

RECOMENDACIÓN UIT-R BS.1514-1

Sistema para radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz

(Cuestión UIT-R 217/10)

(2001-2002)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que hay una creciente necesidad mundial de medios adecuados para radiodifundir señales sonoras monofónicas o estereofónicas de alta calidad a receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos;
- b) que los oyentes de programas radiofónicos en ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas no pueden aún beneficiarse de las transmisiones digitales efectuadas por los organismos de radiodifusión;
- c) que la radiodifusión sonora digital en estas bandas ofrece la posibilidad de servicios nuevos y mejorados a los oyentes;
- d) que los oyentes se beneficiarán de la existencia de una norma mundial única para la transmisión y recepción de señales digitales;
- e) que los fabricantes de receptores pueden proporcionar los elementos pertinentes de la norma que satisfacen las diversas condiciones del mercado;
- f) que la actual congestión en algunos países de las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz origina un alto nivel de interferencia y limita el número de programas que pueden ser transmitidos;
- g) que los organismos de radiodifusión dependen considerablemente del uso de estas bandas debido a sus condiciones de propagación favorables, en particular para cobertura de zona amplia;
- h) que para facilitar la transición a la transmisión digital de una manera que asegure la continuidad de servicio, puede ser necesaria una solución basada en la radiodifusión simultánea (transmisión analógica y digital combinada) además de soluciones solamente digitales;
- j) que la Recomendación UIT-R BS.1348 relativa a los requisitos de servicio de la radiodifusión sonora digital en estas bandas especifica una serie de requisitos para que los diseñadores de sistema en varios países puedan superar las actuales deficiencias de la calidad audio y robustez de la señal y proporcionar nuevos servicios;
- k) que en respuesta a una «solicitud de propuestas» del UIT-R (véase la Carta circular 10/LCCE/39 de 29 de septiembre de 1999), en la que se pedían descripciones de sistema y resultados de prueba en laboratorio y servicio real, dos Miembros del Sector del UIT-R han presentado documentación sobre estos asuntos, que ha sido considerada en octubre de 2000;
- l) que los dos proponentes de sistemas han acordado continuar cooperando para elaborar una norma para la radiodifusión sonora digital en estas bandas;
- m) que durante su proceso de evaluación, la Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones llegó a la conclusión de que una fusión razonable de diversos aspectos de los dos sistemas propuestos serviría de base para la norma mundial única sugerida en la Cuestión UIT-R 217/10;

- n) que la Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones ha llegado a la conclusión de que sería conveniente disponer de un receptor digital/analógico común de consumidor para acomodar todos los programas en las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz;
- o) que las especificaciones de diseño funcionales concisas de las dos propuestas indicadas en el *considerando* k) figuran en los Anexos 1 y 2, mientras que en el Apéndice 1 se dan detalles más amplios;
- p) que cada uno de los proponentes ha presentado resultados de pruebas en laboratorio y en servicio real, en los documentos mencionados en el Apéndice 1 para el equipo prototipo, y que en los Anexos 4 y 5 se presentan las versiones condensadas de estos resultados de prueba, comparadas con los criterios de evaluación definidos en el Anexo 3,

recomienda

1 que en las bandas de ondas decamétricas entre 3 y 30 MHz:

- las características de sistema expuestas en el Anexo 1, con la información más detallada del Apéndice 1, que satisfacen los requisitos de servicio indicados en la Recomendación UIT-R BS.1348, y que responden afirmativamente a la Cuestión UIT-R 217/10, constituyen el sistema de radiodifusión sonora digital común único para uso en las bandas de radiodifusión con arreglo a las disposiciones del Artículo 12 del Reglamento de Radiocomunicaciones;
- cualquier realización de radiodifusión sonora digital en las bandas mencionadas debe incorporar las características de sistema indicadas en el Anexo 1;

2 que en las bandas de radiodifusión por debajo de 3 MHz:

- las características de sistema expuestas en los Anexos 1 y 2, con la información más detallada del Apéndice 1, que satisfacen los requisitos de servicio indicados en la Recomendación UIT-R BS.1348, y que responden afirmativamente a la Cuestión UIT-R 217/10, constituyen el sistema de radiodifusión sonora digital para uso en estas bandas de radiodifusión; y
- cualquier realización de radiodifusión sonora digital en las bandas mencionadas debe incorporar las características de sistema indicadas en los Anexos 1 ó 2;
- las administraciones que deseen implementar sistemas para la radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por debajo de 3 MHz que satisfacen algunos o todos los requisitos estipulados en la Recomendación UIT-R BS.1348 utilicen el Cuadro 1 para evaluar, al seleccionar los sistemas, los méritos del sistema DRM o del sistema IBOC DSB, respectivamente.

CUADRO 1

Grado en que los sistemas DRM e IBOC cumplen los requisitos de la UIT

Características de los sistemas	Importancia	En el diseño		Estado de la prueba			Terminación prevista		
		DRM	IBOC	DRM		IBOC	DRM		IBOC
				MW	SW	MW	MW	SW	MW
1 <i>Requisito estándar del sistema</i> a) El receptor digital debe funcionar en todo el mundo	A	Sí	Sí	TP	TP	NPA			07/2002
2 <i>Capacidad de efectuar la transición analógico a digital gradualmente</i> a) Simulcast (analógico y digital comparten un único canal) b) Multicast (analógico y digital ocupan canales diferentes)	A A	Sí Sí (si la administración permite este modo)	Sí (permite la transición analógico a digital gradual) Sí (si la administración permite este modo)	TP TP	EC TP	TP NPA		07/02	
3 <i>Difusión de datos</i> a) Audio y datos, o sea capacidad de difusión de datos b) Haz control de acceso y aleatorización	B C	Sí Sí (cuestión abierta)	Sí Sí (cuestión abierta)	TP NPA	TP NPA	TP EC		03/03 03/03	 07/02
4 <i>Requisitos de calidad de funcionamiento audio</i> a) Mejorar la calidad audio con respecto a la de los sistemas analógicos equivalentes b) Varios idiomas o monodual	A B	Sí Sí	Sí No	TP NPA	TP NPA	TP		07/02 07/02	

CUADRO 1 (Continuación)

Características de los sistemas	Importancia	En el diseño		Estado de la prueba			Terminación prevista		
		DRM	IBOC	DRM		IBOC	DRM		IBOC
				MW	SW	MW	MW	SW	MW
c) Capacidad de estéreo	B	Sí (pseudo-estéreo a 9 ó 10 kHz)	Sí	TP	TP	TP			
d) División dinámica de velocidad binaria entre audio y datos (datos oportunistas)	B	Sí	Sí	TP	TP	TP			
e) Velocidad binaria seleccionable en etapas cortas y velocidad binaria mayor soportada más que conseguible en el momento de introducción	B	Sí	Sí	TP	TP	TP			
5 <i>Uso eficaz del espectro</i>									
a) Frecuencia única desde transmisores separados geográficamente o co-situados	B	Sí	Sí	TP	TP	NPA			12/02
b) Cumplir las normas de la UIT sobre anchura de banda y espaciamiento de canales RF	A	Sí	Sí (totalmente digital)	TP	TP	EC			03/02
c) Potencial de interferencia no superior a la modulación de amplitud equivalente	A	Sí	Sí	TP	TP	TP			
d) Susceptibilidad a la interferencia no superior a la modulación de amplitud equivalente	A	Sí	Sí	TP	TP	TP			
6 <i>Fiabilidad del servicio</i>									
a) Mejorar la fiabilidad de recepción	A	Sí	Sí	TP	TP	TP			
b) Susceptibilidad a efectos de desvanecimiento considerablemente reducida	A	Sí	Sí	TP	TP	TP			
c) – Conmutación automática de frecuencias del receptor	A	Sí	Sí	NPA	NPA	NPA	12/02	12/02	07/02
– Conmutación automática inaudible de frecuencias del receptor	C	Sí	Sí	NPA	NPA	NPA	12/02	12/02	07/02

CUADRO 1 (Continuación)

Características de los sistemas	Importancia	En el diseño		Estado de la prueba			Terminación prevista		
		DRM	IBOC	DRM		IBOC	DRM		IBOC
				MW	SW	MW	MW	SW	MW
d) Recepción vehicular, portátil y fija	A	Sí	Sí	TP	TP	TP			07/02
e) Sintonización rápida	A	Sí	Sí	TP	TP	TP			
f) Degradación gradual	B	Sí (varios modos + UEP)	Sí (modo híbrido)	EC	EC	TP			
g) Mantiene zona de cobertura	A	Sí	Sí	TP	EC	TP		07/02	
h) Bueno en recepción en interiores	A	Sí	Sí	TP	TP	TP			
7 <i>Información de servicio para elección de sintonización</i>									
a) Selección simplificada de servicios mediante datos relacionados con el programa para seleccionar el radiodifusor y el contenido de programa	B	Sí (proporcionado en la norma)	Sí	NPA	NPA	NPA	12/02	12/02	07/02
8 <i>Consideraciones sobre el sistema de transmisión</i>									
a) Uso de transmisores modernos existentes en modo digital y analógico	A	Sí	Sí	TP	TP	TP			
b) Ahorro de energía al cubrir la misma zona de servicio con la misma fiabilidad de servicio	C	Sí	Sí	TP	TP	TP			
c) Las emisiones no esenciales y fuera de banda se conforman al Reglamento de la UIT	A	Sí	Sí	TP	TP	TP			
9 <i>Consideraciones sobre el receptor</i>									
a) La complejidad del sistema no impedirá los receptores baratos	A	Sí (microplaca en desarrollo, probada con DSP)	Sí (microplaca demostrada CES2002)	EC	EC	TP	12/02	12/02	

CUADRO 1 (Fin)

Características de los sistemas	Importancia	En el diseño		Estado de la prueba			Terminación prevista		
		DRM	IBOC	DRM		IBOC	DRM		IBOC
				MW	SW		MW	MW	
b) La complejidad del sistema permitirá receptores de baterías de bajo consumo	B	Sí (la tecnología de microplaqueta lo permite)	Sí	EC	EC	EC	06/03	06/03	06/03
10 <i>Elección de variables</i> a) Posibilidad de seleccionar los parámetros de sistema según los requisitos del radiodifusor	B	Sí	Sí	TP	TP	TP			

Ni el Sistema A ni el B han terminado las pruebas en banda larga (LW). No obstante, los resultados obtenidos en banda media (MW) son quizá representativos para la banda larga. La única dificultad posible es la anchura de banda de la antena RF.

DSP: Procesamiento de la señal digital

EC: En curso

NPA: No probado aún

SW: Banda corta

TP: Totalmente probado, por lo que no se indica la fecha prevista de terminación

UEP: Protección de errores desigual

ANEXO 1

Descripción resumida del sistema mundial de radiodifusión digital (DRM, *Digital Radio Mondiale*)**1 Características esenciales del diseño de sistema para los mercados que han de ser servidos por el sistema DRM**

El sistema DRM es un sistema de radiodifusión sonora digital (DSB, *digital sound broadcasting*) flexible que ha de ser utilizado en las bandas de radiodifusión terrenal por debajo de 30 MHz.

Es importante reconocer que los receptores radiofónicos domésticos del futuro cercano tendrán que ser capaces de decodificar algunas o todas las diversas transmisiones terrenales; es decir, transmisión digital de banda estrecha (para RF de < 30 MHz), transmisión digital de banda más ancha (para RF de > 30 MHz) y transmisión analógica para las bandas de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas y la banda de ondas métricas con modulación de frecuencia. El sistema DRM será un componente importante dentro del receptor. No es probable que un receptor radiofónico diseñado para recibir transmisiones terrenales con una capacidad digital excluya la capacidad analógica.

En el receptor radiofónico doméstico, el sistema DRM proporcionará la capacidad de recibir radiodifusión digital (programas radiofónicos, datos relacionados con el programa, otros datos, e imágenes fijas) en todas las bandas de radiodifusión por debajo de 30 MHz. Puede funcionar de manera independiente pero, como se indica anteriormente, muy probablemente formará parte de un receptor más general, muy parecido a la mayoría de los receptores actuales que incluyen la capacidad de recepción analógica en bandas con modulación de amplitud (MA) y modulación de frecuencia (MF).

