

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R BS.1114-12
(01/2022)

Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz

Serie BS
Servicio de radiodifusión
(sonora)



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión (sonora)
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2022

© UIT 2022

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R BS.1114-12

**Sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal
para receptores en vehículos, portátiles y fijos
en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz**

(Cuestión UIT-R 56/6)

(1994-1995-2001-2002-2003-2004-2007-2011-2014-2015-2017-2019-2022)

Cometido

Esta Recomendación describe varios sistemas de radiodifusión sonora digital terrenal para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz. Se indican las características principales de cada sistema, tales como la codificación de la fuente, la codificación de canal, la modulación, la estructura de la transmisión y los niveles umbral para lograr una buena calidad de servicio.

Palabras clave

CDR, DAB, DRM, IBOC, radiodifusión sonora digital, RAVIS, RDSI-TSB

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en todo el mundo cada vez hay más interés por la radiodifusión sonora digital terrenal para receptores de vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz para dar cobertura local, regional y nacional;
- b) que el UIT-R había ya adoptado las Recomendaciones UIT-R BS.774 y UIT-R BO.789 para indicar los requisitos necesarios de los sistemas de radiodifusión sonora digital dirigida a receptores de vehículos, portátiles y fijos en aplicaciones terrenales y de satélite, respectivamente;
- c) que las Recomendaciones UIT-R BS.774 y UIT-R BO.789 reconocen las ventajas de la utilización complementaria de los sistemas terrenales y de satélite y plantean la necesidad de un sistema de radiodifusión sonora digital que permita utilizar un receptor común con circuitos comunes de procesamiento de integración a escala muy grande (VLSI) y la fabricación de receptores de bajo coste mediante la producción a gran escala;
- d) que el Sistema Digital A descrito en el Anexo 2 satisface los requisitos de las Recomendaciones UIT-R BS.774 y UIT-R BO.789 y que se ha probado en condiciones reales efectuando demostraciones de él en diversas bandas de frecuencias comprendidas entre 200 MHz y 1 500 MHz en diversos países;
- e) que el Sistema Digital F descrito en el Anexo 3 satisface los requisitos de la Recomendación UIT-R BS.774, y que ha sido probado en condiciones reales efectuando demostraciones en las bandas 188-192 MHz y 2 535-2 655 MHz en más de un país;
- f) que el Sistema Digital C descrito en el Anexo 4 satisface los requisitos de la Recomendación UIT-R BS.774 y que el sistema ha sido probado en condiciones reales efectuando demostraciones de su funcionamiento en la banda 88-108 MHz;
- g) que el Sistema Digital G descrito en el Anexo 5 satisface los requisitos de la Recomendación UIT-R BS.774, y que el sistema con el Modo E se ha probado con éxito en condiciones reales efectuando demostraciones de su funcionamiento en la Bandas I (47-68 MHz), y II (87,5-108 MHz) y III (174-230 MHz) de ondas métricas;

- h) que el Sistema Digital H descrito en el Anexo 6 satisface los requisitos de la Recomendación UIT-R BS.774 y que el sistema ha sido probado en condiciones reales efectuando demostraciones de su funcionamiento en la banda 88-108 MHz;
- i) que el Sistema Digital I descrito en el Anexo 7 satisface los requisitos de la Recomendación UIT-R BS.774 y que el sistema ha sido probado en condiciones reales efectuando demostraciones de su funcionamiento en las bandas 66-74 MHz y 87,5-108 MHz;
- j) que en la séptima Conferencia Mundial de Uniones de Radiodifusión (México, 27-30 de abril de 1992) la Unión Mundial de Radiodifusión resolvió unánimemente:
- «1) que se tomen iniciativas para acordar una norma única mundial sobre radiodifusión sonora digital; e
 - 2) instar a las administraciones a examinar las ventajas para el consumidor de disponer de una fuente y una codificación de canales y una realización comunes en la radiodifusión sonora digital con carácter mundial en 1,5 GHz;»
- k) que el tren de transporte MPEG-2 (TS MPEG-2) se aplica ampliamente como contenedor de información codificada digitalmente;
- l) que un proceso de normalización en Europa ha dado lugar a la adopción del Sistema Digital A (Eureka 147 como una Norma ETSI EN 300 401) para el SRS (sonora)/radiodifusión sonora dirigida a receptores en vehículos, portátiles y fijos;
- m) que un proceso de normalización llevado a cabo en Japón ha dado como resultado la adopción del Sistema Digital F, sistema de radiodifusión digital de servicios integrados—sistema terrenal de radiodifusión sonora (ISDB-T_{SB}, *integrated services digital broadcasting—terrestrial sound broadcasting*) para los sistemas de radiodifusión sonora terrenal digital dirigida a receptores en vehículos, portátiles y fijos;
- n) que pueden utilizarse las técnicas ISDB para implementar servicios que exploten todas las ventajas de la radiodifusión digital, y que la Recomendación UIT-R BT.1306 incluye el Sistema ISDB-T para la radiodifusión de televisión digital terrenal;
- o) que un proceso de normalización en Estados Unidos de América ha dado lugar a la adopción del Sistema Digital C (el sistema IBOC) como NRSC-5 para la radiodifusión sonora digital terrenal dirigida a receptores en vehículos, portátiles y fijos;
- p) que un proceso de normalización en Europa ha dado lugar a la adopción del Sistema Digital G (DRM como una norma ES 201.980 del ETSI) para la radiodifusión sonora digital terrenal dirigida a receptores en vehículos, portátiles y fijos;
- q) que un proceso de normalización en la República Popular de China ha dado lugar a la adopción del Sistema Digital H (el sistema CDR) norma (GY/T 268.1-2013) para la radiodifusión sonora digital terrenal dirigida a receptores en vehículos, portátiles y fijos;
- r) que un proceso de normalización en la Federación de Rusia ha dado lugar a la adopción de la norma nacional (GOST R 54309-2011) relativa al Sistema Digital I (sistema RAVIS) para la radiodifusión sonora y de multimedios digital terrenal dirigida a receptores en vehículos, portátiles y fijos,
- observando*
- a) que en el Anexo 1 se presenta un resumen de los sistemas digitales;
 - b) que las descripciones condensadas del sistema para los Sistemas Digitales A, C, F, G, H e I se dan en los Anexos 2, 3, 4, 5, 6 y 7 respectivamente;

c) que las descripciones completas de los Sistemas Digitales A, F y C aparecen en el Manual de Radiodifusión Sonora Digital,

recomienda

1 que los Sistemas Digitales A, F, C, G, H y/o I, descritos en los Anexos 2, 3, 4, 5, 6 y 7, respectivamente, se utilicen para los servicios de radiodifusión sonora digital terrenal destinados a receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz según proceda;

2 que las administraciones que deseen implementar servicios de radiodifusión sonora digital terrenal que satisfagan algunos o todos los requisitos establecidos en la Recomendación UIT-R BS.774, deben utilizar el Cuadro 1 para evaluar los méritos respectivos de los Sistemas Digitales A, F, C, G, H e I al seleccionar los sistemas,

invita a los miembros de la UIT y los fabricantes de receptores radioeléctricos a que tomen en consideración

1 receptores radioeléctricos asequibles, portátiles, multibanda y multinorma para que funcionen mediante selección manual o, preferiblemente, automática, con todos los sistemas de radiodifusión analógica y digital actualmente utilizados en todas las bandas de frecuencias pertinentes;

2 receptores radioeléctricos digitales que permitan descargar mejoras de algunas de sus funcionalidades específicas tales como decodificación, navegación, capacidad de gestión, etc.;

3 un indicador simple del nivel de campo de RF recibido y de la tasa de errores en los bits.

CUADRO 1

Características de los Sistemas Digitales A, F, C, G y H evaluados sobre la base de las características técnicas y operativas enumeradas en la Recomendación UIT R BS.774

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema Digital A	Sistema Digital F	Sistema Digital C	Sistema Digital G	Sistema Digital H	Sistema Digital I
Gama de calidad audio y tipos de recepción	<p>La gama va desde 8 a 384 kbit/s por canal audio en incrementos de 8 kbit/s hasta 64 servicios por conjunto (normalmente entre 10 y 20). El decodificador audio de Capa II MPEG-2 o MPEG-4 HE-AACv2 que funciona típicamente en la gama de 32 kbit/s a 192 kbit/s se realiza por medio de receptores.</p> <p>El sistema está destinado a la recepción en equipos de vehículo, portátiles y fijos</p>	<p>Gama de calidad vocal a calidad de disco compacto (CD). Tiene también capacidad para multicanales audio de 5.1. El decodificador de codificación de audio avanzado (AAC), MPEG-2 funciona típicamente en 144 kbit/s para estereofonía.</p> <p>El sistema está destinado a la recepción en equipos de vehículo, portátiles y fijos</p>	<p>La gama va de 12 a 96 kbit/s utilizando el decodificador AAC HD Codec⁽¹⁾, y se soportan diversos formatos de audio multicanal.</p> <p>El sistema está destinado a la recepción en equipos de vehículo⁽²⁾, portátiles y fijos</p>	<p>La gama de velocidad binaria de contenido útil va de 37 a 186 kbit/s para todo el conjunto multiplex con un máximo de cuatro servicios en todos los modos.</p> <p>Utilizando el decodificador de audio MPEG-4 HE-AAC v2 se logra una calidad de CD. También es capaz de ofrecer una calidad de audio multicanal 5.1.</p> <p>El sistema está destinado para la recepción en vehículos, portátil y fija⁽³⁾</p>	<p>La gama va de 16 kbit/s (compatible con calidad FM) a 320 kbit/s (calidad CD y futuro audio multicanal 5.1).</p> <p>Utilizando el decodificador audio DRA+ (GD/J 058-2014), se alcanza calidad CD a 96 kbps.</p> <p>El sistema está destinado para la recepción en vehículos, portátil y fija.</p>	<p>La gama de velocidad binaria útil va de 52 a 800 kbit/s para todo el multiplex.</p> <p>La utilización del decodificador de audio MPEG-4 HE-AAC v2 permite lograr calidad de CD. También puede lograrse calidad de audio inmersivo.</p> <p>El sistema está destinado para la recepción en vehículos, portátil y fija.</p>

