Las extensas pruebas prácticas efectuadas demostraron que en condiciones de alcance máximo se obtenía la misma calidad de comunicación aceptable con una salida de potencia de radiofrecuencia de 2 W (potencia en la cresta de la envolvente) en el sistema BLU y de 20 W en el sistema MF.

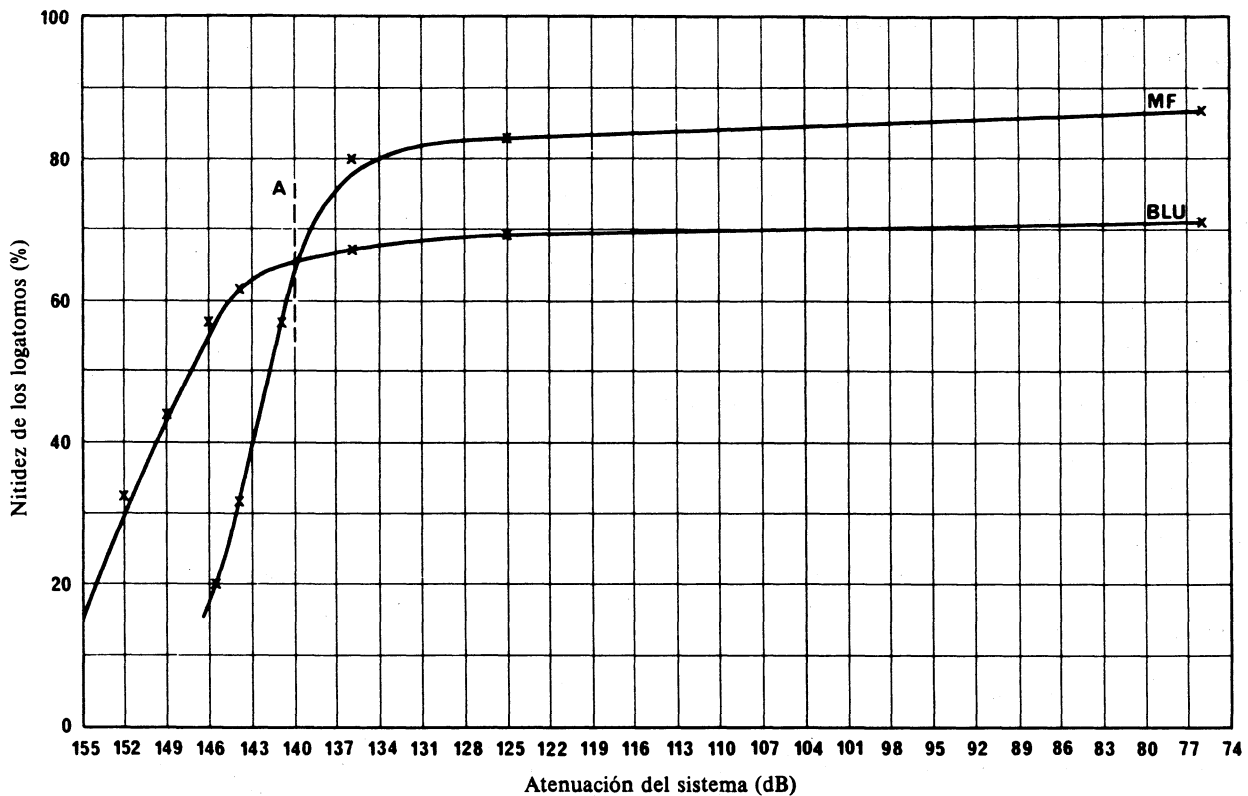


FIGURA 2 - Nitidez de los logatomos en función de la atenuación del sistema

A: receptor MF/BLU: sensibilidad, $1 \mu\text{V}$; SINAD, 20 dB
 MF: potencia de salida de RF 2 W
 BLU: potencia de salida de RF 2 W (potencia en la cresta de la envolvente) y limitación de amplitud: 20 dB

2.4 Conclusiones

Deben realizarse considerables estudios adicionales acerca de las cuestiones siguientes:

- Selectividad de canal adyacente;
- Interferencia en el mismo canal, BLU/BLU y BLU/MF;
- Métodos de tratamiento de las señales vocales;
- Inmunidad con respecto al ruido impulsivo.