El sistema DRM ha sido diseñado para ser utilizado en canales de 9 ó 10 kHz o múltiplos de estas anchuras de banda de canal. Las diferencias detalladas de cómo parte del tren de bits disponibles para estos canales se utiliza para audio, protección contra errores y corrección de errores y para datos depende de la banda asignada (ondas kilométricas, hectométricas o decamétricas) y del uso previsto (por ejemplo, onda de superficie, onda ionosférica a corta distancia u onda ionosférica a larga distancia). En otras palabras, hay compromisos modales disponibles de modo que el sistema pueda satisfacer las diversas necesidades de los organismos de radiodifusión a escala mundial. Como se indica en el punto siguiente, cuando existen procedimientos reglamentarios para utilizar canales de anchura de banda mayor que 9/10 kHz, la calidad audio del sistema DRM y la capacidad total del tren de bits pueden ser mejoradas considerablemente.

El sistema DRM emplea codificación de audio avanzada (AAC, *advanced audio coding*), complementada con replicación de banda espectral (SBR, *spectral band replication*) como su codificación digital principal. La SBR mejora la calidad de audio percibida mediante una técnica de frecuencia de banda de base más alta que utiliza información de las frecuencias más bajas como señales de aviso. Para la codificación y modulación de canal se utiliza multiplexión por división ortogonal de frecuencia (OFDM) modulación de amplitud en cuadratura (MAQ), junto con entrelazado temporal y corrección de errores sin canal de retorno (FEC) con codificación multinivel (MLC, *multi-level coding*) basada en un código convolucional. Se utilizan símbolos de referencia piloto para obtener información de igualación de canal en el receptor. La combinación de estas técnicas resulta en un sonido de más alta calidad con recepción más robusta dentro de la zona de cobertura prevista, en comparación con la calidad de la MA utilizada actualmente.

El sistema funciona bien en condiciones de propagación difíciles, tales como la propagación de la onda ionosférica en la banda de ondas decamétricas por trayectos múltiples a larga distancia, y también en condiciones más fáciles, como la propagación de la onda de superficie en la banda de ondas hectométricas. En este último caso, se utilizan al máximo los algoritmos de codificación de fuente AAC y SBR, lo que produce un audio de calidad mucho más alta que la obtenida con MA, porque hay que emplear una cantidad mínima de corrección de errores. Para muchas condiciones de propagación en la banda de ondas decamétricas, la necesidad de lograr un alto grado de robustez reduce la calidad audio comparada con la transmisión digital en ondas hectométricas; no obstante, la calidad audio será aún mejor que la calidad MA actual.

El diseño permite utilizar el sistema DRM con una red a una sola frecuencia (SFN, *single frequency network*).

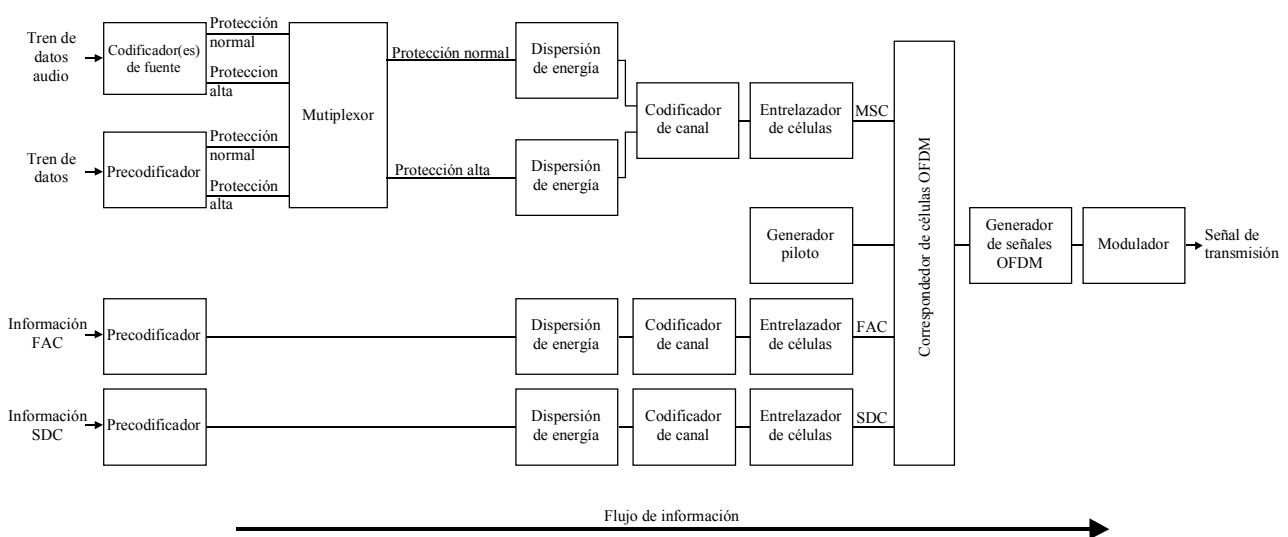
Proporciona también la capacidad de la conmutación automática de frecuencia, que es particularmente útil para los organismos de radiodifusión que envían las mismas señales en diferentes frecuencias de transmisión, como suelen hacerlo, por ejemplo, las grandes organizaciones de radiodifusión en ondas decamétricas que emplean MA para aumentar la probabilidad de una buena señal por lo menos en la zona de recepción prevista. El sistema DRM permite que un receptor adecuado seleccione automáticamente la mejor frecuencia para un programa, sin ningún esfuerzo por parte del oyente.

2 Breve descripción del sistema DRM

2.1 Diseño general

FIGURA 1

Diagrama de bloques de entrada al transmisor



MSC: canal de servicio principal

La Fig. 1 describe el flujo general de las diferentes clases de información (audio, datos, etc.) desde la codificación, a la izquierda de la Figura, hasta un transmisor de sistema DRM, a la derecha. Aunque no se incluye una figura con un diagrama del receptor, éste sería el diagrama inverso.

A la izquierda hay dos clases de información de entrada:

- audio y datos codificados que están combinados en el multiplexor de servicio principal y
- canales de información que evitan el multiplexor y que se denominan canal de acceso rápido (FAC, *fast access channel*) y canal de descripción de servicio (SDC, *service description channel*) cuyos objetivos se describen en el § 2.3.

El codificador de fuente de audio y los precodificadores de datos aseguran la adaptación de los trenes de entrada a un formato digital apropiado. Su salida puede comprender dos partes que requieren dos niveles diferentes de protección dentro del siguiente codificador de canal.

El multiplexor combina los niveles de protección de todos los servicios de datos y audio.

La dispersión de energía proporciona un complemento determinístico y selectivo de bits para reducir la posibilidad de que patrones sistemáticos resulten en una regularidad no deseada de la señal transmitida.

El codificador de canal añade información redundante para la corrección de errores y define la correspondencia de la información codificada digital con células MAQ. El sistema tiene la capacidad, si el radiodifusor lo desea, de transportar dos categorías de bits, estando una categoría mejor protegida que la otra.

El entrelazado de células dispersa las células MAQ consecutivas en una secuencia de células, casi aleatoriamente separadas en tiempo y en frecuencia, con el fin de proporcionar un elemento adicional de robustez en la transmisión del audio en canales dispersivos en tiempo y en frecuencia.

El generador piloto inyecta información que permite que el receptor obtenga información de igualación de canal, logrando así la demodulación coherente de la señal.

El correspondedor de células OFDM recopila las diferentes clases de células y las coloca en una rejilla de tiempo-frecuencia.

El generador de señales OFDM transforma cada conjunto de células con el mismo índice temporal a una representación de la señal en el dominio temporal, que contiene una pluralidad de portadoras. El símbolo OFDM completo en el dominio del tiempo se obtiene a partir de esta representación en el dominio temporal insertando un intervalo de guarda, una repetición cíclica de una porción de la señal.

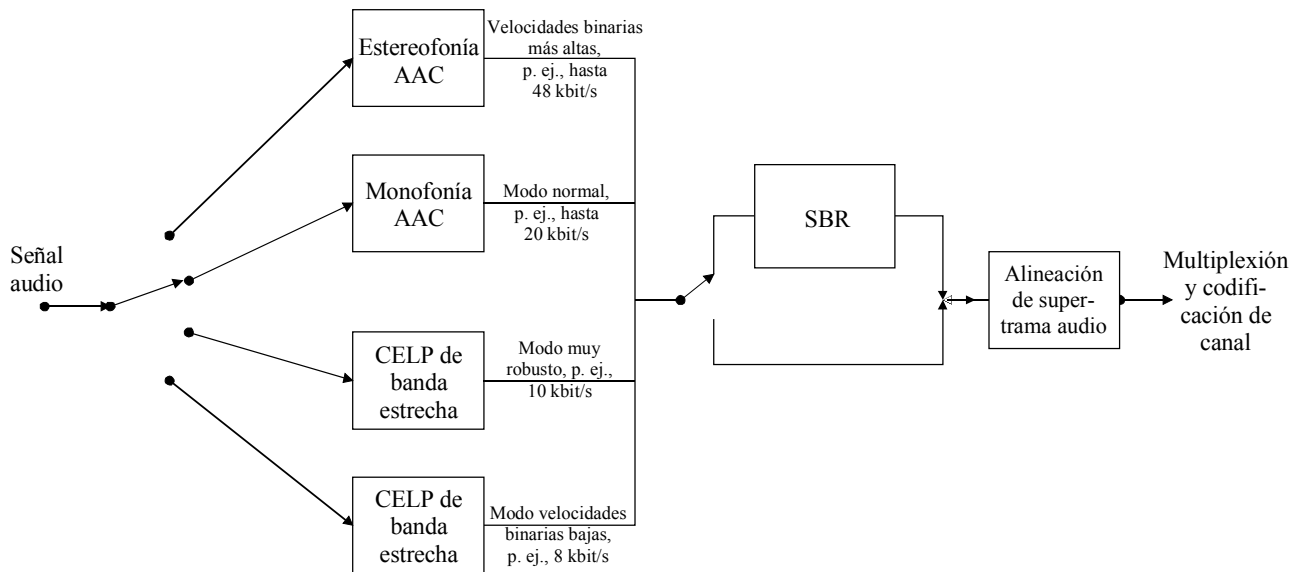
El modulador convierte la representación digital de la señal OFDM en la señal analógica que será transmitida por un transmisor/antena por el aire. Esta operación conlleva la conversión elevadora de frecuencia, la conversión digital/analógica y el filtrado, de modo que la señal emitida cumpla los requisitos espectrales del UIT-R.

Con un transmisor de alta potencia no lineal, la señal es separada primero en sus componentes de amplitud y de fase (esto puede hacerse ventajosamente en el dominio digital), y después es recombinada (por la acción del propio transmisor) antes de la emisión final.

2.2 Codificación de la fuente audio

FIGURA 2

Visión general de la codificación de la fuente audio



CELP: predicción lineal con excitación por código

1514-02

Las opciones de codificación de la fuente disponibles para el sistema DRM se presentan en la Fig. 2. Todas estas opciones, con excepción de la que está en la parte superior de la Figura (estereofonía AAC) están diseñadas para ser utilizadas dentro de los actuales canales de 9/10 kHz para radiodifusión sonora por debajo de 30 MHz. La opción CELP proporciona codificación vocal a velocidad binaria relativamente baja y la opción AAC emplea un subconjunto de MPEG-4 normalizado para velocidades binarias bajas (es decir, hasta 48 kbit/s). Estas opciones pueden ser mejoradas por un instrumento de mejora de anchura de banda, tales como la SBR ilustrada en la Figura, donde se indican también las velocidades binarias de salida representativas. Todo esto es seleccionable por el radiodifusor.

Se ha de tener especial cuidado de que el audio codificado pueda ser comprimido en supertramas de audio de duración temporal constante (400 ms). La multiplexión y la protección de errores desigual (UEP, *unequal error protection*) de los servicios de audio/vocales se efectúa por medio del múltiplex y los componentes de codificación de canal.

Como un ejemplo de la estructura, considérese el trayecto de la Fig. 2 de la señal monofónica AAC más SBR, cuyas propiedades son las siguientes:

Longitud de trama:	40 ms
Velocidad de muestreo AAC:	24 kHz
Velocidad de muestreo SBR:	48 kHz
Gama de frecuencia AAC:	0-6,0 kHz
Gama de frecuencia SBR:	6,0-15,2 kHz
Velocidad binaria promedio SBR:	2 kbit/s por canal

En este caso, hay una señal de audio básica con una anchura de 6 kHz, que proporciona una calidad audio mejor que la MA normalizada, más la mejora obtenida con la técnica SBR que la amplía a 15,2 kHz. Todo esto consume aproximadamente 22 kbit/s. El tren de bits por trama contiene una fracción de datos AAC y SBR altamente protegidos de tamaño fijo, más la mayoría de los datos AAC y SBR, menos protegidos, de tamaño variable. La supertrama audio de duración temporal fija de 400 ms está compuesta por varias de estas tramas.