CUADRO 1 (continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema Digital A	Sistema Digital F	Sistema Digital C	Sistema Digital G	Sistema Digital H	Sistema Digital I
Eficacia espectral superior a la de la MF	Calidad estereofónica MF obtenible con una anchura de banda inferior a 200 kHz; los requisitos de protección cocanal y de canal adyacente son muy inferiores a los de la MF. La eficacia es especialmente elevada en el caso de repetidores que reutilizan la misma frecuencia de múltiplex por división en frecuencia ortogonal codificada (MDFOC), con codificación de corrección de errores convolucional	Calidad estereofónica MF obtenible con una anchura de banda inferior a 200 kHz; los requisitos de protección cocanal y de canal adyacente son muy inferiores a los de la MF. La eficacia es especialmente elevada en el caso de repetidores que reutilizan la misma frecuencia. La eficacia puede ser mayor utilizando una modulación de portadora de modulación de amplitud en cuadratura 16 ó 64 (MAQ 16/ MAQ 64). (Múltiplex por división de frecuencia ortogonal (MDFO) con codificación de corrección de errores por bloques concatenados y convolucional)	Calidad estereofónica MF y datos obtenibles sin espectro adicional; los requisitos de protección cocanal y de canal adyacente son muy inferiores a los de la MF. El sistema está entrelazado para disminuir la interferencia de canal adyacente y es más robusto en presencia de interferencia digital y analógica cocanal	Calidad estereofónica MF y datos obtenibles en una anchura de banda de 100 kHz; los requisitos de protección cocanal y de canal adyacente muy inferiores a los de la MF. Puede lograrse una mejora en la eficacia de utilización del espectro haciendo funcionar múltiples transmisores en la misma frecuencia (es decir, una red de una sola frecuencia). La eficacia es especialmente elevada en el caso de repetidores que reutilizan la misma frecuencia. Puede lograrse una mayor eficacia utilizando una portadora con modulación de amplitud en cuadratura (MAQ)-16, además de MAQ-4. (Múltiplex por división de frecuencia ortogonal (MDFO) con codificación para corrección de errores multinivel)	El sistema define el modo simulcast y el modo todo digital para satisfacer las distintas necesidades en cada fase de la transición digital. En el modo difusión simultánea, se puede alcanzar calidad estereofónica MF (o CD) y datos obtenibles sin espectro adicional; los requisitos de protección cocanal y de canal adyacente son muy inferiores a los de la MF. El sistema está entrelazado para disminuir la interferencia de canal adyacente y es más robusto en presencia de interferencia digital y analógica cocanal. Tras la transición, el Sistema puede utilizar más espectro y proporcionar más servicios de alta calidad (como varios servicios de calidad CD y servicios multicanal 5.1).	Calidad estereofónica MF y datos obtenibles en una anchura de banda de 100, 200 y 250 kHz; requisitos de protección cocanal y de canal adyacente muy inferiores a los de la MF. Puede lograrse una mejora en la eficacia de utilización del espectro haciendo funcionar múltiples transmisores en la misma frecuencia (es decir, una red de una sola frecuencia). La eficacia es especialmente elevada en el caso de repetidores que reutilizan la misma frecuencia. Puede lograrse una mayor eficacia por medio de múltiplex por división de frecuencia ortogonal (MDFO) con codificación para corrección de errores multinivel y modulación de amplitud en cuadratura (MAQ) – 4-QAM, 16-QAM, 64-QAM.

CUADRO 1 (continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema Digital A	Sistema Digital F	Sistema Digital C	Sistema Digital G	Sistema Digital H	Sistema Digital I
					<p>Puede mejorarse la eficacia de utilización del espectro haciendo funcionar múltiples transmisores en la misma frecuencia (es decir, una red monofrecuencia). La eficacia es especialmente elevada en el caso de repetidores que reutilizan la misma frecuencia.</p> <p>Puede lograrse una mayor eficacia utilizando una portadora con modulación de amplitud en cuadratura (MAQ)-16/64, además de MAQ-4. (Múltiplex por división de frecuencia ortogonal (MDFO) con codificación para corrección de errores multinivel)</p>	

CUADRO 1 (continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema Digital A	Sistema Digital F	Sistema Digital C	Sistema Digital G	Sistema Digital H	Sistema Digital I
Comportamiento en entornos multitrayecto y de ensombrecimiento	El sistema está concebido especialmente para el funcionamiento multitrayecto. Funciona sobre la base de la suma de potencias de los ecos que entran en un determinado intervalo de tiempo. Este aspecto permite utilizar repetidores en el canal para cubrir zonas de sombra en el terreno	El sistema está diseñado especialmente para el funcionamiento en condiciones multitrayecto. Opera sobre la base de una suma de potencia de los ecos que caen dentro de un intervalo de tiempo dado. Esta característica permite utilizar repetidores en el canal para cubrir zonas de sombra en el terreno	El sistema está diseñado especialmente para el funcionamiento multitrayecto. Utiliza una modulación MDFO y, por consiguiente, logra un elevado grado de calidad en condiciones de multitrayecto. Esta característica permite la utilización de repetidores en el canal para cubrir zonas de sombra en el terreno	El sistema está diseñado especialmente para el funcionamiento en condiciones multitrayecto. Opera sobre la base de una suma de potencia de los ecos que caen dentro de un intervalo de tiempo dado. Esta característica permite la utilización de repetidores en el canal para cubrir zonas de sombra en el terreno	El sistema está especialmente diseñado para el funcionamiento en condiciones multitrayecto. Opera sobre la base de una suma de potencia de los ecos que caen dentro de un intervalo de tiempo dado. Esta característica permite la utilización de repetidores en el canal para cubrir zonas de sombra en el terreno	El sistema está especialmente diseñado para el funcionamiento en condiciones multitrayecto. Opera sobre la base de una suma de potencia de los ecos que caen dentro de un intervalo de tiempo dado. Esta característica permite la utilización de repetidores en el canal para cubrir zonas de sombra en el terreno
Procesamiento de la señal del receptor común para la radiodifusión por satélite (S) y terrenal (T)	No aplicable. Terrenal únicamente	No aplicable. Terrenal únicamente	No aplicable. Terrenal únicamente	No aplicable. Terrenal únicamente	No aplicable. Terrenal únicamente	No aplicable. Terrenal únicamente

CUADRO 1 (continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema Digital A	Sistema Digital F	Sistema Digital C	Sistema Digital G	Sistema Digital H	Sistema Digital I
Reconfiguración y calidad en función del número de programas	El múltiplex de servicio se basa en 64 subcanales cuya capacidad varía entre 8 kbit/s y aproximadamente 1 Mbit/s, dependiendo del nivel de protección contra errores, y es plenamente reconfigurable de forma dinámica. Cada subcanal puede también contener un número ilimitado de canales de paquetes de datos con capacidad variable	La multiplexación de los datos de carga útil se basa en sistemas MPEG 2. La velocidad de datos de audio se puede seleccionar en cualquier paso a fin de establecer una transacción entre la calidad audio y el número de servicios. Parámetros de transmisión tales como la modulación y la corrección de errores son reconfigurables dinámicamente por el control de la transmisión y la multiplexación (TMCC)	La velocidad binaria del contenido es de hasta 144 kbit/s. Los bits pueden reasignarse dinámicamente al audio o los datos utilizando las funcionalidades de transporte HDC a discreción del organismo de radiodifusión. Dentro de esa gama, la multiplexación del contenido permite hasta 8 programas de audio y hasta 32 servicios de datos. El receptor se reconfigura de forma dinámica para adaptarse al modo de transmisión	El múltiplex de servicio puede soportar hasta cuatro trenes, cuya capacidad puede variar de acuerdo con las necesidades del organismo de radiodifusión y es completamente reconfigurable dinámicamente. Cada tren puede cursar contenido de audio o datos con el tamaño del paquete configurable por el organismo de radiodifusión a fin de maximizar la eficacia. El receptor reconfigura de forma dinámica para adaptarse al modo de transmisión	El múltiplex de servicio puede soportar hasta cuatro trenes, cuya capacidad puede variar de acuerdo con las necesidades del organismo de radiodifusión y es completamente reconfigurable dinámicamente. Cada tren puede cursar contenido de audio o datos con el tamaño del paquete configurable por el organismo de radiodifusión a fin de maximizar la eficacia. El receptor reconfigura de forma dinámica para adaptarse al modo de transmisión	El múltiplex de servicio puede soportar más de 20 trenes, cuya capacidad puede variar de acuerdo con las necesidades del organismo de radiodifusión y es completamente reconfigurable dinámicamente. Cada tren puede cursar contenido de audio, vídeo y/o datos con el tamaño de paquete configurable por el organismo de radiodifusión a fin de maximizar la eficacia. El receptor se reconfigura de forma dinámica para adaptarse al modo de transmisión
Amplitud de la cobertura en función del número de programas	Se dispone de cinco niveles de protección para el audio MPEG-2 y de ocho niveles de protección para los servicios de datos y audio MPEG-4 utilizando la codificación convolucional con perforación en cada uno de los 64 subcanales (la corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC) oscila entre 1/4 y 3/4)	Se dispone de cuatro clases de modulación y cinco niveles de protección (Modulación de la portadora: Modulación por desplazamiento de fase cuaternaria diferencial (MDP-4 D), MDP-4, MAQ-16, MAQ-64, relación de codificación: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8)	El sistema mantiene cobertura uniforme para todos los programas. Las portadoras secundarias pueden tener una gama reducida en presencia de interferencia de canal adyacente. (Modulación de portadora: MDP 4)	Se dispone de dos tipos de modulación (MAQ-4 y MAQ-16) y diferentes niveles de protección (dos niveles para el SDC y cuatro niveles para el MSC). Cada tren puede configurarse dinámicamente. La corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC) oscila entre 1/4 y 5/8	Se dispone de tres tipos de modulación (MAQ-4, MAQ-16 y MAQ-64) y diferentes niveles de protección (cuatro niveles para el MSC). La corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC) oscila entre 1/4 y 3/4	Se dispone de tres tipos de modulación (MAQ-4, MAQ-16 y MAQ-64) y diferentes niveles de protección (tres niveles para el MSC). La corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC) oscila entre 1/2 y 3/4