3. Sistema BLU (Reino Unido)

3.1 Introducción

En el Reino Unido se ha investigado la posibilidad de utilizar sistemas de banda lateral única (BLU) con el objeto de reducir la congestión del espectro en las bandas de frecuencias atribuidas al servicio móvil terrestre por debajo de 500 MHz, y se han llevado a cabo varias pruebas de laboratorio y en condiciones reales con el objeto de evaluar la calidad de funcionamiento de diferentes sistemas BLU en comparación con la de sistemas MA y MF existentes.

3.2 Sistemas de banda lateral única

A fin de cumplir los requisitos de control automático de ganancia (CAG) de los sistemas BLU que se utilizan en el servicio móvil terrestre en un medio en que la señal recibida está sujeta a desvanecimiento rápido, debe transmitirse una señal continua con la banda lateral vocal a fin de mantener el CAG.

La señal continua puede proporcionarse mediante uno de los sistemas siguientes:

- una portadora piloto;
- un tono en la banda de paso de audiofrecuencia o en el borde de ella;
- una subportadora de control Lincompex;
- una subportadora de datos.

Los estudios realizados en el Reino Unido se han concentrado en los dos primeros de estos sistemas con señales piloto en la gama -10 a -20 dB con respecto a la potencia en la cresta de la envolvente.

La anchura de banda de radiofrecuencia necesaria depende de la anchura de banda de audiofrecuencia requerida y del tipo de señal piloto empleada, aunque en general no es superior a 3000 Hz para aplicaciones móviles terrestres.

El control automático de ganancia con realimentación, que utiliza la señal piloto como referencia, puede emplearse en frecuencias de hasta 200 MHz, aproximadamente. Para aplicaciones en bandas decimétricas puede emplearse una combinación de control automático de frecuencia en las etapas anteriores y posteriores.

3.3 *Separación de canales y tolerancia de frecuencias*

Una tolerancia de frecuencia global del sistema de 500 Hz permitirá la utilización de un espaciamiento de canales de 5 kHz.

Las consideraciones de tipo económico indican que es ventajoso emplear una estación de base de alta estabilidad, con una tolerancia de frecuencia estrecha y, por tanto, que admita una tolerancia de frecuencia mayor (próxima a ± 500 Hz) para las estaciones móviles más numerosas.

3.4 *Interferencia impulsiva*

Los experimentos han demostrado que un receptor BLU con anchura de banda de frecuencia intermedia de 3 kHz no es excesivamente sensible al ruido impulsivo [Gosling y otros, 1979]. Aunque los impulsos típicos de ruido de encendido se extienden en mayor grado por el filtro estrecho del receptor BLU, la energía total que pasa por el filtro es correspondientemente menor. Comparaciones directas con equipos MF con una separación de 25 kHz en un medio de ruido elevado han mostrado que el efecto subjetivo del ruido de encendido es aproximadamente el mismo [Wells, 1978].

3.5 *Interferencia en el mismo canal*

Pruebas subjetivas han demostrado que, en condiciones reales de servicio de los sistemas radioeléctricos móviles, los efectos de interferencia en el mismo canal en un sistema BLU con disposición de canales de 5 kHz son muy similares a los que sufren los sistemas MF de 25 kHz [Garner, 1980]. En ambos casos es necesaria una relación señal/interferencia, del orden de 16 dB para lograr una calidad de recepción correspondiente a la nota 3 de apreciación del cuadro II del punto 1.4 de este Informe.

En las figs. 3a a 3c se encuentra la gama de apreciaciones subjetivas efectuadas con diversas relaciones de interferencia en el mismo canal para diferentes niveles de señal deseada y desplazamiento de portadora. Estas curvas se basan en pruebas subjetivas realizadas en el Reino Unido [Garner, 1980], en las que las señales deseada y no deseada tenían el mismo tipo de modulación. La señal deseada estaba en sintonía y la señal no deseada tenía desplazamientos de portadora de 75 Hz para el sistema BLU y de 500 Hz para el sistema MF, que se consideró que daban el resultado más desfavorable para cada tipo de sistema.

Otras pruebas subjetivas efectuadas por el Departamento del Interior del Reino Unido han revelado que, en casi todas las condiciones, el equipo MF de 25 kHz proporciona mejor calidad de servicio en el mismo canal que el equipo BLU de 12,5 kHz con MF o de 12,5 kHz con MA. Sin embargo, en las zonas urbanas y suburbanas, el equipo BLU no resultó acusadamente inferior al equipo MF de 25 kHz y, en todas las condiciones, dio una calidad de servicio por lo menos igual al equipo MF o MA de 12,5 kHz.