2.3 Múltiplex, incluidos los «canales especiales»

Como se indica en la Fig. 1, el múltiplex total del sistema DRM consiste en tres canales: el MSC, el FAC y el SDC. El MSC contiene los servicios, audio y datos. El FAC proporciona información sobre la anchura de banda de la señal y otros parámetros y se utiliza también para permitir la exploración rápida de la información de selección de servicio. El SDC da información al receptor sobre cómo decodificar el MSC, cómo hallar fuentes alternas de los mismos datos y da atributos a los servicios dentro del múltiplex.

El múltiplex MSC puede contener hasta cuatro servicios, cualquiera de los cuales puede ser audio o datos. La velocidad binaria bruta del MSC depende de la anchura de banda de canal y del modo de transmisión utilizados. En todos los casos, se divide en tramas de 400 ms.

La estructura del FAC se establece también alrededor de una trama de 400 ms. Los parámetros de canal se incluyen en cada trama FAC. Los parámetros de servicio son transportados en tramas FAC sucesivas, un servicio por trama. Los nombres de los parámetros del canal FAC son: bandera básica/mejorada, identidad, ocupación de espectro, bandera de profundidad de entrelazador, modo de modulación, número de servicios, índice de reconfiguración, y reservado para uso futuro, todo lo cual utiliza un total de 20 bits. Los parámetros de servicio dentro del FAC son: identificador de servicio, identificador abreviado, indicación de acceso condicional (CA), idioma, bandera de audio/datos, y reservado para uso futuro, todo lo cual utiliza un total de 44 bits. (Los detalles de estos parámetros, incluido el tamaño de campo, se indican en la especificación del sistema.)

La periodicidad de la trama de SDC es 1200 ms. Sin detallar el uso de cada uno de los muchos elementos dentro de los campos del SDC, los nombres de éstos son: descripción de múltiplex, etiqueta, acceso condicional, información de frecuencia, información de calendario de frecuencia, información de aplicación, soporte y conmutación de anuncio, identificación de región de cobertura, información de fecha y hora, información de audio, información de copia FAC y datos de enlazado. Además de transportar estos datos, el hecho de que el SDC es insertado periódicamente en la forma de onda se aprovecha para permitir la conmutación sin fisuras entre frecuencias alternas.

2.4 Codificación de canal y modulación

El esquema de codificación/modulación utilizado es una variedad de la multiplexión por división de frecuencia con codificación ortogonal (COFDM) que combina la OFDM con la MLC basada en una codificación convolucional. Estos dos componentes principales son complementados por el entrelazado de células y la provisión de células piloto para estimación de canal instantánea, que juntos mitigan los efectos del desvanecimiento a corto plazo, sea selectivo o plano.

Considerada en conjunto, esta combinación proporciona posibilidades excelentes de transmisión y protección de la señal en los canales estrechos de 9/10 kHz en las bandas kilométricas, hectométricas y decamétricas de radiodifusión. Asimismo, se puede utilizar eficazmente en estas frecuencias de radiodifusión para anchura de banda de canal mayores cuando éstas sean permitidas en el futuro desde el punto de vista reglamentario.

Para OFDM, la señal transmitida se compone de una sucesión de símbolos, cada uno de los cuales incluye un intervalo de guarda, un prefijo cíclico que proporciona robustez con respecto a la dispersión por retardo. La ortogonalidad se relaciona con el hecho de que, en el caso del diseño del sistema DRM, cada símbolo contiene aproximadamente 200 subportadoras espaciadas a través de los 9/10 kHz de manera que sus señales no interfieran entre sí (son ortogonales). El número preciso de subportadoras y otras consideraciones relativas a los parámetros dependen del modo utilizado: transmisiones de onda de superficie, de onda ionosférica y muy robustas.

MAQ se utiliza para la modulación que es imprimida en cada una de las diversas subportadoras para transportar la información. Se utilizan dos constelaciones MAQ primarias: MAQ-64 y MAQ-16. Se incorpora también un modo MDP-4 para señalización muy robusta (pero no para el MSC).

El intervalo de tiempo de entrelazador para transmisiones en ondas decamétricas está en la gama de 2,4 s para tener en cuenta el desvanecimiento selectivo en tiempo y en frecuencia. Con condiciones de propagación menos difíciles, es posible aplicar un entrelazador abreviado con un intervalo de tiempo de 0,8 s para las frecuencias en ondas kilométricas y hectométricas.

El esquema de codificación convolucional multinivel utilizará velocidades de código en la gama entre 0,5 y 0,8, estando la velocidad más baja asociada con las condiciones de propagación difíciles en ondas decamétricas.

2.5 Consideraciones relativas al transmisor

El excitador del sistema DRM se puede utilizar para imprimir señales en transmisores lineales y no lineales. Se prevé que los transmisores no lineales de alta potencia constituirán la forma normal de servicio de los organismos de radiodifusión. Esto es similar a la práctica actual que existe para la modulación de amplitud de doble banda lateral.

En vista de esta necesidad, en los últimos años, con la utilización del sistema DRM y otros prototipos, se han realizado esfuerzos para determinar cómo es posible utilizar estos transmisores no lineales con señales digitales de banda estrecha. Los resultados han sido alentadores, como puede observarse en las recientes pruebas en servicio del sistema DRM.

Resumiendo, la señal entrante a un transmisor clase C (amplificación no lineal) tiene que ser separada en sus componentes de amplitud y de fase antes de la amplificación final. Lo primero se efectúa mediante los circuitos de ánodo y lo segundo a través de los circuitos de rejilla, que se combinan con la sincronización temporal apropiada para formar la salida del transmisor.

Las mediciones de los espectros de salida muestran lo siguiente: la energía de la señal digital se dispersa más o menos uniformemente a través del canal asignado de 9/10 kHz; los bordes son pendientes, y caen rápidamente a unos 40 dB por debajo del nivel de densidad espectral dentro del canal asignado de 9/10 kHz, y los niveles de densidad espectral de potencia continúan disminuyendo a una velocidad más baja de $\pm 4,5/5,0$ kHz con respecto a la frecuencia central del canal asignado.

2.6 En el aire

La información de fase/amplitud digital de la señal RF se corrompe en diferentes grados a medida que la señal RF se propaga. Alguno de los canales de ondas decamétricas encuentran situaciones de desvanecimiento plano bastante rápidos e interferencia debido a la propagación por trayectos múltiples que produce desvanecimiento selectivo en frecuencia y grandes dispersiones de retardo del trayecto en el tiempo, así como altos niveles inducidos ionosféricamente de desplazamientos Doppler y dispersiones Doppler.

La protección contra errores y la corrección de errores incorporada en el diseño del sistema DRM mitiga estos efectos en un alto grado, lo que permite que el receptor decodifique con precisión la información digital transmitida.

2.7 Selección, demodulación y decodificación de una señal del sistema DRM en un receptor

El receptor debe ser capaz de detectar el modo de sistema DRM que se está transmitiendo, y tratarlo apropiadamente. Esto se hace utilizando muchas de las entradas de campo (véase el § 2.3) dentro de los canales FAC y SDC.

Una vez identificado el modo apropiado (y verificado repetidamente), el proceso de demodulación es el inverso del mostrado en la parte superior de la Fig. 1, el diagrama de bloques del transmisor.

De manera similar, el receptor es informado también de los servicios que están presentes y, por ejemplo, cómo se ha de efectuar la decodificación de la fuente de un servicio audio.

ANEXO 2

Sistema de radiodifusión sonora digital por canal dentro de banda (IBOC DSB) por debajo de 30 MHz

1 Sistema IBOC DSB

El sistema DSB por canal dentro de banda (IBOC, *in-band on-channel*) se ha diseñado para funcionar en los modos «híbrido» y «totalmente digital». El modo de funcionamiento depende de la frecuencia de radiodifusión, del uso existente del espectro y de las necesidades de servicio del radiodifusor. El modo de funcionamiento híbrido permite la radiodifusión simultánea de material de programa idéntico en formatos analógico y digital dentro del canal actualmente ocupado por la señal analógica. El modo totalmente digital proporciona capacidades mejoradas de funcionamiento en el mismo canal después de suprimir la señal analógica existente o cuando el canal no está siendo usado para radiodifusiones analógicas.

El sistema IBOC DSB comprende cuatro componentes básicos: el códec, que codifica y decodifica la señal audio; la codificación FEC y el entrelazado, que proporciona robustez mediante redundancia y diversidad; el módem, que modula y demodula la señal; y la mezcla, que proporciona una transición gradual de la señal digital a la señal analógica existente, en el caso de funcionamiento híbrido, o una señal digital de respaldo, en el caso de funcionamiento totalmente digital.

Además de una mejor calidad audio, el sistema IBOC DSB proporciona también servicios de datos. Hay tres servicios de datos IBOC DSB básicos: de velocidad fija especializada, velocidad ajustable y velocidad variable oportunística.

En los servicios de velocidad fija especializada, se fija la velocidad de datos y no puede ser cambiada por el radiodifusor. Específicamente, el servicio de datos iDAB (IDS) ofrece continuamente un conjunto de servicios de poca anchura de banda similares a los proporcionados actualmente por el sistema de radiodifusión de datos (RBDS, *radio broadcast data system*). El IDS utiliza eficazmente una cantidad fija de capacidad del sistema, dejando el resto para niveles ajustables de audio, paridad, y otros servicios de datos.

Los servicios de velocidad ajustable funcionan a una velocidad fija, durante un periodo predeterminado. Sin embargo, a diferencia de los servicios de velocidad fija, el radiodifusor tiene la opción de ajustar la velocidad de datos, mediante un compromiso entre el caudal de datos y la calidad de audio o robustez. Por ejemplo, la velocidad de audio codificada podrá ser reducida (en pasos finitos) para poder aumentar el caudal de datos, a expensas de la calidad audio digital.

Los servicios de velocidad variable oportunística ofrecen velocidades de datos que están vinculadas a la complejidad del audio digital codificado. El audio altamente complejo requiere más caudal que los pasajes más sencillos. El codificador de audio mide dinámicamente la complejidad del audio y ajusta el caudal de datos en consecuencia, sin comprometer la calidad del audio digital codificado.

1.1 Componentes del sistema

1.1.1 Códec

El sistema IBOC DSB utiliza el códec AAC complementado por la SBR, con lo que se obtiene audio estereofónico similar a MF de alta calidad dentro de las restricciones de anchura de banda impuestas en el funcionamiento por debajo del 30 MHz. Para reforzar la robustez del audio digital aún más de lo que permiten la FEC y el entrelazado, los códecs de audio emplean técnicas especiales de ocultación de errores para enmascarar los efectos de errores en el tren de bits de entrada. Además, el formato de tren de bits del códec audio proporciona la flexibilidad de permitir futuras mejoras de las técnicas básicas de codificación de audio.

1.1.2 Técnicas de modulación

El sistema IBOC DSB utiliza modulación MAQ, cuya eficacia de anchura de banda es suficiente para transmitir calidad audio estereofónica «semejante a MF» y proporcionar zonas de cobertura adecuadas en la anchura de banda disponible.

El sistema utiliza también un método de multipotadoras denominado OFDM, que es un esquema en el cual muchas portadoras MAQ pueden ser multiplexadas por división de frecuencia de una manera ortogonal, de modo que no haya interferencia entre las portadoras. Cuando se combina con la codificación FEC y el entrelazado, se aumenta aún más la robustez de la señal digital. La estructura OFDM sustenta naturalmente las técnicas de codificación FEC que maximizan el funcionamiento en un entorno de interferencia no uniforme.

1.1.3 Codificación FEC y entrelazado

La codificación FEC y el entrelazado en el sistema de transmisión mejoran considerablemente la fiabilidad de la información transmitida añadiendo cuidadosamente información redundante que es utilizada por el receptor para corregir los errores que se producen en el trayecto de transmisión. Se han diseñado específicamente técnicas de codificación FEC avanzadas basadas en estudios detallados de la interferencia con el fin de aprovechar la naturaleza no uniforme de la interferencia en estas bandas. Asimismo, se han diseñado técnicas especiales de entrelazado para dispersar los errores en ráfagas en el tiempo y en la frecuencia con el fin de asistir al decodificador FEC en su proceso de toma de decisión.