CUADRO 1 (continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema Digital A	Sistema Digital F	Sistema Digital C	Sistema Digital G	Sistema Digital H	Sistema Digital I
<p>Receptor común para las distintas formas de distribución de programas</p> <p>– Servicios terrenales</p>	<p>Permite establecer servicios terrenales locales, subnacionales y nacionales con la misma modulación y transmisores únicos o múltiples que funcionan en una red de frecuencia única, a fin de aprovechar un receptor común Servicios terrenales</p>	<p>Permite establecer servicios terrenales locales, subnacionales y nacionales con la misma modulación y transmisores únicos o múltiples que funcionan en una red de frecuencia única aprovechando un receptor común</p>	<p>El sistema utiliza una antena y extremo frontal común compatible con los servicios de radiodifusión con MF analógicos existentes. Permite establecer servicio local así como servicios terrenales subnacionales y nacionales con un solo transmisor o múltiples transmisores que funcionan en una red de frecuencia única en el caso del tramo digital del modo híbrido o el modo completamente digital. Permite que la distribución común de la programación de MF haga una transición sin discontinuidades del entorno digital al analógico y viceversa. Permite la difusión simultánea de una programación idéntica en modo analógica y digital (funcionamiento híbrido)</p>	<p>Permite establecer servicios terrenales locales, subnacionales y nacionales con la misma modulación y transmisores únicos o múltiples que funcionan en una red de frecuencia única aprovechando un receptor común. Diseñado como un sistema únicamente digital terrenal</p>	<p>El sistema utiliza una antena y extremo frontal común compatible con los servicios de radiodifusión con MF analógicos existentes. Permite establecer servicio local así como servicios terrenales subnacionales y nacionales con un solo transmisor o múltiples transmisores que funcionan en una red de frecuencia única en el caso del tramo digital del modo híbrido o el modo completamente digital.</p>	<p>Permite establecer servicios terrenales locales, subnacionales y nacionales con la misma modulación y transmisores únicos o múltiples que funcionan en una red de frecuencia única aprovechando un receptor común. Diseñado como un sistema únicamente digital terrenal</p>

CUADRO 1 (continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema Digital A	Sistema Digital F	Sistema Digital C	Sistema Digital G	Sistema Digital H	Sistema Digital I
<ul style="list-style-type: none"> – Mixta/híbrida – Distribución por cable 	<p>La señal puede cursarse de forma transparente por cable</p>	<p>Permite utilizar la misma banda que la radiodifusión sonora terrenal (mixta), así como la utilización de repetidores terrenales en el canal para reforzar la cobertura del satélite (híbrida), lo que permite recibir todos estos canales transparentemente mediante un receptor común</p> <p>La señal puede cursarse de forma transparente por cable</p>	<p>La señal puede cursarse de forma transparente por cable</p>	<p>La señal puede cursarse de forma transparente por cable</p>	<p>La señal puede cursarse de forma transparente por cable</p>	<p>La señal puede cursarse de forma transparente por cable</p>

CUADRO 1 (continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema Digital A	Sistema Digital F	Sistema Digital C	Sistema Digital G	Sistema Digital H	Sistema Digital I
<p>Capacidad de datos asociados al programa (PAD)</p>	<p>Se dispone de un canal de PAD que va desde 0,33 a 64 kbit/s, mediante una reducción de cualquier canal de audio en la cantidad correspondiente. Todos los receptores disponen de un letrero dinámico para la identificación del programa y del servicio que aparece solamente en la pantalla alfanumérica del receptor. Los receptores con visualización gráfica (1/4 de VGA, video graphic array) disponen de decodificación básica de lenguaje de etiquetado hipertexto (HTML) y de decodificación de imagen del Grupo Mixto de Expertos en Fotografía (JPEG), etc.</p>	<p>La multiplexación de PAD se basa en sistemas MPEG-2</p>	<p>Los PAD forman parte integrante del sistema y pueden proporcionarse mediante datos oportunistas sin ninguna reducción de la calidad de audio o los canales de datos. Todos los receptores disponen de un letrero dinámico para la identificación del programa y del servicio que aparece en la pantalla alfanumérica de todo receptor</p>	<p>Se dispone de PAD con capacidad seleccionable por el organismo de radiodifusión. Todos los receptores disponen de un letrero dinámico para la identificación del programa y del servicio que aparece en la pantalla alfanumérica de todo receptor (mensajes de texto DRM; letreros de acompañamiento de programas (Unicode)). Guía de programa electrónico; servicio de información avanzada por texto (Unicode), que soportan todas las clases de receptores, activación de la interactividad y geosensibilización; imágenes de acompañamiento del programa + vídeo de animación a pequeña escala sobre información del tráfico</p>	<p>Se dispone de PAD con capacidad seleccionable por el organismo de radiodifusión. Todos los receptores disponen de un letrero dinámico para la identificación del programa y del servicio que aparece en la pantalla alfanumérica de todo receptor. Guía de programa electrónico; servicio de información avanzada por texto</p>	<p>Se dispone de PAD con capacidad seleccionable por el organismo de radiodifusión. Todos los receptores disponen de un letrero dinámico para la identificación del programa y del servicio que aparece en la pantalla alfanumérica de todo receptor. Guía de programa electrónico; servicio de información avanzada por texto</p>

CUADRO 1 (continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema Digital A	Sistema Digital F	Sistema Digital C	Sistema Digital G	Sistema Digital H	Sistema Digital I
Asignación flexible de servicios	El múltiplex puede reconfigurarse dinámicamente en forma transparente para el usuario	El múltiplex puede reconfigurarse dinámicamente en forma transparente para el usuario	El sistema se reconfigura automáticamente entre audio y datos de forma transparente para el usuario	El múltiplex puede reconfigurarse dinámicamente en forma transparente para el usuario	El múltiplex puede reconfigurarse dinámicamente en forma transparente para el usuario	El múltiplex puede reconfigurarse dinámicamente en forma transparente para el usuario
Compatibilidad de la estructura del múltiplex con el modelo de interconexión de sistemas abiertos (ISA)	La estructura del múltiplex del sistema se ajusta al modelo por capas ISA, especialmente para los canales de datos, excepto en los aspectos de protección contra errores del canal de audio de Capa II MPEG-2	La estructura del múltiplex del sistema se ajusta totalmente a la arquitectura de sistemas MPEG-2	El sistema se basa en un modelo de capas ISA incluidos tanto los datos como el audio, salvo en la protección contra errores, característica que permite el códec de audio	La estructura del múltiplex del sistema se ajusta a modelo por capas OSI para todos los servicios	La estructura del múltiplex del sistema se ajusta a modelo por capas OSI para todos los servicios	La estructura del múltiplex del sistema se ajusta a modelo por capas OSI para todos los servicios
Capacidad de datos de valor añadido	Todo subcanal (de los 64) no utilizado para audio puede utilizarse para servicios de datos independientes del programa.	Puede asignarse capacidad en cualquier velocidad hasta la capacidad de carga útil completa a datos independientes para la distribución de datos empresariales, radiobúsqueda, gráficos en imagen estática, etc., con control de acceso condicional, si se desea	Puede asignarse capacidad en cualquier velocidad hasta la capacidad de carga útil completa a datos independientes para la distribución de datos empresariales, radiobúsqueda, gráficos en imagen estática, etc., con control de acceso condicional, si se desea	Puede asignarse capacidad en cualquier velocidad hasta la capacidad de carga útil completa a datos independientes para la distribución de datos empresariales, radiobúsqueda, gráficos en imagen estática, etc., con control de acceso condicional, si se desea	Puede asignarse capacidad en cualquier velocidad hasta la capacidad de carga útil completa a datos independientes para la distribución de datos empresariales, radiobúsqueda, gráficos en imagen estática, etc., con control de acceso condicional, si se desea	Puede asignarse capacidad en cualquier velocidad hasta la capacidad de carga útil completa a datos independientes para la distribución de datos empresariales, radiobúsqueda, gráficos en imagen estática, etc., con control de acceso condicional, si se desea

CUADRO 1 (fin)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema Digital A	Sistema Digital F	Sistema Digital C	Sistema Digital G	Sistema Digital H	Sistema Digital I
Fabricación de bajo coste del receptor	Permite la fabricación en masa obteniendo un precio reducido para el consumidor de los receptores.	El sistema se optimizó específicamente para lograr el desarrollo inicial de un receptor en vehículo de complejidad reducida. Se ha constituido un grupo de normalización para conseguir la fabricación de receptores económicos mediante técnicas de producción en masa de integración en gran escala	El sistema se optimizó específicamente para lograr el desarrollo inicial de un receptor en vehículo de complejidad reducida. Las soluciones IC de tercera generación permiten la implementación monocircuito compatible con dispositivos móviles y receptores portátiles de bajo coste	Permite la fabricación en masa obteniendo un precio reducido para el consumidor de los receptores	Permite la fabricación en masa obteniendo un precio reducido para el consumidor de los receptores	Permite la fabricación en masa obteniendo un precio reducido para el consumidor de los receptores

- (1) Puede encontrarse más información sobre el HD Codec (HDC) en www.ibequity.com.
- (2) Los modos utilizados por los circuitos integrados funcionando en la banda y en el mismo canal (IBOC) (Sistema Digital C) no permiten el funcionamiento en vehículos a frecuencias superiores a 230 MHz.
- (3) Este sistema se probó con éxito en las Regiones 1 y 3.
Con respecto a la Región 2, no se dispone de los datos de funcionamiento real para demostrar la compatibilidad con la radiodifusión analógica en zonas con una significativa interferencia cocanal y de canal adyacente.