3.6 *Compatibilidad con las señales de control existentes*

Cuando se utiliza una señal piloto para el control automático de frecuencias, pueden emplearse la mayoría de los sistemas de señalización normalizados.

3.7 *Pruebas de evaluación por los usuarios*

Los resultados de una prueba de evaluación por los usuarios efectuada en el Reino Unido en condiciones típicas de servicio móvil terrestre privado sin utilización de palabra [Barnes, 1981] han demostrado que podría utilizarse equipo BLU de 5 kHz sin pérdida alguna de calidad o inteligibilidad en comparación con equipo de 12,5 kHz. Además, en algunas situaciones de gran intensidad de campo, la calidad de los sistemas BLU sería mejor que la de los sistemas MF de 25 kHz.

Sin embargo, se juzgó que bajo casi todas las circunstancias se ha demostrado que el equipo MF de 25 kHz proporcionaría una calidad de servicio superior.

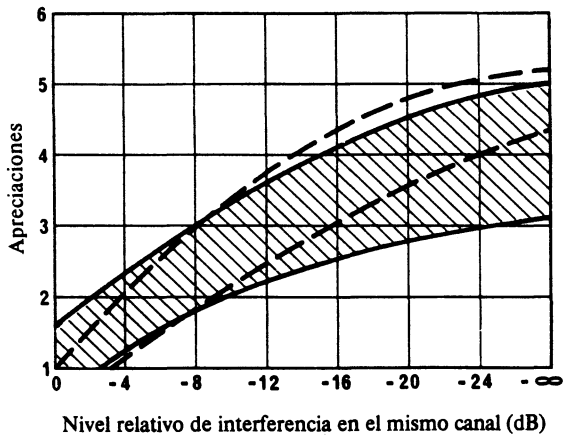


FIGURA 3a

———— : BLU
 - - - - : MF
 Señal deseada: 10 μ V
 Desplazamiento de la portadora: nulo

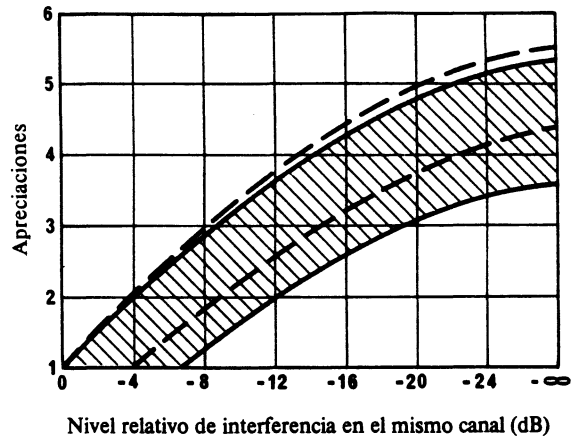


FIGURA 3b

———— : BLU
 - - - - : MF
 Señal deseada: 3 μ V
 Desplazamiento de la portadora: 75 Hz para BLU
 500 Hz para MF

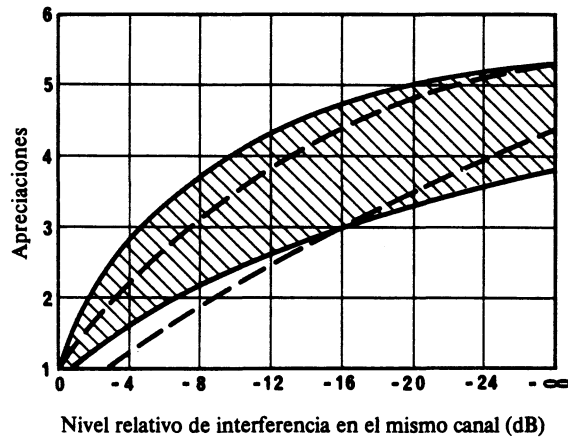


FIGURA 3c

———— : BLU
 - - - - : MF
 Señal deseada: 10 μ V
 Desplazamiento de la portadora: 75 Hz para BLU
 500 Hz para MF

4. Sistema de BLU (Estados Unidos de América)

4.1 Introducción

Se han realizado experimentos de laboratorio en los Estados Unidos de América sobre el empleo de equipos de banda lateral única compandida en amplitud (BLCA) para las comunicaciones móviles en ondas métricas. Estos equipos emplean compansión de amplitud y tratamientos de la voz por preacentuación y desacentuación de audio. Se hacen algunas comparaciones con receptores MF, MA y BLCA.