Un problema importante que confrontan los sistemas que funcionan por debajo de 30 MHz es la existencia de estructuras conductoras puestas a tierra que pueden causar cambios rápidos de la amplitud y la fase que no están distribuidos uniformemente a través de la banda. Para corregir esto, el sistema IBOC DSB utiliza técnicas de igualación con el fin de asegurar que se mantiene

suficientemente la fase y la amplitud de las portadoras digitales OFDM para asegurar la recuperación apropiada de la información digital. La combinación de la codificación FEC avanzada, la igualación de canal y técnicas de entrelazado óptimas permite que el sistema IBOC DSB entregue una recepción fiable de audio digital en un entorno móvil.

1.1.4 Mezcla

El sistema IBOC DSB emplea diversidad en el tiempo entre dos transmisiones independientes de la misma fuente audio para proporcionar recepción robusta durante las interrupciones típicas de un entorno móvil. En el sistema híbrido, la señal analógica sirve como la señal de respaldo, mientras que en el sistema totalmente digital, un tren de audio digital separado sirve como señal de respaldo. El sistema IBOC DSB proporciona esta capacidad retardando la transmisión de respaldo por un desplazamiento de tiempo fijo de varios segundos con respecto a la transmisión de audio digital. Este retardo es útil para realizar una función de mezcla. Durante la sintonía, la mezcla permite la transición de la señal de respaldo adquirida instantáneamente a la señal principal después que ha sido adquirida. Una vez adquirida, la mezcla permite la transición a la señal de respaldo cuando la señal principal está corrompida. Cuando se produce una interrupción de señal, el receptor mezcla sin fisuras el audio de respaldo que, en virtud de su diversidad en el tiempo con la señal principal, no experimenta la misma interrupción.

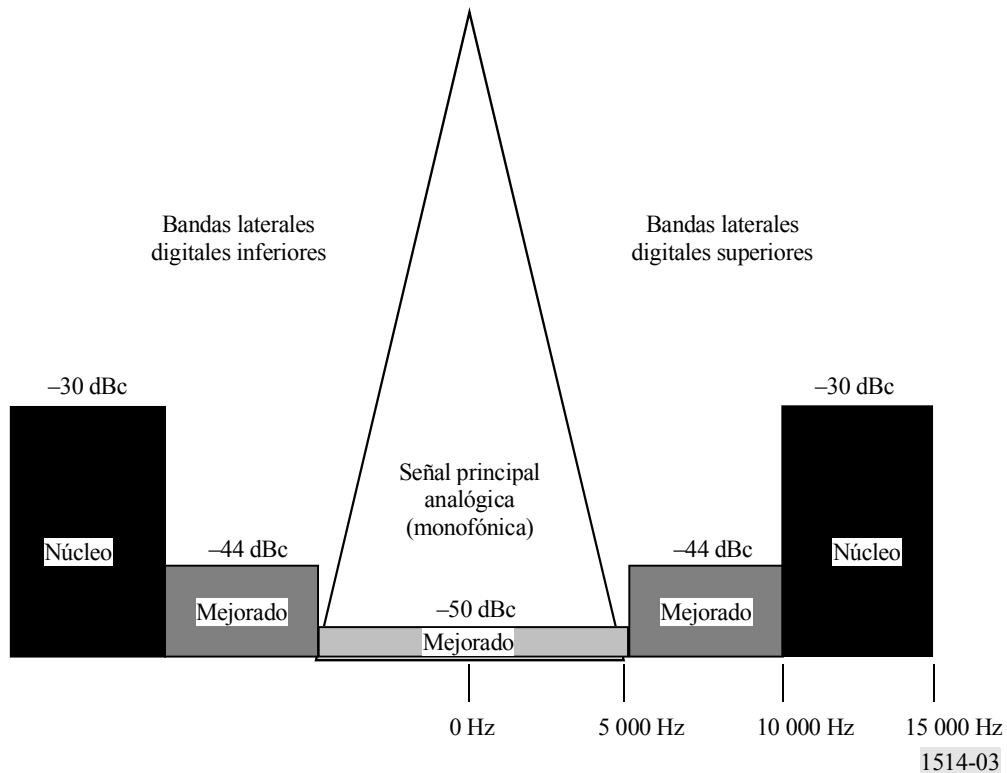
Los sistemas digitales dependen de un entrelazador para dispersar los errores en el tiempo y reducir las interrupciones. En general, los entrelazadores más largos proporcionan mayor robustez a expensas del tiempo de adquisición. La característica de mezcla proporciona un medio de adquirir rápidamente la señal de respaldo al sintonizar, o la readquisición sin comprometer todo el funcionamiento.

1.2 Modos de funcionamiento

1.2.1 Modo híbrido en ondas hectométricas

En la forma de onda híbrida, la señal digital es transmitida en bandas laterales, a cada lado de la señal principal analógica y por debajo de la señal principal analógica como se muestra en la Fig. 3. El nivel de potencia de cada subportadora OFDM es fijo con respecto a la portadora principal, como se indica en la Fig. 3. Las portadoras OFDM, o portadoras digitales, se extienden aproximadamente $\pm 14,7$ kHz con respecto a la portadora MA. Las portadoras digitales directamente por debajo del espectro de señal analógica son moduladas para evitar la interferencia con la señal analógica. Estas portadoras están agrupadas en pares, y un par consta de dos portadoras que son equidistantes en frecuencia de la portadora MA. Cada par se denomina un par complementario y todo el grupo de portadoras se denomina las portadoras complementarias. Para cada par, la modulación aplicada a una portadora es la conjugada negativa de la modulación aplicada a la otra portadora. Esto coloca la suma de las portadoras en cuadratura con la portadora MA, minimizando así la interferencia a la señal analógica cuando es detectada por un detector de envolvente. La colocación de las portadoras complementarias en cuadratura con la señal analógica permite también la demodulación de las portadoras complementarias en presencia de la portadora MA de alto nivel y de la señal analógica. El precio pagado por colocar las portadoras complementarias en cuadratura con las portadoras MA es que el contenido de información de las portadoras complementarias es sólo la mitad del contenido para portadoras digitales independientes.

FIGURA 3
Densidad espectral de potencia del sistema IBOC DSB híbrido en ondas hectométricas



1514-03

El modo híbrido ha sido diseñado para estaciones que funcionan en ondas hectométricas en zonas donde es necesario proporcionar una transición racional de funcionamiento analógico a digital. El modo híbrido permite introducir los servicios digitales sin causar interferencia perjudicial a la señal principal analógica existente.

Con el fin de maximizar la recepción del audio digital, el sistema IBOC DSB utiliza un códec estratificado donde el audio comprimido es separado en dos trenes de información distintos: núcleo y mejorado. El tren núcleo proporciona la información de audio básica mientras que el tren mejorado proporciona información estereofónica de más alta calidad. La codificación FEC y la colocación de los trenes audio en las portadoras OFDM se diseñan para proporcionar un tren núcleo muy robusto y un tren mejorado menos robusto. Para el sistema híbrido, la información núcleo se coloca en portadoras de alta potencia de ± 10 -15 kHz con respecto a la portadora analógica, mientras que la información mejorada se coloca en las portadoras OFDM de 0 a ± 10 kHz.

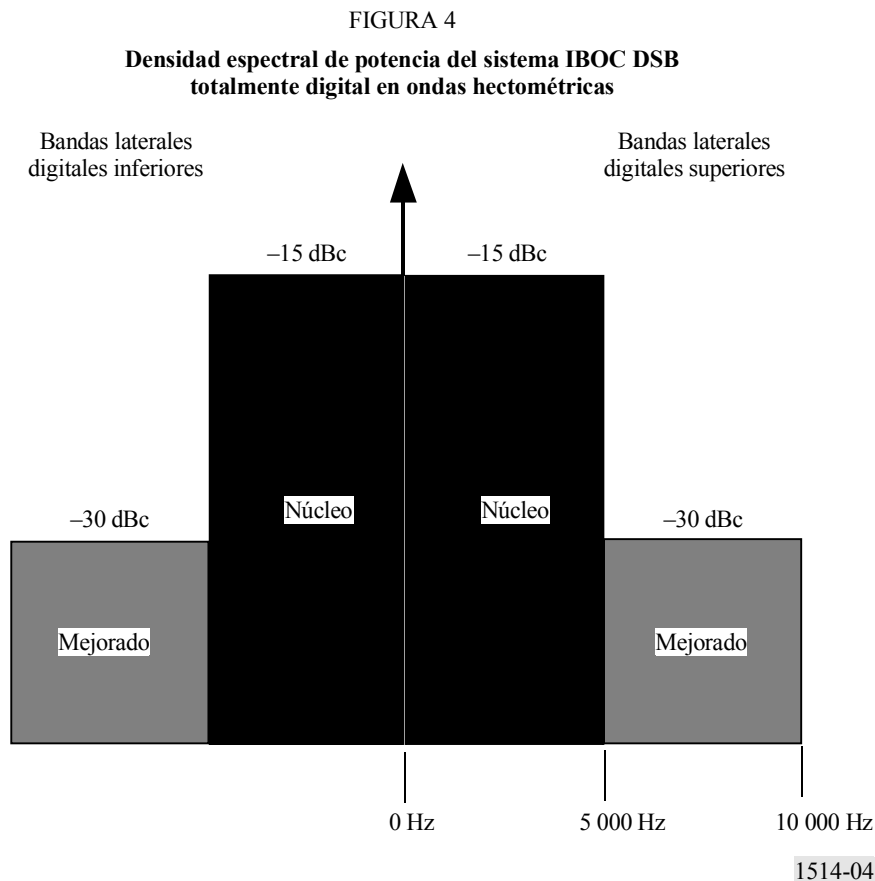
Con el fin de proteger el tren de audio núcleo contra la interferencia y las degradaciones del canal, el sistema IBOC DSB utiliza una forma de codificación de canal con la capacidad especial de perforar el código original en diversas particiones superpuestas (por ejemplo, principal, de respaldo, banda lateral inferior y banda lateral superior). Cada una de las cuatro particiones superpuestas sobrevive independientemente como un código adecuado. Las particiones de banda lateral inferior y superior permiten que el sistema IBOC DSB funcione incluso en presencia de fuerte interferencia en el canal adyacente inferior o superior, mientras que las particiones principal y de respaldo permiten que el sistema IBOC DSB sea adquirido rápidamente y sea robusto en el caso de interrupciones a corto plazo, tales como las causadas por estructuras conductivas puestas a tierra.

En el sistema híbrido, el caudal de audio núcleo es aproximadamente 20 kbit/s, mientras que el caudal de audio mejorado añade aproximadamente 16 kbit/s.

1.2.2 Modo totalmente digital en ondas hectométricas

El modo totalmente digital permite el funcionamiento digital mejorado tras suprimir la señal analógica existente. Los organismos de radiodifusión pueden elegir aplicar el modo totalmente digital en las zonas donde no hay estaciones analógicas que deban ser protegidas, o después de un periodo suficiente de funcionamiento en modo híbrido cuando haya numerosos receptores digitales en el mercado.

Como se muestra en la Fig. 4, la principal diferencia entre el modo híbrido y el modo totalmente digital es la supresión de la señal analógica y el aumento de potencia de las portadoras que anteriormente estaban bajo la señal analógica. La potencia adicional de la forma de onda totalmente digital aumenta la robustez y la forma de onda «por pasos» es optimizada para el funcionamiento con fuerte interferencia de canal adyacente.