Anexo 1

Resúmenes de los sistemas digitales

1 Resumen del Sistema Digital A

El Sistema Digital A, conocido también como sistema Eureka 147 DAB (radiodifusión de audio digital, *digital audio broadcasting*), se ha desarrollado para las aplicaciones de radiodifusión por satélite y terrenal, de forma que permita la recepción con un equipo común económico. El sistema se ha diseñado para la recepción en vehículos, portátiles y fijos utilizando antenas receptoras omnidireccionales de baja ganancia situadas a 1,5 m sobre el suelo. El DAB se utiliza en la radiodifusión terrenal para recepción portátil y móvil. Ofrece especialmente una mejora de la calidad en entornos de propagación multitrayecto y de ensombrecimiento que son los habituales de las condiciones de recepción urbana, y permite reducir la potencia requerida del transpondedor del satélite utilizando repetidores terrenales en el canal que actúan como «reemisores de relleno». El Sistema Digital A puede dar diversos niveles de calidad del sonido hasta el de gran calidad, comparable al que se obtiene con los medios de grabación digital de consumo. También puede ofrecer diversos servicios de datos y distintos niveles de acceso condicional, junto a la capacidad de redistribución dinámica de los diversos servicios contenidos en el múltiplex.

2 Resumen del Sistema Digital F

El Sistema Digital F, conocido también como sistema ISDB-T_{SB}, se destina a proporcionar radiodifusión sonora y de datos de calidad elevada con una fiabilidad alta incluso en la recepción móvil. El sistema se destina también a dotar de flexibilidad, capacidad de expansión y comunidad de elementos a la radiodifusión multimedia que utiliza redes terrenales. El sistema es robusto y utiliza modulación MDFO, entrelazado bidimensional frecuencia-tiempo y códigos de corrección de errores concatenados. La modulación MDFO utilizada en el sistema se denomina transmisión segmentada de la banda (BST, *band segmented transmission*)-MDFO. El sistema tiene elementos comunes con el sistema ISDB-T para la radiodifusión de televisión terrenal digital en capa física. El sistema dispone de una amplia variedad de parámetros de transmisión, tales como el esquema de modulación de portadora, las velocidades de codificación del código de corrección de errores interno y el entrelazado en longitud y en el tiempo. Algunas de las portadoras se asignan a portadoras TMCC que transmiten la información sobre los parámetros de transmisión para el control del receptor. El Sistema Digital F puede utilizar métodos de codificación de audio de alta compresión, tales como el AAC MPEG-2. Y, además, el Sistema Adopta los sistemas MPEG-2. Tiene comunidad de elementos e interoperabilidad con otros muchos sistemas que adoptan los sistemas MPEG-2, como los ISDB-S, ISDB-T, DVB-S y DVB-T.

3 Resumen del Sistema Digital C

El Sistema Digital C, conocido también como sistema IBOC DSB es un sistema plenamente desarrollado. El sistema fue diseñado para proporcionar recepción en vehículos¹, portátil, teléfono móvil y fija utilizando transmisores terrenales. Aunque el Sistema Digital C puede implantarse en espectro desocupado, una característica muy significativa del sistema es su capacidad de ofrecer transmisión cuasisíncrona de señales analógicas y digitales en la actual banda de radiodifusión con

¹ Los modos utilizados por los circuitos integrados en el IBOC (Sistema Digital C) no permiten el funcionamiento en vehículos a frecuencias superiores a 230 MHz.

MF. Esta característica del sistema permitiría a los actuales organismos de radiodifusión con MF una transición racional de la radiodifusión analógica a la radiodifusión digital. El sistema ofrece una calidad mejorada en entornos multitrayecto lo que da lugar a una mayor fiabilidad que la que pueden proporcionar los actuales sistemas MF analógicos. Con el Sistema Digital C se obtiene una calidad de audio mejorada comparable a la que se logra con los medios de grabación digital domésticos. Además, el sistema incorpora flexibilidad para que los radiodifusores ofrezcan nuevos servicios de difusión de datos además de la programación de audio mejorada. Adicionalmente, el sistema permite la asignación de bits entre la capacidad de audio y de difusión de datos a fin de maximizar estas últimas capacidades.

4 Resumen del Sistema Digital G

El Sistema Digital G, también conocido como Sistema Digital Radio Mondiale (DRM), ha sido desarrollado para las aplicaciones de radiodifusión terrenal en todas las bandas de frecuencias atribuidas a escala mundial a la radiodifusión sonora analógica. Respeta los contornos de espectro definidos por la UIT permitiendo una transición gradual de la radiodifusión analógica a la radiodifusión digital. Se ha diseñado como un sistema únicamente digital. En las bandas por encima de 30 MHz, define el modo de robustez E (también conocido como DRM+) para ofrecer una calidad de audio comparable a la obtenida a partir de los medios domésticos de grabación digital. Además, el Sistema Digital G también ofrece varios servicios de datos, incluidas imágenes y guías electrónicas de programas, así como la capacidad de reordenar dinámicamente los distintos servicios contenidos en el múltiplex sin pérdida de audio.

5 Resumen del Sistema Digital H

El Sistema Digital H, también denominado Sistema de Radiocomunicación Digital Convergente (CDR), ha sido concebido para la transición paulatina de la actual MF analógica a la radiodifusión digital. El Sistema ha sido diseñado para la recepción en vehículos, portátil y fija utilizando transmisores terrenales. Durante la fase de difusión simultánea, el Sistema Digital H puede utilizar todo el espectro no ocupado en el actual canal de MF, ofrecer servicios de radiodifusión digital adicionales, ofreciendo mayor rendimiento en entornos multitrayecto gracia a la mayor fiabilidad que los sistemas de MF analógicos existentes. Una vez concluida la transición, el Sistema Digital H puede ofrecer servicios de audio digital de alta calidad (como calidad CD o servicios multicanal 5.1) además de diversos servicios de datos, y también puede dar soporte a la cobertura nacional utilizando redes monofrecuencia (SFN).

6 Resumen del Sistema Digital I

El Sistema Digital I, también conocido como sistema RAVIS (sistema de información audiovisual en tiempo real), ha sido desarrollado para las aplicaciones de radiodifusión terrenal en todas las bandas de frecuencias atribuidas a escala mundial a la radiodifusión sonora analógica MF. Respeta los contornos de espectro definidos por la UIT permitiendo una transición gradual de la radiodifusión analógica a la radiodifusión digital. Se ha diseñado como un sistema únicamente digital. También ofrece una calidad de audio comparable, o superior, a la obtenida a partir de los medios domésticos de grabación digital. Además, el Sistema Digital I ofrece servicio de vídeo y varios servicios de datos, incluidas imágenes y guías electrónicas de programas, así como la capacidad de reordenar dinámicamente los distintos servicios contenidos en el múltiplex.

Anexo 2

Sistema Digital A

1 Introducción

El Sistema Digital A se ha construido para proporcionar radiodifusión digital multiservicio de alta calidad destinada a receptores a bordo de vehículos, portátiles y fijos. Puede funcionar en cualquier banda de frecuencias hasta 3 000 MHz, para la distribución terrenal y por cable. Se trata de un sistema flexible y de aplicación general de ISDB, que permite una amplia gama de opciones de codificación en la fuente y del canal, datos asociados con los programas radiofónicos y servicios de datos independientes, cumpliendo los requisitos flexibles y de amplio alcance en materia de servicio y establecidos en las Recomendaciones UIT-R BO.789 y UIT-R BS.774 y mantenidos en el Manual de Radiodifusión sonora digital terrenal y por satélite y en el Informe UIT-R BS.1203.

El Sistema A es robusto y ofrece un gran aprovechamiento del espectro y la potencia para la radiodifusión de datos y sonido. Se utilizan técnicas digitales avanzadas para eliminar la redundancia y la información visual irrelevantes de la señal fuente; después se aplica una redundancia estrechamente controlada a la señal transmitida, para la corrección de errores. A continuación se dispersa ésta en los dominios de la frecuencia y el tiempo para obtener una señal recuperable de elevada calidad en el receptor fijo y móvil, aún en condiciones de propagación multitrayecto muy difíciles. El aprovechamiento del espectro se realiza intercalando varias señales radiofónicas y una característica especial de reutilización de frecuencias permite una ampliación casi sin límites de las redes de radiodifusión mediante la utilización de transmisores adicionales que funcionan en la misma frecuencia de emisión.

El Sistema Digital A fue desarrollado por el Consorcio Eureka 147 DAB y ha recibido el pleno apoyo de la Unión Europea de Radiodifusión (UER). El sistema ha tenido un éxito considerable en muchos países europeos y la transición está prevista en Noruega en 2017 y en Suiza entre 2020 y 2024. También se ofrecen servicios ordinarios en Australia y se han llevado a cabo muchas pruebas en todos los continentes. En el Anexo 2 el Sistema Digital A se denomina «el Sistema A». La especificación completa del mismo aparece como la Norma Europea de Telecomunicaciones EN 300 401.

2 Utilización de un modelo por capas

El Sistema A es capaz de cumplir con el modelo básico de referencia de ISA de la Organización Internacional de Normalización (ISO) que se describe en la ISO 7498 (1984). La utilización de este modelo se aconseja en la Recomendación UIT-R BT.807 y el Informe UIT-R BT.1207, figurando en la primera una interpretación adecuada para su utilización con los sistemas de radiodifusión por capas. Según estas orientaciones, el Sistema A se describirá en relación con las capas del modelo y el Cuadro 2 que ilustra la interpretación aplicada en este caso.

Se ofrecen descripciones de muchas de las técnicas que intervienen en relación con el funcionamiento del equipo en el transmisor, o en el punto central de una red de distribución, en el caso de una red de transmisores.

CUADRO 2

Interpretación del modelo por capas ISA

Nombre de la capa	Descripción	Características específicas al sistema
Capa de aplicación	Utilización práctica del sistema	Facilidades del sistema Calidad audio Modos de transmisión
Capa de presentación	Conversión para presentación	Codificación y decodificación audio Presentación de audio Información de servicio
Capa de sesión	Selección de datos	Selección de programa Acceso condicional
Capa de transporte	Agrupación de datos	Servicios de programa Múltiplex de servicio principal Datos auxiliares Asociación de datos
Capa de red	Canal lógico	Tramas audio ISO Datos asociados al programa
Capa de enlace de datos	Formato de la señal transmitida	Tramas de transmisión Sincronización
Capa física	Transmisión (radioeléctrica) física	Dispersión de energía Codificación convolucional Intercalado de tiempo Intercalado de frecuencias Modulación MDP-4 D MDFO Transmisión radioeléctrica

El objetivo fundamental del Sistema A es la difusión de programas radiofónicos al oyente; así pues, el orden de los puntos de la descripción que sigue se inicia en la capa de aplicación (utilización de la información de radiodifusión) continuando hacia abajo hasta la capa física (los medios para la transmisión radioeléctrica).