4.2 Pruebas de tono y voz en el mismo canal

Se utilizaron los siguientes tipos de receptores:

- BLCA: para emisiones 3K00 R3E con expansor 4:1 y desacentuación de 12 dB/octava,
- MF, 25 kHz: para emisiones 16K0 F3E con desacentuación de 6 dB/octava,
- MF, 12,5 kHz: para emisiones 11K0 F3E con desacentuación de 6 dB/octava,
- MA: para emisiones 6K00 A3E.

La sensibilidad de referencia de cada receptor se midió de conformidad con la Publicación 489 de la CEI y se ajustó para un valor igual de ruido de 10 dB. La sensibilidad de referencia de los cuatro receptores es la siguiente:

dB (μ V) a la entrada del receptor

BLCA	- 6,0
MF, 25 kHz	- 12,5
MF, 12,5 kHz	- 15,0
MA	- 3,0

En la fig. 4 se indica la gama de la característica SINAD para cada receptor con entradas de señal de -20 dB(μ V) y 10 dB(μ V). Estos resultados no reflejan necesariamente la calidad de funcionamiento del sistema con otra modulación que no sea la de tono constante.

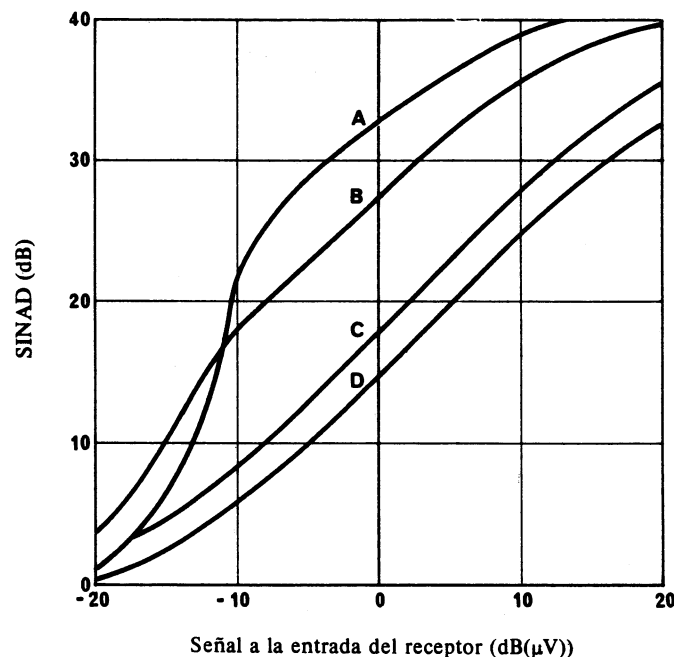


FIGURA 4 - Sensibilidad del receptor

- A: MF - 25 kHz
- B: MF - 12,5 kHz
- C: BLCA
- D: MA

Con tres de los cuatro receptores se efectuaron pruebas de interferencia en el mismo canal empleando modulación vocal.

La protección se basa en la relación (dB) entre la señal deseada media y la señal interferente media, necesaria para evitar una degradación de la calidad de la palabra. La señal deseada se moduló con extractos de una emisión de noticias en lengua inglesa y la señal interferente se moduló con voz femenina que leyó frases de Harvard.

Cada señal se introdujo en un simulador diferente de trayectos múltiples y su nivel se ajustó del modo descrito. Durante las pruebas, el valor medio de la señal deseada se estableció en un nivel fijo, y se dieron instrucciones a los oyentes para que fijasen la señal interferente en el nivel más alto sin degradar empero la calidad de la palabra. Los resultados, representados en la fig. 5, se promediaron para un equipo de 5 personas.

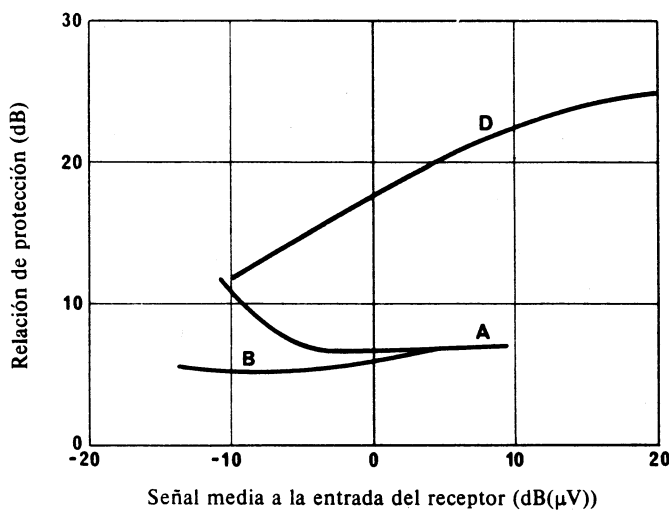


FIGURA 5 - Relación de protección cocanal, modulación vocal, desvanecimiento de Rayleigh

A: MF - 25 kHz
 B: MF - 12,5 kHz
 C*: BLCA
 D: MA

* No se dispone de los resultados completos de las pruebas con receptores BLCA, que se incluirán posteriormente.