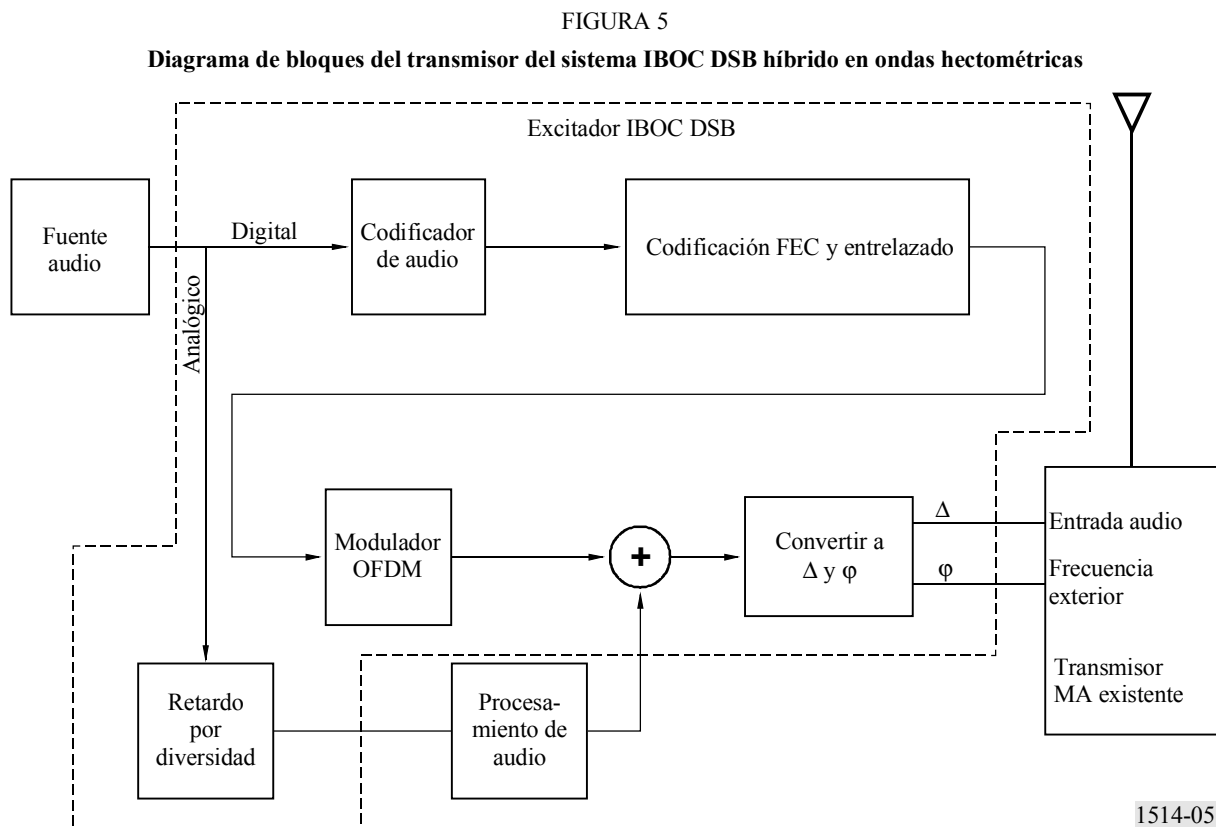


En el sistema totalmente digital se utiliza el mismo códec estratificado y los métodos FEC, con velocidades idénticas (~ 20 kbit/s para el audio núcleo y ~ 16 kbit/s para el audio mejorado), igual que se usa en el sistema híbrido. Esto simplifica el diseño del receptor que tiene que admitir ambos sistemas.

1.2.3 Generación de la señal

En la Fig. 5 se muestra un diagrama de bloques funcionales del transmisor híbrido IBOC DSB en ondas hectométricas. La fuente audio de entrada en el enlace del transmisor de estudio alimenta una señal monoaural L + R al trayecto analógico en ondas hectométricas y una señal audio estereofónica al audio DSB. El trayecto DSB comprime digitalmente la señal audio en el codificador audio y el tren de bits resultante es entregado al codificador FEC y al entrelazador. El tren de bits es combinado después en una trama de módem y modulado OFDM para producir una señal de banda de base DSB. Se introduce retardo por diversidad en el trayecto analógico en ondas hectométricas, se pasa a través del procesador de audio analógico existente de la estación y es devuelto al excitador DSB cuando es sumado con las portadoras digitales. Esta señal de banda de base es convertida a magnitud Δ y fase ϕ para amplificación en el transmisor analógico existente de la estación (véase la Nota 1).

NOTA 1 – Para simplificar, se han omitido los detalles relativos a la inserción de datos y sincronización.



Varios transmisores transistorizados han demostrado tener parámetros de respuesta en frecuencia, distorsión y ruido que son suficientes para reproducir una forma de onda híbrida IBOC. El sistema ha funcionado durante muchas horas utilizando un transmisor corriente, modulado en amplitud para la transmisión IBOC DSB.

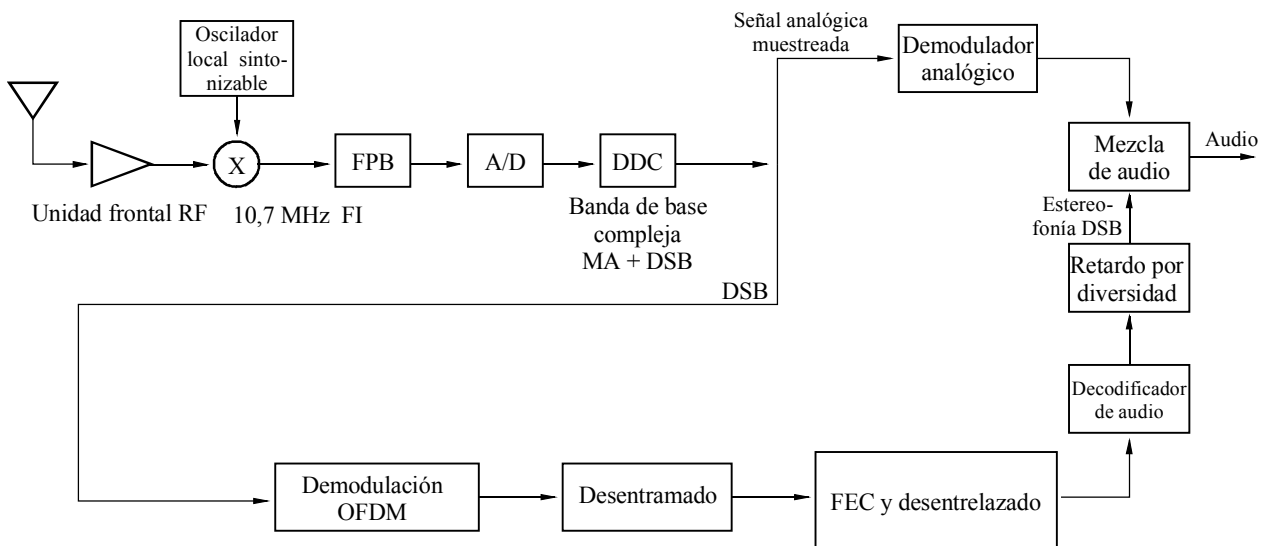
Se utiliza un método similar para el sistema totalmente digital que funciona en ondas hectométricas, aunque en el sistema totalmente digital, no existe el trayecto de transmisión analógica.

1.2.4 Recepción de la señal

En la Fig. 6 se muestra un diagrama de bloques funcionales de un receptor IBOC que funciona en ondas hectométricas. La señal es recibida por una unidad frontal RF convencional y convertida a frecuencia intermedia (FI) de manera similar que en los actuales receptores analógicos. Sin embargo, a diferencia de los receptores analógicos típicos, la señal es filtrada, convertida analógica/digital (A/D) en FI y convertida digitalmente en componentes de señal en fase y en cuadratura en banda de base. La señal híbrida es separada después en los componentes analógico y DSB. El componente analógico es demodulado para producir una señal audio muestreada digitalmente. La señal DSB es sincronizada y demodulada en símbolos. Estos símbolos son desentramados para el siguiente desentrelazado y decodificación FEC. El tren de bits resultante es procesado por el decodificador de audio para producir la salida DSB estereofónica digital. Esta señal audio DSB es retardada por la misma cantidad de tiempo que la señal analógica fue retardada en el transmisor. La función de mezcla de audio combina la señal digital con la señal analógica si la señal digital está corrompida, y se utiliza también para adquirir rápidamente la señal durante la sincronización o readquisición.

FIGURA 6

Diagrama de bloques del receptor típico IBOC híbrido en ondas hectométricas



DDC: conversión digital
FPB: filtro paso banda

1514-06

La supresión de ruido es una parte integrante del receptor IBOC y se utiliza para mejorar la recepción digital y analógica. Los receptores utilizan circuitos sintonizados para filtrar canales adyacentes y productos de intermodulación. Estos circuitos sintonizados tienden a «formar anillos», o estirar impulsos cortos en interrupciones más largas. Un supresor de ruido sondea el impulso y conmuta las etapas RF para la duración corta del impulso, limitando efectivamente los efectos de la audibilidad analógica. Los impulsos cortos tienen un efecto mínimo sobre el tren de datos digital y aumentan la audibilidad de la señal analógica (véase la Nota 1).

NOTA 1 – Para simplificar, no se muestran los trayectos de datos ni el circuito supresor de ruido.

Se utiliza un método similar para el modo totalmente digital, salvo que no se efectúa la recepción y demodulación analógicas ni la mezcla de audio.

ANEXO 3

Criterios de evaluación

Correspondencia entre la Cuestión UIT-R 217/10 y los criterios más importantes:

Estudios decididos en la Cuestión UIT-R 217/10	Criterios más importantes
<i>decide 1</i>	1, 2, 3, 6, 8, 11, 12
<i>decide 2</i>	5, 8, 10
<i>decide 3</i>	1, 2, 3, 6, 8, 9, 11, 13
<i>decide 4</i>	4, 5, 8, 10
<i>decide 5</i>	6, 9, 13, 14
<i>decide 6</i>	7, 13, 14

Criterios de evaluación

- 1 Calidad de audio no degradada por el códec
- 2 Fiabilidad del circuito de transmisión
- 3 Zona de cobertura y degradación gradual
- 4 Compatibilidad con los transmisores nuevos y existentes
- 5 Consideraciones sobre la planificación de canales
- 6 Funcionamiento de la red a un sola frecuencia
- 7 Costo y complejidad del receptor
- 8 Interferencia
- 9 Sintonía rápida y adquisición del canal
- 10 Compatibilidad con los formatos analógicos existentes
- 11 Utilización eficaz del espectro
- 12 Norma única
- 13 Comparación con los actuales servicios con MA
- 14 Radiodifusión de datos
- 15 Modularidad.

1 Definiciones de criterios de evaluación**Criterio 1 – Calidad audio no degradada por el códec**

Medida de la percepción subjetiva de la señal de audio comprimida y codificada procedente de la fuente de entrada básica sin ruido inducido ni otros problemas de transmisión.

Criterio 2 – Fiabilidad del circuito de transmisión

Calidad subjetiva y objetiva de la señal de audio proporcionada por el sistema en condiciones razonables de transmisión y recepción reales. Esto tiene en cuenta la capacidad de los parámetros de diseño del sistema, tales como la forma de onda tras la modulación, las técnicas de corrección de errores, etc., de proporcionar un comportamiento satisfactorio para diversas condiciones de propagación; dichas condiciones de propagación deben especificarse.

Criterio 3 – Zona de cobertura y degradación gradual

Zona de cobertura real estimada del sistema para un nivel de potencia dado en diversas condiciones de propagación. La zona de cobertura viene determinada por los segmentos de zona de superficie en los que la señal decodificada es aceptable para el mercado al que se destina.

Criterio 4 – Compatibilidad con los transmisores nuevos y existentes

Capacidad para transmitir eficazmente las señales del sistema utilizando:

- las combinaciones de transmisor y antena actualmente disponibles sin necesidad de modificar los equipos o con una modificación muy pequeña;
- los equipos de transmisor y de antena específicamente diseñados para transmitir dichas señales;
- los equipos de transmisor y de antena específicamente diseñados para transmitir esas señales y los formatos analógicos existentes.

Capacidad de tales configuraciones para funcionar con niveles aceptables de emisiones no esenciales.

NOTA 1 – Muchos organismos de radiodifusión desearán o necesitarán utilizar su planta de radiodifusión analógica existente para ofrecer los nuevos servicios digitales durante bastante tiempo.

Criterio 5 – Consideraciones sobre la planificación de canales

El actual sistema de disposición de canales y las reglas de interferencia vigentes constituirán inicialmente una limitación importante, incluso si los estudios y adelantos realizados permiten introducir cambios en el futuro mediante el proceso reglamentario pertinente.

Por consiguiente, es necesario evaluar las posibilidades del sistema teniendo en cuenta las reglas actuales relativas a ocupación de anchura de banda, emisiones fuera de banda, emisiones no esenciales, efectos de interferencia, etc.

Criterio 6 – Funcionamiento de la red a una sola frecuencia

Debe evaluarse la capacidad de cualquier nuevo sistema para funcionar como una red a una sola frecuencia. Muchos organismos de radiodifusión lo consideran una característica muy conveniente.