3 Capa de aplicación

Esta capa se refiere a la utilización del Sistema A en el nivel de aplicación. Considera las facilidades y la calidad audio que da el Sistema A y que las entidades de radiodifusión pueden ofrecer a sus oyentes, así como los distintos modos de transmisión.

3.1 Facilidades ofrecidas por el Sistema

El Sistema A da una señal que lleva un múltiplex de datos digitales y varios programas al mismo tiempo. El múltiplex contiene datos radiofónicos y datos auxiliares que incluyen PAD, información de configuración del múltiplex (MCI) e información de servicio (SI). El múltiplex puede también cursar servicios de datos generales que pueden no estar relacionados con la transmisión de programas radiofónicos.

En particular, se ponen a disposición del usuario del Sistema A las facilidades siguientes:

- la señal de audio (es decir, el programa) proporcionada por el servicio de programa seleccionado;

- la aplicación opcional de funciones de receptor, por ejemplo, el control de gama dinámica que puede utilizar datos auxiliares cursados con el programa;
- un texto visualizado de información seleccionada que va en la SI. Puede tratarse de información sobre el programa seleccionado o sobre otros programas disponibles en selección opcional;
- opciones que pueden estar disponibles para seleccionar otros programas, otras funciones de receptor y otra SI;
- uno o más servicios de datos generales, por ejemplo, un canal de mensajes de tráfico (TMC).

El Sistema A incluye facilidades para acceso condicional y el receptor puede estar equipado con salidas digitales para señales de audio y de datos.

3.2 Calidad de audio

Dentro de la capacidad del múltiplex está la de elegir el número de servicios de programa y, para cada uno de ellos, el formato de presentación (por ejemplo, estereofónico, monofónico, sonido periférico, etc.), la calidad de audio y el grado de protección contra errores (y con ello su fiabilidad) a fin de atender las necesidades de las entidades de radiodifusión.

Para la calidad de audio se dispone de la siguiente gama de opciones:

- calidad muy elevada, con margen para el procesamiento audio;
- calidad subjetivamente transparente, suficiente para la calidad máxima de radiodifusión;
- calidad elevada, equivalente a una buena calidad de servicio MF;
- calidad media, equivalente a una buena calidad de servicio MA;
- calidad de conversación únicamente.

El Sistema A ofrece plena calidad de recepción dentro de los límites de cobertura del transmisor; más allá de dichos límites, la recepción se degrada en una forma subjetivamente ligera.

4 Capa de presentación

Esta capa se refiere a la conversión y presentación de la información de radiodifusión.

4.1 Codificación de audio en la fuente

El método de codificación de audio original en la fuente utilizado por el sistema es el Capa audio II-ISO/IEC MPEG, que figura en la Norma 11172-3 de la ISO. Este sistema de compresión de codificación subbanda se conoce también como sistema MUSICAM. Esta codificación de la fuente de audio fue aumentada en 1997 con la adición de la Norma ISO/CEI 13818-3 que permitió aumentar la calidad subjetiva a bajas velocidades binarias. En 2007 apareció la codificación de la fuente de audio DAB+, norma ETSI TS 102 563, que utiliza un códec audio HE-AACv2 más eficiente, normalizado en la ISO/CEI 14496-3. Esta opción de codificación de la fuente de audio es la opción preferida por las entidades de radiodifusión que ofrecen servicios del Sistema A, y muchos de los que comenzaron a ofrecer servicios de audio MPEG-2 han pasado a MPEG-4 a fin de aumentar la eficiencia espectral de sus emisiones.

El Sistema A acepta una serie de señales audio MIC con una velocidad de muestreo de 16, 24, 32 ó 48 kHz, cada una con la opción de datos adiciones del programa (PAD/XPAD). El número de fuentes de audio posibles depende de la velocidad binaria y del perfil de protección contra errores. Los codificadores de audio pueden funcionar a velocidades binarias de 8 a 192 kbit/s por canal monofónico. En modo de canal estereofónico o doble, el codificador produce una velocidad binaria doble de la del canal monofónico.

4.2 Decodificación de audio

La decodificación en el receptor se realiza de una manera directa y económica utilizando una sencilla técnica de procesamiento de la señal que requiere únicamente las operaciones de demultiplexación, expansión y filtrado inverso.

4.3 Presentación de audio

Las señales audio pueden presentarse monofónica o estereofónicamente, o pueden agruparse los canales de audio para obtener sonido periférico. Los programas pueden enlazarse para ofrecer un mismo programa simultáneamente en distintos idiomas. Para satisfacer a los oyentes en entornos de alta fidelidad y de ruido, la entidad de radiodifusión puede transmitir opcionalmente una señal de control de gama dinámica (DRC) que puede utilizarse en un receptor situado en un entorno ruidoso para comprimir la gama dinámica de la señal de audio reproducida. Obsérvese que esta técnica también puede ser útil para oyentes con problemas auditivos.

4.4 Presentación de la información de servicio

Con cada programa transmitido por el Sistema puede disponerse de los elementos de la SI siguientes para visualizarlos en un receptor:

- etiqueta básica del programa (es decir, el nombre del programa);
- hora y fecha;
- referencia al mismo programa o a uno similar (por ejemplo, en otro idioma) que se transmite en otro conjunto o se difunde simultáneamente por un servicio MA o MF;
- etiqueta de servicio ampliado para los servicios relacionados con el programa;
- información de programa (por ejemplo, los nombres de los realizadores);
- idioma;
- tipo de programa (por ejemplo, noticias, deportes, música, etc.).

También pueden incluirse datos de la red del transmisor para uso interno de las entidades de radiodifusión.

5 Capa de sesión

Esta capa se refiere a la selección de información de radiodifusión y al acceso a ella.

5.1 Selección de programa

Para que un receptor pueda acceder a cualquiera de los servicios individuales o a todos ellos con un retardo mínimo, el FIC cursa información acerca del contenido actual y futuro del múltiplex. Esta información es la MCI que puede leerse en máquina. Los datos del FIC no están entrelazados en el tiempo, de forma que la MCI no sufre el retardo inherente al proceso de entrelazado que se aplica a los servicios de audio y de datos generales. No obstante, estos datos se repiten frecuentemente para asegurar su fiabilidad. Cuando la configuración del múltiplex está a punto de cambiar se envía con antelación en la MCI la nueva información, junto con la temporización del cambio.

El usuario de un receptor puede seleccionar programas basándose en la información textual incorporada en la SI, utilizando el nombre de servicio del programa, la identidad del tipo de programa o el idioma. La selección se realiza en el receptor utilizando los elementos correspondientes de la MCI.

Si se dispone de fuentes alternativas de un servicio de programa elegido y no puede sostenerse un servicio digital original, pueden utilizarse los datos de enlace cursados en la SI (es decir, la «referencia») para identificar una alternativa (por ejemplo, en un servicio MF) y conmutar a ella. No obstante, en dicho caso, el receptor volverá a pasar al servicio original tan pronto como sea posible la recepción.

5.2 Acceso condicional

Se proporciona la sincronización y el control de acceso condicional.

El acceso condicional puede aplicarse independientemente a las componentes del servicio a los servicios o a todo el múltiplex.

6 Capa de transporte

Esta capa se refiere a la identificación de grupos de datos como servicios de programa, la multiplexación de datos para dichos servicios y la asociación de elementos de los datos multiplexados.

6.1 Servicios de programas

Un servicio de programa comprende generalmente una componente del servicio de audio y, opcionalmente componentes del servicio de datos y/o de audio adicionales, proporcionados por un suministrador del servicio. Toda la capacidad del múltiplex puede estar dedicada a un suministrador del servicio (por ejemplo, la entidad nacional de radiodifusión pública), o puede estar dividida entre varios suministradores del servicio (por ejemplo, un grupo independiente de radiodifusores comerciales, públicos y comunitarios).

6.2 Múltiplex de servicio principal

Los datos que representan cada uno de los programas que se difunden (datos de audio digital con algunos datos auxiliares y, tal vez, datos generales) se someten a una codificación convolucional (véase el § 9.2) y a un entrelazado temporal para protección contra errores. El entrelazado temporal mejora la seguridad de la transmisión de datos en un entorno cambiante (por ejemplo, la recepción en un receptor a bordo de un vehículo en movimiento) e impone un retardo de transmisión predecible. Los datos entrelazados y codificados se aplican al multiplexor de servicio principal en el que, cada 24 ms, se reúnen los datos secuencialmente en la trama del múltiplex. La salida del tren binario combinada del multiplexor se denomina canal MSC y tiene una capacidad bruta de 2,3 Mbit/s. Dependiendo de la velocidad de código elegida (que puede ser distinta de una aplicación a otra), se obtiene una velocidad binaria neta que va desde unos 0,8 a 1,7 Mbit/s, con una anchura de banda de 1,5 MHz. El multiplexor de servicio principal es el punto en que se reúnen los datos sincronizados procedentes de todos los servicios de programas que utilizan el múltiplex.

Los datos generales pueden enviarse en el MSC como una cadena no estructurada u organizarse como un múltiplex de paquetes en el que se combinan diversas fuentes. La velocidad de datos puede ser cualquier múltiplo de 8 kbit/s, sincronizada con el múltiplex del Sistema, siempre que haya suficiente capacidad del múltiplex, teniendo en cuenta la demanda de servicios de audio.

El FIC es exterior al MSC y no lleva entrelazado temporal.

6.3 Datos auxiliares

Hay dos ámbitos en que pueden cursarse los datos auxiliares en el múltiplex del Sistema:

- se prevé especialmente cursar una cantidad moderada de PAD en cada canal de audio;
- todos los datos auxiliares restantes se tratan como servicio separado en el MSC. La presencia de esta información se señala en la MCI.