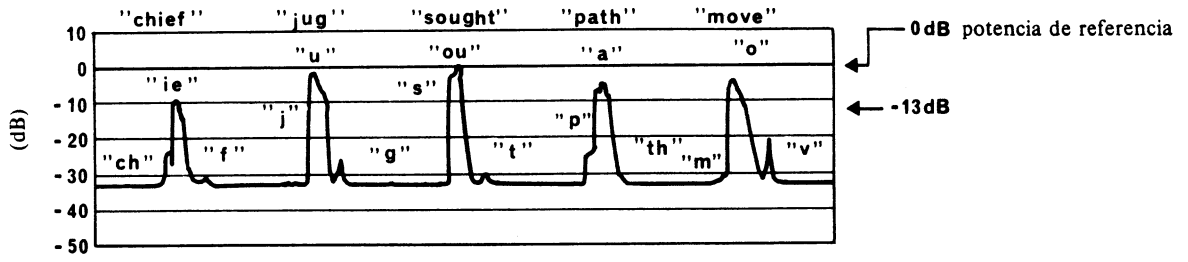
4.3 Pruebas vocales de señal deseada (receptor BLCA)

La fig. 6 adjunta, ilustra el modo en que la preacentuación, la desacentuación y la compansión de amplitud mejoran la relación señal/ruido de ciertos tipos de sílabas, en comparación con una señal transmitida y recibida en BLU, sin procesamiento de audio.

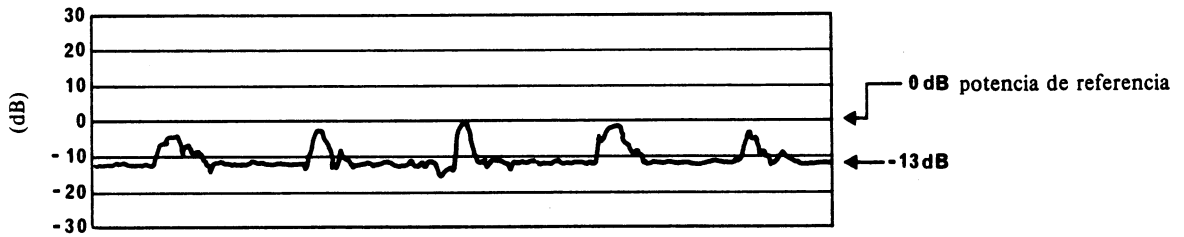
Ha sido difícil proceder a mediciones significativas de la calidad de funcionamiento de los equipos BLCA utilizando procedimientos de prueba objetivos normalizados, pues tal vez estos procedimientos no tienen en cuenta el empleo de tratamiento de la voz. Las pruebas subjetivas (Pruebas de diagnóstico de rima) indican que la calidad de funcionamiento de estos equipos es mejor que la que indican las pruebas objetivas. Tales conclusiones deben interpretarse con prudencia.

Los experimentos parecen prometedores. Los trabajos de realización y experimentación en condiciones de explotación real continúan en los Estados Unidos de América.