Criterio 7 – Costo y complejidad del receptor

Deben considerarse las posibilidades de los receptores básicos y avanzados. El costo del receptor está relacionado evidentemente con otros criterios; será preciso realizar una estimación aproximada del costo para cada criterio y variante.

Criterio 8 – Interferencia

Calidad subjetiva y objetiva de la señal de audio proporcionada por el sistema cuando funciona con interferencia cocanal y/o de canal adyacente procedente de fuentes digitales o analógicas. Debe tenerse en cuenta la capacidad de la señal para superar la interferencia en sus propias zonas de servicio y su tendencia a provocar interferencia a otras emisiones de radiodifusión fuera de esas zonas.

Criterio 9 – Sintonía rápida y adquisición de canal

Los oyentes están acostumbrados a que no haya ningún retardo, o éste sea muy pequeño, cuando encienden o sintonizan un receptor radiofónico. Por lo tanto, en el diseño del sistema se debe considerar:

- la facilidad con la que el oyente puede seleccionar la estación o señal deseada;
- la velocidad para reconocer una petición de selección o de cambio de canal;
- la velocidad para adquirir la señal de audio;
- los silencios (si existieren) que se producen en la señal de audio al cambiar a una fuente alternativa o más fuerte de la señal deseada.

Criterio 10 – Compatibilidad con los formatos analógicos existentes

Durante la fase de transición entre el actual entorno de radiodifusión analógica y el futuro entorno digital, los servicios digitales y analógicos deberán coexistir. Para facilitar esta coexistencia deben considerarse algunos aspectos:

- la interferencia cocanal y de canal adyacente (véase el criterio 8);
- la capacidad de los organismos de radiodifusión para mantener la actual audiencia de los sistemas analógicos mediante la radiodifusión simultánea (simulcasting) mientras se establece la base de receptores digitales;
- la capacidad del sistema digital para funcionar dentro de las actuales limitaciones que impone el marco reglamentario.

Criterio 11 – Utilización eficaz del espectro

El sistema debe utilizar el espectro radioeléctrico de manera más eficaz que los servicios analógicos existentes. Un sistema más eficiente desde el punto de vista de la utilización del espectro deberá proporcionar una calidad equivalente con una anchura de banda inferior o una mejor calidad para la misma anchura de banda.

Criterio 12 – Norma única

Es comúnmente aceptado el hecho de que todos los sistemas se beneficiarán de la utilización de parámetros optimizados para distintas bandas de frecuencias o en diferentes condiciones de propagación; onda de superficie y onda ionosférica, por ejemplo.

Sin embargo, una norma única deberá:

- utilizar los mismos bloques básicos fundamentales (por ejemplo, sistema de codificación de audio), aunque con parámetros de funcionamiento potencialmente distintos (por ejemplo, velocidad binaria) para diferentes circunstancias de propagación;
- permitir el diseño de un receptor que admita automáticamente todos los modos de funcionamiento sin que sea necesario duplicar los dispositivos del mismo.

Criterio 13 – Comparación con los actuales servicios con modulación de amplitud

Conjunto de mediciones representativas que deben realizarse en los sistemas analógicos existentes de manera que puedan efectuarse comparaciones significativas con los sistemas sometidos a prueba.

Criterio 14 – Radiodifusión de datos

Capacidad para prestar servicios de datos adicionales junto con los servicios de audio o en vez de los mismos. Tales servicios de datos pueden estar relacionados o no con el servicio de audio.

Criterio 15 – Modularidad

Capacidad de adaptación a una anchura de banda más amplia, paso a paso y con agrupación de canales.

2 Definiciones de las características con las que deben realizarse las mediciones de prueba

2.1 E_b/N_0 para una BER = 1×10^{-4}

Se ha definido un umbral de proporción de bits erróneos (BER) de 1×10^{-4} para proporcionar un canal de transmisión «transparente» con el fin de garantizar la integridad del audio. La señal transmitida se ajusta de forma que la BER recibida tras aplicar la corrección de errores sea mejor de 1×10^{-4} y a continuación se realiza la medida de la relación E_b/N_0 .

Pueden realizarse también medidas por encima y por debajo de este umbral, obteniendo por interpolación el valor de la relación E_b/N_0 para una BER = 1×10^{-4} .

2.2 Desplazamiento Doppler, dispersión Doppler y dispersión por retardo

El desplazamiento Doppler, la dispersión Doppler y la dispersión por retardo son tres fenómenos de propagación que pueden afectar a la recepción:

- el desplazamiento Doppler es la diferencia en frecuencias entre la señal recibida y emitida, debida al movimiento relativo entre la fuente y el receptor. La propagación por onda ionosférica también puede causar una deriva de la frecuencia;
- la dispersión Doppler es la máxima diferencia entre los desplazamientos Doppler cuando se recibe más de una señal a través de distintos trayectos de transmisión;
- la dispersión por retardo es la máxima diferencia en los tiempos de llegada al receptor de las distintas señales recibidas a través de diferentes trayectos de transmisión.

2.3 Interferencia cocanal y de canal adyacente (todas las combinaciones)

Será necesario establecer valores de las relaciones de protección para los casos de:

- señales digitales que interfieren a señales digitales;
- señales digitales que interfieren a señales analógicas;
- señales analógicas que interfieren a señales digitales.

2.4 Sincronización y acceso (adquisición de la señal)

El oyente no desea esperar mucho tiempo a que el receptor se sincronice con la señal recibida con el fin de acceder al servicio. Por consiguiente, es necesario medir el tiempo transcurrido desde que se enciende el aparato receptor hasta que se puede escuchar el programa.

2.5 Complejidad del receptor/consumo de potencia/costo

Una de las consideraciones más importantes será el costo de fabricación del receptor doméstico que vendrá influenciado por la complejidad del sistema. La complejidad de los equipos, y por lo tanto su costo, depende de los criterios empleados para elegir la mejor forma de realizar las diversas funciones (demodulación, decodificación de canal, protección contra errores, etc.).

2.6 Eficacia del transmisor

Relación entre la potencia media de salida del transmisor y la potencia media entregada al transmisor. ¿Cuánta potencia se necesita para obtener la misma cobertura que con la transmisión analógica?

2.7 Calidad de audio a la máxima velocidad binaria

En un canal normal, con el tipo de protección más baja, es posible difundir la mejor calidad de audio (máxima velocidad binaria atribuida a la señal de audio comprimida).

2.8 Máxima calidad de audio para el sistema jerárquico

Es posible contar con más de un esquema de protección para los datos (incluidos los datos de audio). Los datos menos protegidos proporcionarán la mayor calidad de audio en las mejores condiciones de transmisión.

2.9 Mínima calidad de audio para el sistema jerárquico

Es posible contar con más de un esquema de protección para los datos (incluidos los datos de audio). Los datos más protegidos garantizarán la disponibilidad de la señal en las condiciones de transmisión más desfavorables.

2.10 Calidad de audio para la modulación analógica

La radiodifusión de la señal digital no debe perturbar a la radiodifusión de la señal analógica en el mismo canal (simulcast) o en canales adyacentes (multicast o distintos contenidos).

2.11 Codificación de la señal vocal

En los requisitos de salida, algunos organismos de radiodifusión solicitan poder difundir al mismo tiempo en varios idiomas (únicamente el contenido vocal) con un sistema de codificación de la señal vocal especializado. Es necesario verificar que el sistema puede gestionar esta capacidad de radiodifusión multilingüe.

2.12 Transición de sistemas con modulación de amplitud a sistemas digitales

El sistema propuesto debe ser capaz de llevar a cabo una transición paulatina entre la radiodifusión totalmente analógica y la radiodifusión totalmente digital. Ello incluye la capacidad de difusión simultánea (simulcast) y multidifusión (multicast).

2.13 Comparación con la MA para las bandas de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas

En todos los casos, el sistema digital debe proporcionar mejoras con respecto al sistema analógico. Por lo tanto, es necesario comparar todos los parámetros mensurables tales como la cobertura, la fidelidad de la señal, la disponibilidad de la señal, la calidad de audio (anchura de banda, gama dinámica, distorsión, etc.) en todas las bandas con MA.

2.14 Posibilidad realista de radiodifusión simultánea (simulcast)

Varios organismos de radiodifusión que sólo tienen un canal disponible deberán difundir al mismo tiempo señales analógicas y digitales (simulcast).

Criterios de evaluación N.º 1 a N.º 15

- | | |
|--|---|
| 1: Calidad de audio no degradada por el códec | 8: Interferencia |
| 2: Fiabilidad del circuito de transmisión | 9: Sintonía rápida y adquisición de canal |
| 3: Zona de cobertura y degradación gradual | 10: Compatibilidad con los formatos analógicos existentes |
| 4: Compatibilidad con los transmisores nuevos y existentes | 11: Utilización eficaz del espectro |
| 5: Consideraciones sobre la planificación de canales | 12: Norma única |
| 6: Funcionamiento de la red a una sola frecuencia | 13: Comparación con los actuales servicios con modulación de amplitud |
| 7: Costo y complejidad del receptor | 14: Radiodifusión de datos |
| | 15: Modularidad |

Puntos	Mediciones de prueba del sistema	N.º 1	N.º 2	N.º 3	N.º 4	N.º 5	N.º 6	N.º 7	N.º 8	N.º 9	N.º 10	N.º 11	N.º 12	N.º 13	N.º 14	N.º 15
2.1	E_b/N_0 para una BER = 1×10^{-4}		x	x				x	x	x				x	x	
2.2	Desplazamiento Doppler, dispersión Doppler y dispersión por retardo		x	x			x	x						x		
2.3	Interferencia cocanal y de canal adyacente (todas las combinaciones)		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
2.4	Sincronización y acceso (adquisición de la señal)		x	x			x	x	x	x				x	x	x
2.5	Complejidad del receptor/consumo de potencia/costo	x	x	x			x	x	x	x	x		x	x	x	
2.6	Eficacia del transmisor/cobertura		x	x	x		x		x		x	x		x		x
2.7	Calidad de audio a la máxima velocidad	x	x	x		x	x	x						x		
2.8	Máxima calidad de audio para el sistema jerárquico	x	x	x				x								
2.9	Mínima calidad de audio para el sistema jerárquico	x	x	x				x								
2.10	Calidad de audio para la modulación analógica	x	x	x			x	x	x	x						
2.11	Codificación de la señal vocal	x	x	x			x	x	x				x	x		
2.12	Transición de sistemas con MA a sistemas digitales			x	x	x	x	x	x		x	x	x			x
2.13	Comparación con la MA para las bandas de ondas kilométricas, hectométricas y decamétricas	x	x	x			x		x	x		x	x	x	x	x
2.14	Posibilidad realista de radiodifusión simultánea (simulcast)	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

ANEXO 4

Resumen de la calidad de funcionamiento (véase la Nota 1) del sistema DRM basado en los criterios contenidos en el Anexo 3

NOTA 1 – Este Anexo contiene un resumen del funcionamiento del sistema DRM basado en los resultados de las pruebas en laboratorio y en servicio documentadas en el Apéndice 1.

1 Calidad de audio no degradada por el códec

El sistema DRM utiliza la codificación AAC y la codificación de fuente CELP, con una opción de aumento de AAC por SBR. Con excepción del aumento, el funcionamiento de estos códecs a las velocidades binarias utilizadas por el sistema DRM está documentado en otro lugar. Las mediciones de calidad de funcionamiento incluyen experimentos de escucha subjetiva utilizando la Recomendación UIT-R BS.1284. Esta Recomendación define una escala de cinco grados, de malo (1) a excelente (5) para la evaluación.

La calidad no degradada del sistema para AAC es muy superior a la calidad analógica de doble banda lateral. Como un punto de referencia, la AAC a 24 kbit/s alcanza un nivel de escucha subjetivo de 4,2 para música, mientras que la modulación analógica no degradada alcanza un nivel de menos de 3 para la misma entrada audio. Esto representa una mejora importante del nivel de calidad de funcionamiento de las radiodifusiones MA actuales. La mejora lograda utilizando AAC + SBR aumenta aún más esta diferencia de calidad de funcionamiento, haciéndola comparable a la modulación de frecuencia monofónica.

2 Fiabilidad del circuito de transmisión

La robustez del sistema DRM se ha determinado utilizando una variedad de condiciones de propagación tanto en laboratorio como en servicio real.