6.4 Asociación de datos

La MCI que va en el FIC ofrece una descripción precisa del contenido actual y futuro del MSC. También pueden ir en el FIC elementos esenciales de SI que se refieren al contenido del MSC (es decir, para selección de programas). Pueden cursarse separadamente como un servicio de datos general textos más amplios, como puede ser una lista de todos los programas del día. Así pues, la MCI y la SI contienen contribuciones de todos los programas que se están difundiendo.

Los PAD que van en cada canal de audio incluyen principalmente información íntimamente relacionada con el programa radiofónico y que, por tanto, no puede enviarse en un canal de datos distinto que pueda estar sometido a un retardo de transmisión diferente. Estos datos pueden ser texto o imágenes sencillas relacionadas con el contenido del programa, información sobre la guía avanzada de programas u otras aplicaciones de datos relacionadas con el contenido audio.

7 Capa de red

Esta capa se refiere a la identificación de grupos de datos como programas.

7.1 Tramas de audio ISO

Los procesos en el codificador en la fuente de audio se efectúan en tramas audio ISO de diversas duraciones que pueden estar multiplexadas en supertramas de audio que encuadran con la duración de la trama del sistema de 24 ms (es decir, 24 ms, 48 ms and 120 ms). La atribución de bits, que varía de una trama a otra, y los factores de escala se codifican y multiplexan con las muestras subbanda en cada trama de audio ISO. La unidad de empaquetamiento de trama ensambla el tren binario real de los datos de salida del cuantificador y la unidad de codificación, y añade otras informaciones, tales como la información de encabezamiento, palabras CRC para detección de errores y PAD que se desplazan junto con la señal de audio codificada. Cada canal de audio contiene un canal PAD con capacidad variable, que puede utilizarse para llevar información íntimamente relacionada con el programa radiofónico.

8 Capa de enlace de datos

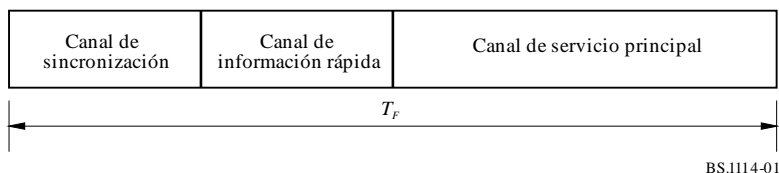
Esta capa ofrece los medios para la sincronización del receptor.

8.1 Trama de transmisión

Para facilitar la sincronización en el receptor, la señal transmitida se forma con una estructura de trama regular (véase la Fig. 1). Cada trama de transmisión comprende una secuencia fija de símbolos. El primero es un símbolo nulo para la sincronización aproximada (cuando no se transmite ninguna señal RF), seguido de un símbolo de referencia fija para lograr una sincronización fina, el control automático de ganancia (CAG) y el control automático de frecuencia (CAF) y las funciones de referencia de fase en el receptor; estos símbolos constituyen el canal de sincronización. Los símbolos siguientes se reservan para el FIC y los símbolos restantes constituyen el MSC. La duración total de la trama, T_F , es de 96 ms. Los detalles del modo de transmisión se indica en el Cuadro 3.

FIGURA 1

Estructura de la trama múltiplex



CUADRO 3

Parámetros de transmisión del Sistema A

Duración total de la trama, T_F	96 ms
Duración del símbolo nulo, T_{NULL}	1,297 ms
Duración de los símbolos MDFO, T_s	1,246 ms
Inversa de la separación entre portadoras, T_u	1 ms
Duración del intervalo de guarda, Δ ($T_s = T_u + \Delta$)	246 μ s
Número de portadoras transmitidas, K	1 536

A cada servicio de audio en el MSC se le adjudica un intervalo de tiempo fijo en la trama.

9 Capa física

Esta capa se refiere a los medios para la transmisión radioeléctrica (es decir, el tipo de modulación y la protección contra errores asociada).

9.1 Dispersión de energía

Para asegurar una adecuada dispersión de energía en la señal transmitida, se aleatorizan las fuentes individuales aplicadas al múltiplex.

9.2 Codificación convolucional

Se aplica la codificación convolucional a cada una de las fuentes de datos que alimentan el múltiplex para asegurar una recepción fiable. El proceso de codificación supone añadir deliberadamente redundancias a las ráfagas de datos de la fuente (utilizando una longitud de restricción de 7). Con esto se obtienen ráfagas de datos «brutos».

En el caso de una señal de audio DAB (MPEG-2), se da una mayor protección a algunos bits codificados en la fuente que a otros, siguiendo un esquema preseleccionado que se conoce como perfil de protección contra errores desigual (UEP). La velocidad media de codificación, definida como la relación entre el número de bits codificados en fuente y el número de bits codificados tras la codificación convolucional, puede adoptar un valor que va desde 1/3 (nivel máximo de protección) a 3/4 (nivel mínimo de protección). Pueden aplicarse distintas velocidades medias de codificación a las diferentes fuentes de audio, dentro del nivel de protección requerido y de la velocidad binaria de los datos codificados en la fuente. Por ejemplo, el nivel de protección de los servicios audio que van por las redes de cable puede ser inferior al de los servicios transmitidos por canales de radiofrecuencia.

Las señales de audio DAB+ (MPEG-4) y los servicios de datos generales llevan codificación convolucional utilizando una velocidad seleccionada entre varias velocidades uniformes, cuyos valores son de 1/4 ó 3/4. Los datos del FIC se codifican a velocidad constante de 1/3.

9.3 Entrelazado temporal

Para mejorar las prestaciones de los receptores móviles se aplica a los datos con codificación convolucional un entrelazado temporal con una profundidad de intercalado de 16 tramas.

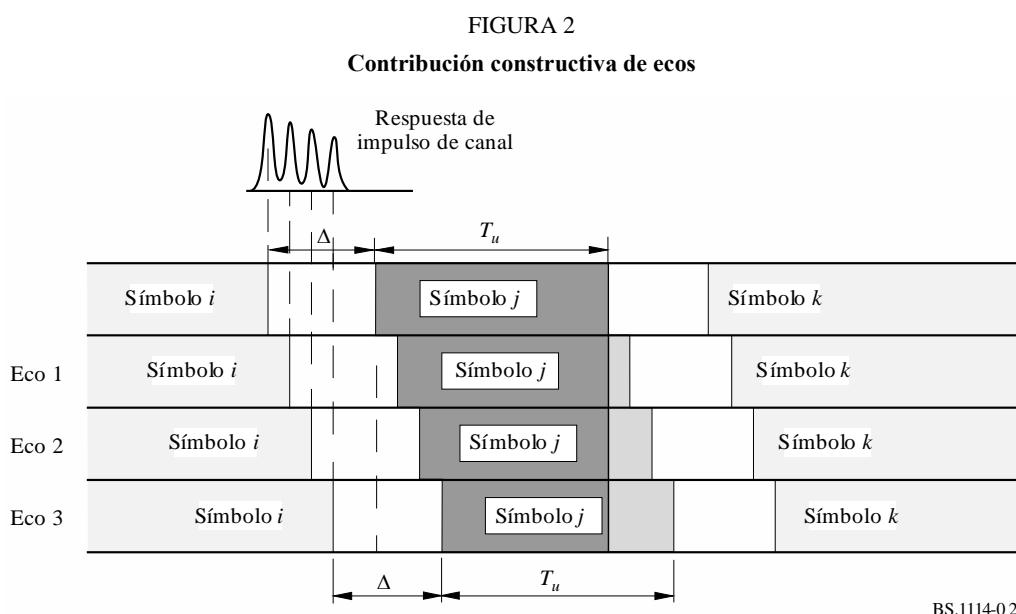
9.4 Entrelazado de frecuencia

En presencia de propagación por trayectos múltiples, algunas portadoras aumentan su nivel debido a las señales constructivas y otras sufren interferencia destructiva (desvanecimiento selectivo en frecuencia). Por consiguiente, el Sistema proporciona un entrelazado de frecuencia reordenando el tren binario digital entre las portadoras de forma que las muestras de fuentes sucesivas no resultan afectadas por el desvanecimiento selectivo. Cuando el receptor es estacionario, la diversidad en el dominio de la frecuencia es el método principal para asegurar una recepción correcta.

9.5 Modulación MDP-4D MDFO

El Sistema A utiliza una MDP-4D MDFO. Este esquema cumple exactamente los requisitos de la radiodifusión digital a velocidad binaria elevada destinada a receptores móviles, portátiles y fijos, especialmente en entornos de propagación por trayectos múltiples.

El principio consiste en dividir la información que se transmite en un gran número de trenes binarios con velocidades binarias bajas individuales, que se utilizan para modular portadoras individuales. La duración del símbolo correspondiente resulta más grande que la dispersión del retardo del canal de transmisión. En el receptor, todo eco inferior al intervalo de guarda no dará lugar a interferencia entre símbolos, sino que contribuirá positivamente a la potencia recibida (véase la Fig. 5). El gran número, K , de subportadoras se denomina, colectivamente, un conjunto.



Cuando hay propagación por trayectos múltiples, algunas de las portadoras mejoran mediante las señales constructivas, mientras que otras sufren interferencia destructiva (desvanecimientos selectivos en frecuencia). Por tanto, el Sistema A incluye una redistribución de los elementos del tren binario digital en el tiempo y en la frecuencia, de forma que las muestras de fuentes sucesivas resultan afectadas por desvanecimientos independientes. Cuando el receptor es estacionario, la diversidad en el dominio de la frecuencia es el único medio para asegurar la recepción correcta. La diversidad en el tiempo que ofrece el entrelazado temporal no ayuda en un receptor estático. Para el Sistema A, la propagación por trayectos múltiples es un tipo de diversidad espacial y se considera una ventaja

significativa, en contraste con los sistemas convencionales MF o digitales de banda estrecha en los que la propagación por trayectos múltiples puede destruir completamente un servicio.

En todo sistema que pueda beneficiarse de la propagación por trayectos múltiples, cuanto mayor sea la anchura de banda del canal de transmisión, más seguro será el sistema. En el Sistema A, se ha elegido una anchura de banda del conjunto de 1,5 MHz para asegurar las ventajas de la técnica de banda ancha, y permitir una cierta flexibilidad en la planificación. El Cuadro 4 indica también el número de portadoras MDFO en esta anchura de banda.