Potencia silábica de transmisión

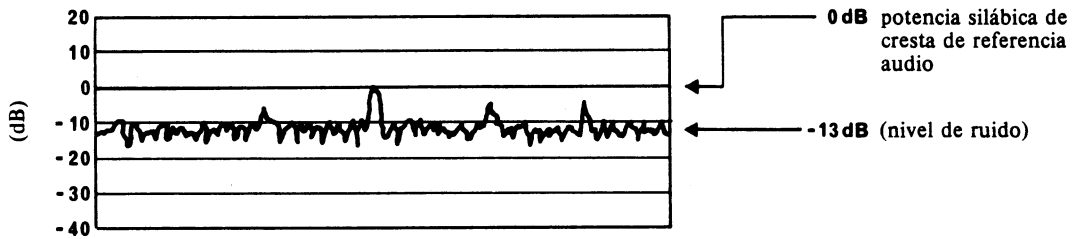


a) BLU

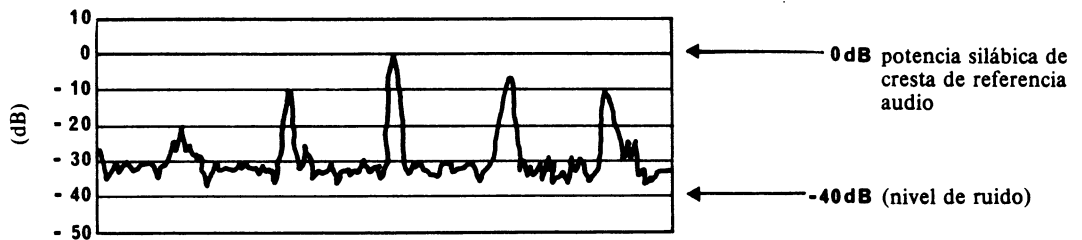


b) BLCA

Señales de salida de audio del receptor con ruido 13 dB por debajo de la potencia de referencia 0 dB



c) BLU



d) BLCA

FIGURA 6 - Calidad de funcionamiento de los equipos radioeléctricos BLU y BLCA con palabras de prueba del idioma inglés en ausencia de desvanecimiento por trayectos múltiples

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNES, D. M. [julio de 1981] A subjective evaluation of single-sideband radio for use in private land mobile radio services – initial trials. IERE Conf. Proc.
- GARNER, P. J. [abril de 1980] Co-channel and quasi-synchronous characteristics of SSB. IEE Conference Comms. 80. Communications equipment and systems. Conf. Publ. No. 184, 174-177, Birmingham, Reino Unido.
- GOSLING, W., MCGEEHAN, J. P. y RICHARDSON, J. H. [septiembre de 1979] SSB as an optimum modulation for land mobile radio. IERE Conf. Proc. No. 44.
- KADOKAWA, Y., TSUKADA, F., TANAKA, K. y KOBAYASHI, T. [abril, 1981] SSB Lincompex transmitter and receiver for land mobile communication. 31st Vehic. Tech. Conf. of the IEEE, págs. 149-154.
- WELLS, R. [julio de 1978] SSB for VHF mobile radio at 5 kHz channel spacing. IERE Conf. Proc. on Radio Receivers and Associated Systems, No. 40, Southampton, Reino Unido.
- Documentos del CCIR*
[1974-78]: 8/382 (Yugoslavia (República Socialista Federativa de)).

BIBLIOGRAFÍA

- BELANGER, R. L. [1971] A double-sideband limiting radio frequency speech processor... US Naval Postgraduate School, Monterey, Estados Unidos de América.
- CCIR [1978] Informe 509-2. Calidad de transmisión y técnicas de modulación en los servicios de radiocomunicación y radiodeterminación por satélite para aeronaves y barcos. Vol. VIII, 284-296.
- FRENCH, R. C. [agosto de 1979] The effect of fading and shadowing on channel re-use in mobile radio. *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, Vol. VT-28, 3.
- GIBSON, R. W. y WELLS, R. [27 de marzo de 1979] The potential of SSB for land mobile radio. 29th Annual Conference of the IEEE Vehicular Technology Society, 27-30 de marzo, Arlington Heights, Ill., Estados Unidos de América, Conf. Record, Session 2A: New communication techniques and technologies – II, 90-94.
- GOSLING, W. [febrero de 1979] Single-sideband as a contribution to spectrum efficient civil land mobile radio. Intelcom 79, Dallas. Estados Unidos de América, Horizon House International.
- ITO, S. y MATSUZAKA, Y. [noviembre de 1978] 800 MHz band land mobile telephone system – overall view. *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, Vol. VT-27, 4, 205-211.
- LUSIGNAN, B. B. [julio de 1980] The use of amplitude compandored SSB in the mobile radio bands: Final Report. Communication Satellite Planning Center, Report No. 31 (Universidad de Stanford), Estados Unidos de América.
- MIKULSKI, J. J. [1979] Technology and spectrum efficiency. Intelcom 79, Dallas, Estados Unidos de América. Horizon House International.
- PONTIUS, B. [abril de 1981] Linear amplifier tests for SSB mobile radio. 31st Vehic. Tech. Conf. of the IEEE, IEEE Catalogue 81CH1638-6, Library of Congress Catalogue Card 75-643443.
- WALA, P. [marzo de 1980] Rhyme test performance of ACSB, narrowband and FM radios. Communication Satellite Planning Center, Report No. 28.
-