Las condiciones de propagación simuladas en el laboratorio se basaron en varios años de observación de condiciones de propagación por trayectos múltiples, etc., por diversos investigadores. Esto incluyó las mediciones de propagación efectuadas recientemente en 2000 por diseñadores del sistema DRM para diversos trayectos de propagación ionosférica que comprenden desde distancias cortas hasta más de 15 000 km. Esto aseguró que la propagación de la onda ionosférica pudiera ser representada adecuadamente en los modelos de laboratorio.

Durante julio y agosto se realizó una serie extensiva de pruebas en servicio real utilizando un prototipo del sistema DRM. Se dispusieron trayectos de propagación para utilizar una variedad de condiciones que se encontrarían durante operaciones normales de radiodifusión.

En los circuitos probados, la señal OFDM de banda de estrecha encontró dispersión por retardo y dispersión de frecuencia. No obstante, no se pudo identificar ninguna deterioración del funcionamiento del sistema, con respecto a valores excesivos del efecto Doppler o dispersión por retardo. En consecuencia, cabe suponer que los límites de diseño del sistema no fueron rebasados y que son adecuados para la finalidad prevista.

Como se describe en el punto relativo a las pruebas en servicio real, la secuencia de prueba repetitiva incluyó transmisiones analógicas de doble banda lateral normalizadas y varios modos de transmisión digital. Estos modos digitales utilizaron diferentes niveles de modulación digital (MAQ-16 y MAQ-64) y asignaciones de bits para corrección de errores. En todos los casos, las señales fueron transmitidas dentro de una anchura de banda de 10 kHz para transmisiones en ondas hectométricas y dentro de una anchura de banda de 9 kHz para transmisiones en ondas hectométricas. Por consiguiente, fue posible comparar el funcionamiento de los diversos modos entre sí y con transmisiones analógicas para cada trayecto.

La calidad de funcionamiento de las transmisiones digitales fue mucho mejor que las transmisiones analógicas, en el sentido de mantener la calidad audio original en condiciones de ruido y de propagación por trayectos múltiples que frecuentemente hicieron la recepción analógica menos atractiva para el oyente.

Hay dos razones principales para esto:

- La señal digital puede sobrevivir a un cierto grado de interferencia cocanal y de canal adyacente, cuyos límites se indican en el informe de las pruebas en la laboratorio. Por debajo de estos límites de la relación señal/interferencia, la calidad de audio no es degradada absolutamente.
- La señal OFDM puede encontrar desvanecimiento selectivo, y la combinación con las técnicas de entrelazado y de corrección de errores, permite un alto nivel de funcionamiento ininterrumpido en dichas condiciones de propagación por trayectos múltiples que causan interferencia autogenerada.

Por lo general, cuando un receptor digital experimenta realmente una interrupción detectable por una persona, la recepción de la señal analógica es muy deficiente.

3 Zona de cobertura y degradación gradual

La cobertura de las ondas hectométricas que utiliza la propagación de la onda de superficie resultó como se había previsto. Es decir, la cobertura es por lo menos tan buena como para la modulación analógica en niveles de potencia transmitidos del orden de 5 dB menos que el de una señal analógica.

Por los motivos descritos en el § 4, la potencia digital se debe mantener alrededor de 7 dB menos que la de transmisiones analógicas en situaciones típicas conectadas con planificación de canales en la banda de ondas hectométricas. Por consiguiente, cabe concluir que la capacidad de cobertura del sistema DRM para utilización en la banda de ondas hectométricas será similar a la que existe actualmente para las transmisiones analógicas.

Las pruebas en servicio en la banda de ondas decamétricas se realizaron utilizando la potencia de transmisión nominal para las secuencias MA. Para las secuencias digitales, el nivel de potencia medio fue 10 dB por debajo de la potencia de la envolvente de cresta del transmisor. El valor de 10 dB es el resultado del factor de cresta, que es un parámetro del sistema DRM. Dado que en el funcionamiento MA la potencia de salida media generalmente es 6 dB por debajo de PEP, la salida media del sistema DRM es 4 dB menor que la potencia MA para una situación comparable.

La cobertura en ondas decamétricas se estimó utilizando los datos de recepción analógica y digital asociados con las pruebas en servicio real realizadas durante los meses de julio y agosto de 2000. Estas estimaciones puntuales en espacio/tiempo muestran que la cobertura útil empleando el diseño del sistema DRM resulta en una cobertura por lo menos tan grande como la de la recepción analógica, con una potencia de transmisión digital aproximadamente 4 dB menor que la transmisión analógica.

El sistema DRM incluye varios modos de modulación digital que permiten al operador de la transmisión seleccionar el modo con el grado de robustez más adecuado a la propagación prevista. Los receptores serán capaces de detectar automáticamente el modo en uso.

La secuencia de prueba incluyó dos niveles de modulación (MAQ-64 y MAQ-16). Según lo previsto, los resultados muestran que la señal MAQ-16 más robusta, que añadía protección contra errores y corrección de errores, podría funcionar mejor que la señal MAQ-64 con relaciones señal/ruido más bajas y en condiciones de propagación más difíciles.

4 Compatibilidad con los transmisores nuevos y existentes

Las pruebas en servicio real, realizadas desde diciembre de 1999, incluyeron el uso de cuatro transmisores clase C y un transmisor lineal en ondas decamétricas y un transmisor lineal en ondas hectométricas. Los transmisores clase C eran de tres fabricantes diferentes y cada uno de ellos pudo aceptar la señal OFDM y transmitirla.

Los transmisores lineales pueden aceptar la señal OFDM en su entrada y amplificar y transmitir la señal directamente. Sin embargo, los transmisores no lineales requieren que la señal OFDM sea generada a la salida del transmisor aplicando al transmisor señales separadas de amplitud y de fase. Para asegurar que la señal OFDM es generada correctamente, los dos trayectos a través del transmisor deben estar alineados temporalmente, lo que se logra en general retardando la señal de amplitud con respecto a la señal de fase antes de su aplicación al transmisor.

La señal OFDM generada tiene un espectro que tiene aproximadamente densidad espectral constante dentro del canal elegido de 9 ó 10 kHz. El nivel de la señal cae rápidamente en los límites superior e inferior (los bordes) del canal. Este nivel ha sido medido como 35 dB durante las pruebas y para sistemas de transmisor optimizados, este nivel será 50 dB por debajo del valor de cresta.

La atenuación en los bordes depende del tipo y diseño del transmisor. En general, la atenuación más rápida se obtiene en los transmisores no lineales más modernos, porque tienen mayor anchura de banda de modulador (usualmente utilizan un modulador transistorizado) y mejor linealidad. Éstos son los dos factores más importantes para determinar la forma de espectro transmitida.

5 Consideración sobre la planificación de canales

Este criterio y el criterio 8 (§ 8 – Interferencia) están estrechamente relacionados. A continuación figura un examen más detallado.

Sobre la base de las mediciones efectuadas en laboratorio y el análisis de las mismas, cabe concluir que, con una consideración apropiada de los niveles de potencia digitales, las señales analógicas y digitales pueden coexistir en la misma banda. En otras palabras, las relaciones de protección son tales que una señal digital de 10 kHz puede ser acomodada dentro de una banda de ondas decamétricas y una señal de 9 kHz dentro de la banda de ondas hectométricas.

Hay varias posibilidades dentro de la totalidad de las bandas de radiodifusión en ondas decamétricas, aunque eso tiene que ser estudiado cuidadosamente en lo que respecta a la introducción de un servicio digital. Como ejemplo, además de permitir que el audio digital ocupe canales adyacentes al audio analógico, puede ser conveniente dedicar una porción de una subbanda de ondas decamétricas al audio digital.

6 Funcionamiento de la red a una sola frecuencia

No se realizaron pruebas asociadas con este criterio, aunque como este sistema se basa en un sistema OFDM con un intervalo de guarda, es implícitamente adecuado para el funcionamiento de la red a una sola frecuencia. Esta capacidad OFDM ha sido demostrada durante los últimos años con otros sistemas en otras bandas de radiofrecuencias. No obstante, durante la planificación de la red hay que tener especial cuidado para asegurar que las diferencias de retardo entre todas las señales transmitidas hacia la zona de servicio están dentro de los límites del diseño del sistema.

7 Costo y complejidad del receptor

Por razones comerciales, se espera que la capacidad de recepción digital para estas bandas de frecuencias se incorpore como parte de un receptor, en vez de fabricar un receptor autónomo. Ésta es una ampliación de la radiodifusión típica actual, que incluye las bandas MA y MF.

Por tanto, la antena, la unidad frontal, los altavoces y la envoltura tienen en un sentido, múltiples fines. La funcionalidad de la señal digital para las bandas MA se convierte en una característica «de valor añadido» del receptor. Su complejidad radica en el procesamiento digital requerido. Se prevé que el procesamiento del sistema DRM pueda residir en una «microplaqueta», lo que se pudiera lograr aplicando los adelantos efectuados en otros campos de radiodifusión y transmisión digital para utilizar el mayor número posible de elementos comunes.

8 Interferencia

Se efectuaron pruebas cuidadosas en laboratorio para establecer una base de datos cuantitativos sobre las variables de interferencia usuales:

- cocanal y de canal adyacente para
- digital a digital, analógico a digital y digital a analógico. (Los resultados detallados de las pruebas y análisis conexos se presentan en el Documento 6-6/6, 15 de septiembre de 2000, p. 19-37, § 3.3.3.2.)

El resultado esencial es el siguiente: las relaciones de protección necesarias aplicables a la interferencia de sistemas analógicos a DRM, de sistemas DRM a sistemas analógicos y entre señales DRM están vinculadas con las relaciones de protección de transmisión analógica-analógica existentes de manera que es posible lo siguiente. Se determinó primero el nivel de potencia permitido de una transmisión analógica existente o ficticia que respeta los criterios de protección analógicos establecidos actualmente. Si esta transmisión analógica es sustituida por una señal DRM cuyo nivel de potencia es 7 dB más bajo, otras transmisiones existentes no recibirán ni causarán interferencia inadmisibles. Este sencillo procedimiento se derivó de las amplias mediciones indicadas en el Apéndice 1, [4].

Cabe señalar que las señales digitales son un poco más robustas, por lo que requieren relaciones de protección más bajas que los valores requeridos para la protección de señales analógicas a analógicas.

9 Sintonización rápida y adquisición del canal

La recepción de la onda de superficie en la banda de ondas hectométricas sólo requiere un entrelazado de tiempo de 800 ms. Por consiguiente, debido a la estructura de señal con los tres canales diferentes para señalización y datos, se necesita un promedio de 1,6 s para la adquisición hasta que el audio es entregado.

La recepción en modo de onda ionosférica en la banda de ondas decamétricas utiliza un entrelazado de tiempo de unos 2,4 s que se ha de aplicar a los datos transmitidos para mitigar las distorsiones de audio que de otro modo podrían ser causadas por el canal de transmisión variable. Debido a este entrelazado más largo y a los canales de propagación más difícil, el tiempo medio de adquisición será 3,6 s hasta que el audio pueda ser entregado. No obstante, una etiqueta de estación transmitida en la sección de datos de señalización puede ser decodificada normalmente después de 1,6 s.

10 Compatibilidad con los formatos analógicos existentes

Los aspectos de este criterio se consideran en los § 8, 11 y 15.

11 Utilización eficaz del espectro

Los diseñadores del sistema DRM han atendido a la necesidad de contener una señal digital dentro de su anchura de banda de canal asignada. Los rebordes del canal asignado son muy pendientes y la densidad espectral de potencia alcanza rápidamente un nivel mayor que 35 dB por debajo del nivel dentro del canal asignado. Esto favorece directamente la utilización eficaz del espectro porque se minimiza la interferencia más allá de una separación de 4,5/5 kHz con respecto al centro del canal.

Actualmente el Registro del UIT-R de las transmisiones estacionales en ondas decamétricas incluye más de una transmisión del mismo programa a una zona objetivo para algunas organizaciones de radiodifusión. Esto se hace para aumentar la posibilidad de una buena recepción de la señal. El audio digital más robusto debe reducir, a la larga, esta necesidad, lo que será un factor principal en la mejora de la utilización eficaz del espectro. Se ha de reconocer, no obstante, que durante el periodo de introducción de la recepción digital, se necesitará aún una cantidad importante de transmisión analógica en ondas decamétricas porque sólo habrá una pequeña base de receptores digitales. De este modo, esta importante mejora de la utilización eficaz del espectro, aunque será real, no se obtendrá a corto plazo.