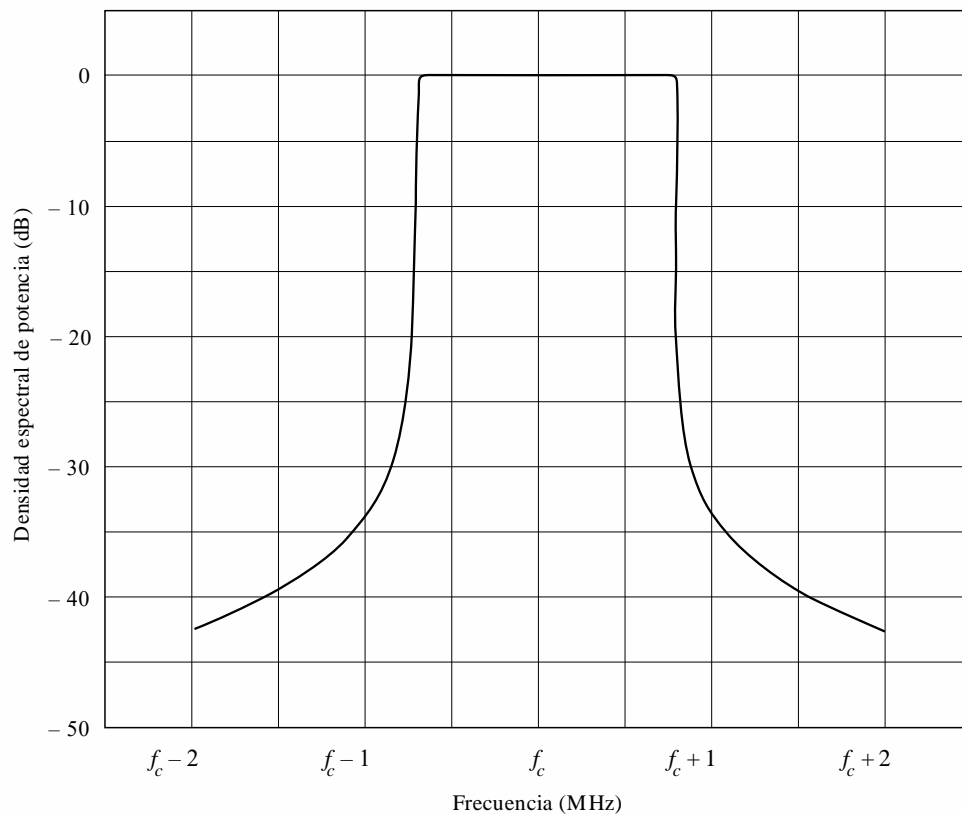
Una ventaja adicional al utilizar el esquema MDFO es que puede obtenerse una mayor eficacia en la utilización del espectro y la potencia con redes de una sola frecuencia para una gran zona de cobertura y también para redes densas de ciudades. Puede explotarse cualquier número de transmisores que den los mismos programas con la misma frecuencia, lo que también se traduce en una reducción global de las potencias de funcionamiento necesarias. Una consecuencia adicional es que se reducen significativamente las distancias entre las distintas zonas de servicio.

Como los ecos contribuyen a la señal recibida, todos los tipos de receptores (es decir, portátiles, domésticos y en vehículos) pueden utilizar antenas sencillas no directivas.

9.6 Espectro de la señal de transmisión del Sistema A

Como ejemplo, se representa en la Fig. 3 el espectro teórico del Sistema A.

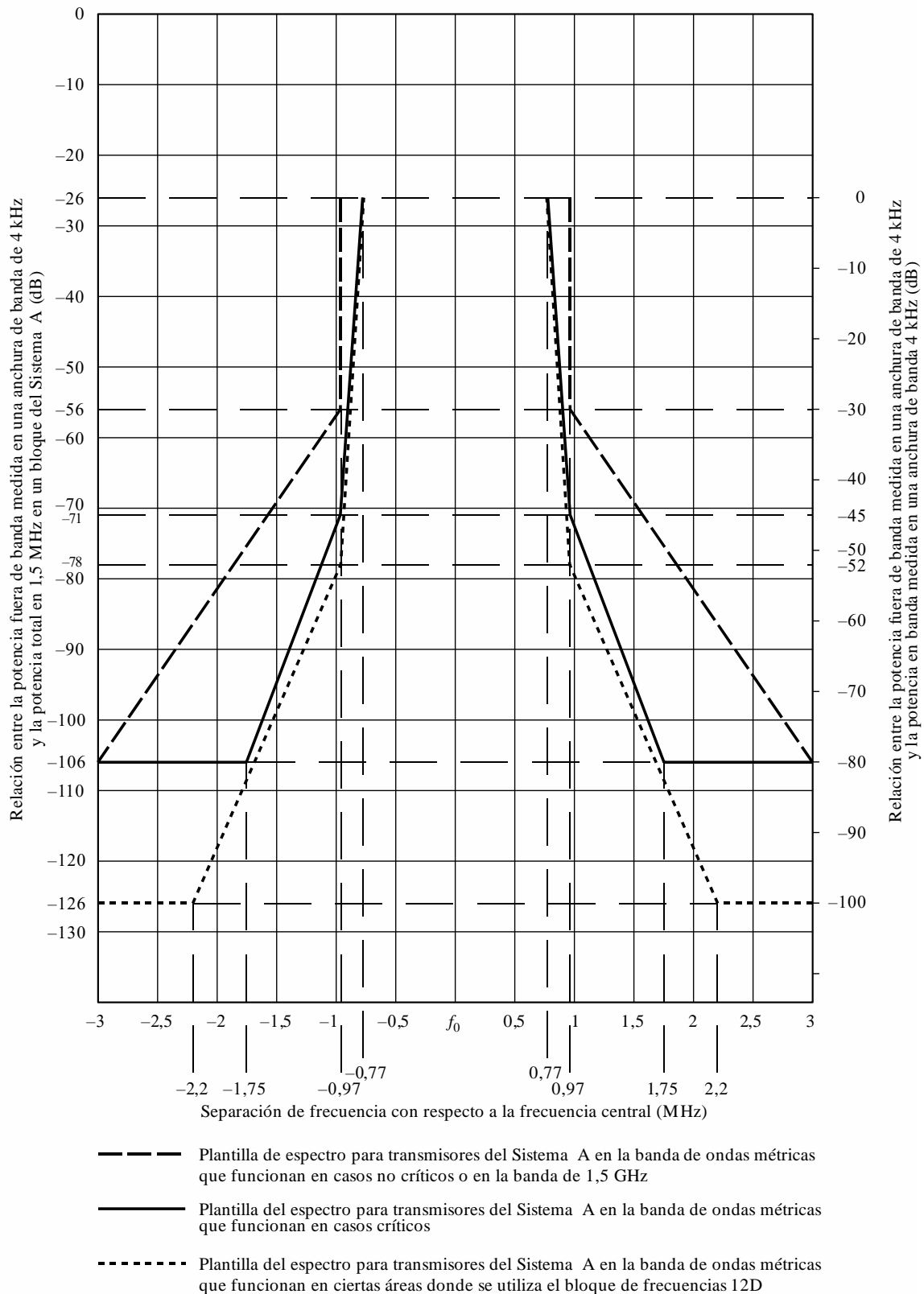
FIGURA 3
Espectro teórico de la señal de transmisión del Sistema A en Modo II



f_c : frecuencia central de canal

El espectro de la señal radiada fuera de banda en cualquier banda de 4 kHz debe venir limitado por una de las plantillas representadas en la Fig. 4 (véase también el Cuadro 4).

FIGURA 4
Plantillas del espectro fuera de banda para una señal de transmisión del Sistema A



La plantilla de línea continua debe aplicarse a los transmisores en la banda de ondas métricas que funcionan en casos críticos. La plantilla de línea discontinua debe aplicarse a los transmisores en la banda de ondas métricas que funcionan en casos no críticos y la plantilla de línea de puntos debe aplicarse a los transmisores en la banda de ondas métricas que funcionan en ciertas áreas donde se utiliza el bloque de frecuencias 12D.

El nivel de la señal en las frecuencias que caen fuera de la anchura de banda normal de 1,536 MHz puede reducirse aplicando un filtrado adecuado.

CUADRO 4

Cuadro de espectro fuera de banda para una señal de transmisión del Sistema A

	Frecuencia con respecto al centro del canal de 1,54 MHz (MHz)	Nivel relativo (dB)
Plantilla del espectro para transmisores del Sistema A en la banda de ondas métricas que funcionan en casos no críticos	±0,97	-26
	±0,97	-56
	±3,0	-106
Plantilla del espectro para transmisores del Sistema A en la banda de ondas métricas que funcionan en casos críticos	±0,77	-26
	±0,97	-71
	±1,75	-106
	±3,0	-106
Plantilla del espectro para transmisores del Sistema A en la banda de ondas métricas que funcionan en ciertas áreas donde se utiliza el bloque de frecuencias 12D	±0,77	-26
	±0,97	-78
	±2,2	-126
	±3,0	-126

10 Características del comportamiento en radiofrecuencia del Sistema A

Se han realizado pruebas de evaluación en radiofrecuencia del Sistema A en 226 MHz y en 1 480 MHz para una cierta variedad de condiciones que representan la recepción fija y móvil. Se han efectuado mediciones de la proporción de bits erróneos (BER) en función de la relación S/N en un canal de datos, con las siguientes condiciones:

$$D = 64 \text{ kbit/s}, \quad R = 0,5$$

$$D = 24 \text{ kbit/s}, \quad R = 0,375$$

siendo:

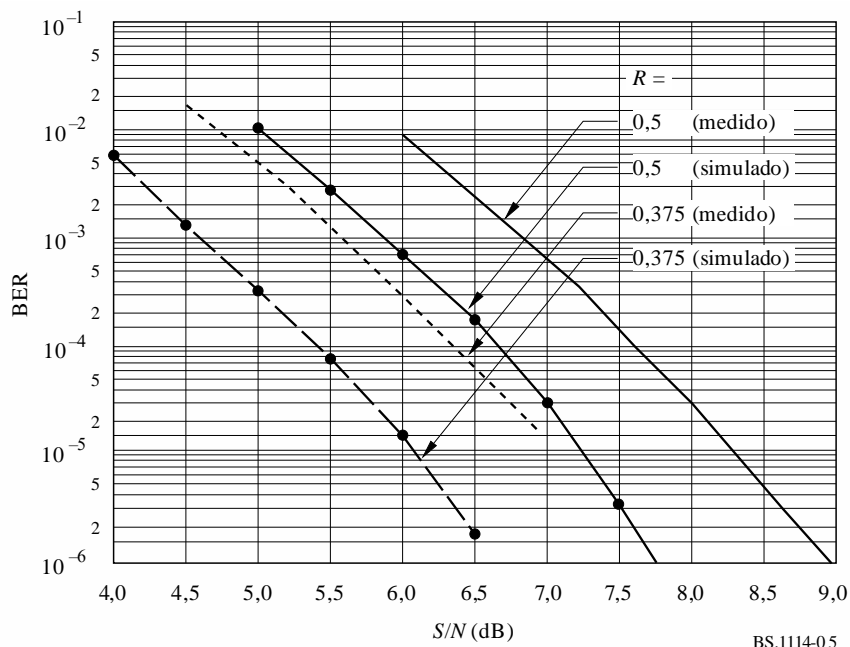
D : velocidad de transmisión de datos de la fuente

R : velocidad media de codificación de canal.