Para la radiodifusión en ondas hectométricas y algunos aspectos de la radiodifusión en ondas decamétricas, el concepto de la red a una sola frecuencia es atractivo para algunos mercados. Ésta es otra forma de obtener la utilización eficaz del espectro y, según se ha mencionado anteriormente, sólo será realizable cuando la población de receptores digitales en la zona de radiodifusión prevista haya alcanzado un alto nivel.

12 Norma única

El sistema DRM incluye múltiples modos de funcionamiento para diferentes condiciones de radiodifusión, lo que permite indicar una norma única para la radiodifusión digital en las bandas por debajo de 30 MHz.

13 Comparación con los actuales servicios con modulación de amplitud

Como se describe en este informe resumido, la calidad de funcionamiento del sistema DRM se ha comparado con la del sistema MA de doble banda lateral con las mismas anchuras de banda de canal.

14 Radiodifusión de datos

Se hace referencia a la descripción resumida del sistema DRM y al proyecto de especificación del sistema más detallado presentado al UIT-R en enero de 2000, que indican la gama de caudal de

datos posible con el sistema DRM en un canal de 9/10 kHz. En efecto, esta capacidad, que es inherente en el diseño, forma parte de un compromiso entre la calidad de audio, la robustez y la capacidad disponible para la radiodifusión de datos. El sistema permite una gama de velocidades de datos que pueden utilizar entre 0 y 100% de la capacidad de datos neta transmitida.

15 Modularidad

El diseño del sistema DRM contiene también medios para aprovechar anchuras de banda de canal mayores si se dispusiese de esta posibilidad en el futuro. En particular, la disponibilidad de anchuras de banda de 18/20 kHz por canal aumentaría considerablemente la calidad de audio y el potencial de radiodifusión de datos.

ANEXO 5

Resumen de la calidad de funcionamiento (véase la Nota 1) del sistema IBOC DSB basado en los criterios contenidos en el Anexo 3

NOTA 1 – Este Anexo proporciona un resumen de la calidad de funcionamiento del sistema IBOC DSB basado en los resultados de las pruebas en laboratorio y en servicio real documentadas en el Apéndice 1.

1 Calidad de audio no degradada por el códec

El sistema IBOC DSB utiliza una codificación de fuente AAC aumentada por la SBR. Como el funcionamiento y la calidad de AAC han sido adecuadamente documentados en otro lugar, no se proporciona un análisis más detallado de este asunto.

2 Fiabilidad del circuito de transmisión

El sistema IBOC DSB incorpora amplia redundancia para mejorar la fiabilidad del circuito. El sistema digital incluye bandas laterales totalmente redundantes a cada lado de la señal analógica, lo que permite transmitir información digital idéntica a cada lado de la señal analógica existente. De este modo, la pérdida de una de las dos bandas laterales no resultará en la pérdida total de la señal. Esto es particularmente útil para aumentar la resistencia a la interferencia de canal adyacente. La colocación de portadoras del sistema se ha diseñado también para favorecer una mayor fiabilidad. En el sistema totalmente digital, las subportadoras digitales colocadas inmediatamente adyacentes a la portadora principal constituyen las portadoras núcleo que pueden entregar 20 kbit/s de información digital. Las portadoras digitales exteriores a cada lado más lejos de la portadora principal contienen el sistema mejorado. Cuando se funciona en el modo mejorado, el sistema puede entregar 36 kbit/s de información digital. Este método flexible asegura la recepción fiable, por lo menos, de la información núcleo y, en condiciones más favorables, un nivel de información mejorado.

3 Zona de cobertura y degradación gradual

Las pruebas en servicio real del sistema IBOC DSB realizadas en Cincinnati, Ohio, demuestran la amplia zona de cobertura del sistema híbrido en ondas hectométricas. Se demostró en servicio real, que la cobertura de sistema se extiende aproximadamente a 90 km desde el transmisor. La intensidad de campo cuando el sistema comienza la mezcla frecuentemente de digital a señal analógica de respaldo es aproximadamente 1 mV/m. La señal no se mezcla ya a la señal digital en aproximadamente 0,6 mV/m. Como el sistema IBOC DSB incorpora la señal analógica como un respaldo y permite la mezcla sin fisuras entre la señal digital y la señal analógica, el sistema siempre proporcionará una cobertura por lo menos tan grande como la proporcionada por la señal analógica existente. Las pruebas efectuadas en Cincinnati confirman la capacidad del sistema de mantener la cobertura hasta la pérdida de la cobertura analógica, y confirman también la señal digital amplia y fiable para gran parte de la zona de cobertura del sistema.

El sistema IBOC DSB incorpora también una función para conmutar entre la señal digital y la analógica. En una determinada tasa de errores, el módem mezcla gradualmente la señal digital con la analógica para mantener la cobertura continuada. Esta función de mezcla mejora la cobertura de dos maneras. En primer lugar, amplía la cobertura en zonas donde la cobertura analógica puede rebasar la cobertura de la señal digital. La característica de mezcla, combinada con el respaldo analógico permite ampliar la cobertura sin distorsiones molestas para los oyentes. En segundo lugar, la función de mezcla proporciona un medio para la degradación gradual de la señal digital. La mezcla con la señal analógica permite el «efecto de pendiente» común a muchas señales digitales cuando una pérdida de señal conduce a una pérdida abrupta de la cobertura. La función de mezcla del sistema IBOC DSB permite una degradación gradual en el borde de la cobertura digital y cuando las degradaciones o interferencias corrompen la señal digital en una zona más próxima al transmisor.

4 Compatibilidad con los transmisores nuevos y existentes

El sistema IBOC DSB ha sido probado utilizando varios transmisores disponibles en el mercado. Las pruebas en servicio real realizadas en Cincinnati, Ohio, utilizaron un transmisor comercial existente y se realizaron pruebas similares con transmisores de otros dos fabricantes, las cuales han presentado una plena compatibilidad con el sistema IBOC DSB. Casi todos los fabricantes de transmisores existentes han analizado los atributos del sistema IBOC DSB y han determinado la compatibilidad con los transmisores existentes así como los transmisores en desarrollo.

5 Consideraciones sobre la planificación de canales

El sistema IBOC DSB que funciona en el modo híbrido está diseñado para permitir la transmisión simultánea de señales analógicas y digitales en la misma banda. Esto no repercutirá en la planificación de canales existentes para la banda de ondas hectométricas de 9 ó 10 kHz.

6 Funcionamiento de la red a una sola frecuencia

El sistema IBOC DSB no fue probado en una red a una sola frecuencia. No obstante, el sistema OFDM se adapta fácilmente al funcionamiento SFN coherente con otros sistemas SFN que han sido realizados.

7 Costo y complejidad del receptor

El sistema IBOC DSB integra la radiodifusión digital en la banda de ondas hectométricas y en la banda MF de ondas métricas, lo que permitirá a los fabricantes incluir el sistema IBOC DSB en la banda de ondas hectométricas con un costo sólo marginal por encima del requerido para la radiodifusión digital en la banda MF de ondas métricas. Esto se reflejará en la estructura de costo actual de los aparatos radiofónicos MA/MF.

8 Interferencia

El sistema IBOC DSB está diseñado para permitir la introducción de la señal digital a la vez que se minimiza la repercusión en las señales analógicas existentes. Las simulaciones y prueba del equipo físico real del sistema demuestran la capacidad del mismo para resistir a la interferencia cocanal y de canal adyacente.

9 Sintonía rápida y adquisición del canal

El sistema IBOC DSB proporciona adquisición y sintonización instantánea del canal. El sistema incorpora una característica de mezcla entre la señal digital principal y la señal analógica de respaldo. Al sintonizar una estación, el receptor adquiere inmediatamente la señal analógica. El sistema pasa después gradualmente al funcionamiento totalmente digital. Esta característica asegura la adquisición inmediata y la continuación de la adquisición rápida del canal que los oyentes esperan de las radiodifusiones analógicas.

En el modo totalmente digital, la sintonización rápida se efectúa utilizando una señal digital de respaldo. Esta señal puede ser adquirida en sólo 0,2 ms, dependiendo de la realización.

10 Compatibilidad con formatos analógicos existentes

El sistema IBOC DSB está diseñado para asegurar una transición fácil a la introducción de la radiodifusión digital sin necesidad de nuevo espectro o de eliminar radiodifusiones analógicas. El sistema híbrido proporciona plena compatibilidad de la radiodifusión digital con la señal analógica principal, así como con señales digitales y analógicas de la estación cocanal y de canal adyacente. La capacidad de sustentar radiodifusión analógica y digital en el mismo canal permitirá a las organizaciones de radiodifusión transmitir simultáneamente dicha programación durante la transición a la radiodifusión digital, e introducir la radiodifusión digital sin afectar a su audiencia existente, lo que hará que los órganos de reglamentación adopten la radiodifusión digital sin necesidad de nuevas asignaciones de frecuencia ni concesión de nuevas licencias de estaciones.

11 Utilización eficaz del espectro

La capacidad del sistema IBOC DSB de sustentar la radiodifusión digital sin afectar a la señal analógica existente favorece inherentemente el uso eficaz del espectro. Con la utilización de la anchura de banda existente de las radiodifusiones en ondas hectométricas, el sistema IBOC DSB puede ofrecer mejor calidad de audio y mayor robustez que las proporcionadas con los actuales sistemas analógicos.

12 Norma única

El sistema IBOC DSB proporciona flexibilidad para funcionar en diferentes modos con el fin de acomodar las necesidades de los oyentes en diferentes regiones. Además el sistema IBOC DSB es compatible con el sistema IBOC DSB en la banda MF en ondas métricas, por lo que puede servir como una norma para el funcionamiento DSB por debajo de 30 MHz.

13 Comparación con los actuales servicios con modulación de amplitud

El sistema IBOC DSB ha sido probado en servicio real y comparado con las radiodifusiones existentes en ondas hectométricas en Estados Unidos de América que funcionan en el mismo canal que el sistema IBOC DSB, y estas pruebas han demostrado las ventajas ofrecidas por este último sistema.

14 Radiodifusión de datos

El sistema IBOC DSB incorpora varias opciones para radiodifusión de datos. El diseño del sistema permite radiodifundir datos asociados a programas en sustitución de los actuales servicios de radiodifusión de datos analógicos. El sistema tiene también capacidad para 4-16 kbit/s de radiodifusión de datos, dependiendo de las condiciones dentro de la zona de servicio. El diseño del sistema proporciona flexibilidad suficiente para que los organismos de radiodifusión puedan mejorar aún más las capacidades de radiodifusión de datos, dependiendo de los compromisos entre calidad de audio y fiabilidad.

15 Modularidad

El sistema IBOC DSB incorpora flexibilidad suficiente para aprovechar mayor anchura de banda, cuando ésta esté disponible.

APÉNDICE 1

Referencias Bibliográficas y Bibliografía

Solicitud de propuestas del UIT-R, mencionada en el *considerando k)* y fuente de los criterios de evaluación reproducidos en el Anexo 3:

[1] Carta circular del UIT-R 10/LCCE/39.

Dos propuestas recibidas en respuesta a la solicitud, que incluyen especificaciones de diseño funcionales, según se menciona en los *considerando k)* y *o)*:

[2] Documento 10-6/10 (17 de enero de 2000). DRM proposal for a digital radio system for application in the broadcasting bands 30 MHz. (Origen: DRM).

[3] Documento 10-6/12 (21 de enero de 2000). IBOC DSB system for operation below 30 MHz. (Origen: Estados Unidos de América).

Breves descripciones del sistema e informes completos de los resultados de las pruebas en laboratorio y en servicio real suministrados por los dos proponentes en respuesta a la solicitud de propuestas mencionada en los *considerando* k) y p) y de las cuales los Anexos 4 y 5 son versiones condensadas:

- [4] Documento 6-6/6 (15 de septiembre de 2000). Summary description of DRM system and laboratory and field tests. (Origen: DRM.)
- [5] Documento 6-6/7 (11 de octubre de 2000). IBOC DSB system for operation below 30 MHz. (Origen: Estados Unidos de América.)

Otra documentación pertinente del UIT-R:

- [6] Documento 10/128, 11/206 (13 de abril de 2000). System recommendation for digital sound broadcasting at frequencies below 30 MHz.
 - [7] Documento 10-6/17 (12 de abril de 2000). Chairman's Report of TG 10/6 meeting held in Geneva, 25-27 January 2000. Informe del Presidente de la reunión del Grupo de Tareas Especiales 10/6 celebrada en Ginebra, 25-27 de enero de 2000.
-