10.1 BER en función de la relación S/N (en 1,5 MHz) en un canal gaussiano

Para ajustar la relación S/N a la entrada del receptor se añadió ruido blanco aditivo gaussiano. Los resultados se representan en la Fig. 5. Como ejemplo, para $R = 0,5$, los resultados medidos que aparecen en la Fig. 5 pueden compararse con los obtenidos mediante una simulación por ordenador, a fin de comprobar el comportamiento inherente del sistema. Puede observarse que para una BER de 1×10^{-4} se obtiene un margen de realización inferior a 1,0 dB.

FIGURA 5
BER en función de la relación S/N para el Sistema A
Canal gaussiano



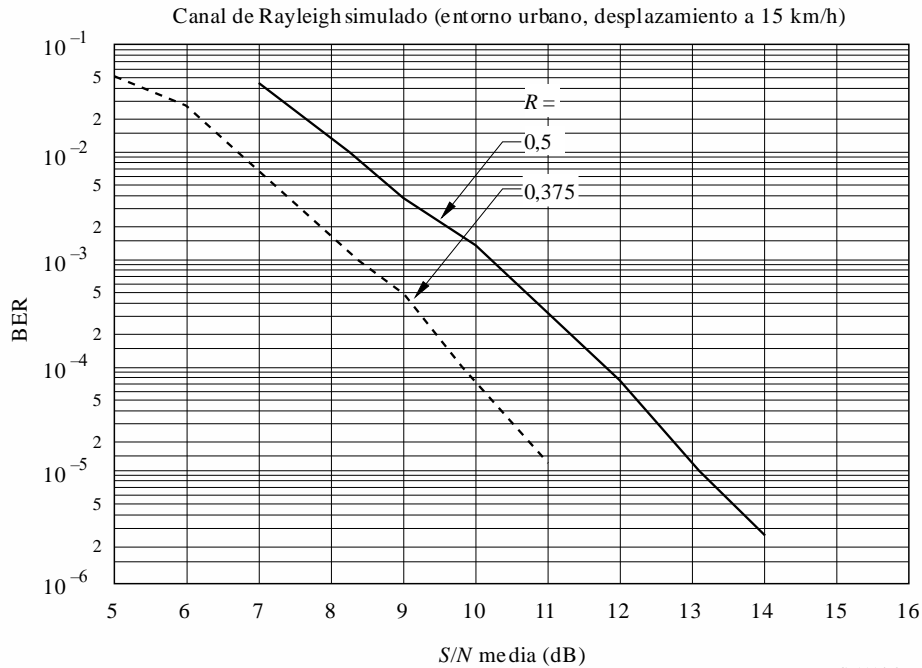
10.2 BER en función de la relación S/N (en 1,5 MHz) en un canal Rayleigh simulado en entorno urbano

Se han efectuado mediciones de la BER en función de la relación S/N en los canales de datos, utilizando un simulador de canal con desvanecimiento. Las simulaciones del canal de Rayleigh corresponden a la Fig. 6 en la documentación Cost 207 (zona urbana típica, 0-0,5 μ s) y con el receptor desplazándose a una velocidad de 15 km/h.

Los resultados se muestran en la Fig. 6.

FIGURA 6

BER en función de la relación S/N para el Sistema A
(Modo de transmisión I, 226 MHz)

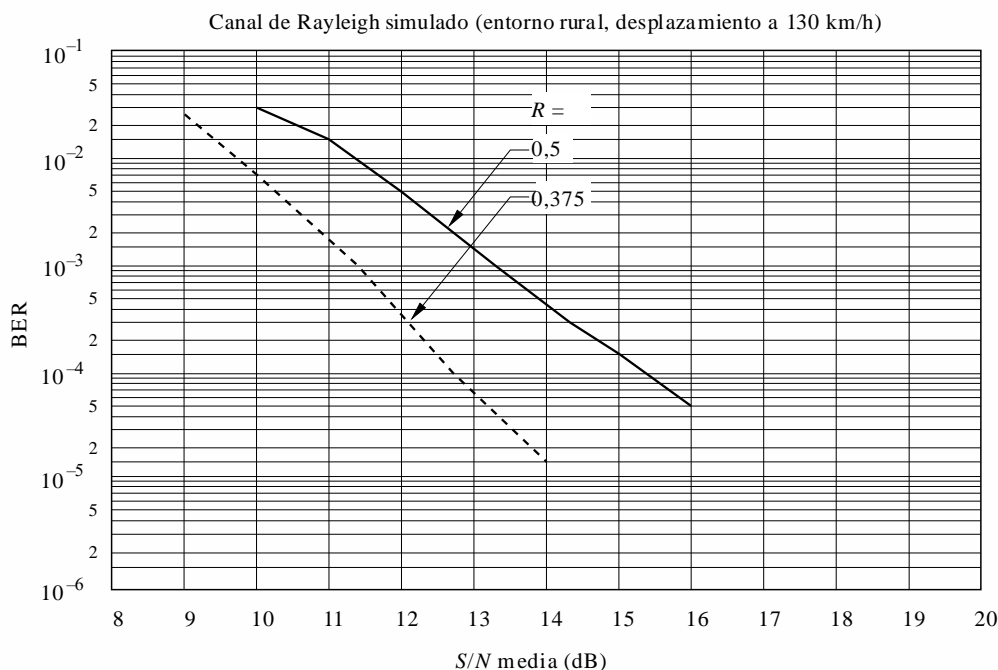


10.3 BER en función de la relación S/N (en 1,5 MHz) en un canal de Rayleigh simulado en entorno rural

Se han realizado mediciones de la BER en función de la relación S/N en los canales de datos utilizando un simulador de canal con desvanecimiento. Las simulaciones del canal de Rayleigh corresponden a la Fig. 6 en la documentación Cost 207 (zona rural, no montañosa, 0-5 μ s) y con el receptor desplazándose a una velocidad de 130 km/h. Los resultados se muestran en la Fig. 7.

FIGURA 7

BER en función de la relación S/N para el Sistema A
(Modo de transmisión I, 226 MHz)



BS.1114-07

Anexo 3

Sistema Digital F

1 Introducción

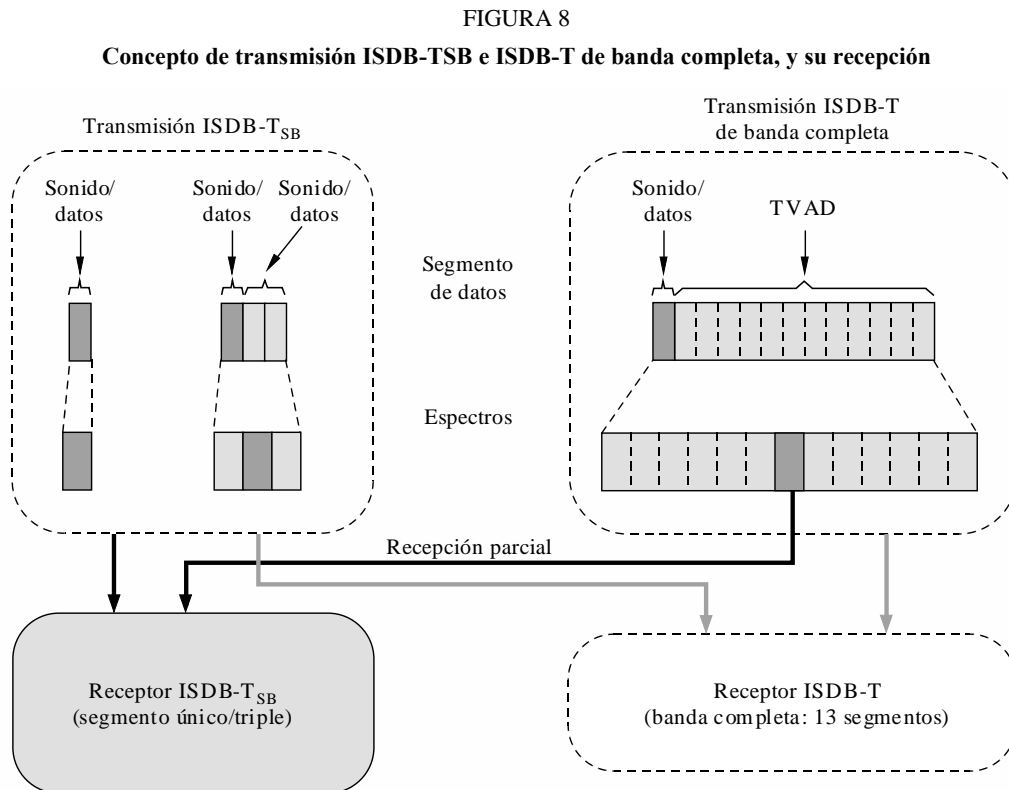
El Sistema Digital F (Sistema F), conocido también como Sistema ISDB-T_{SB}, se destina a proporcionar radiodifusión sonora y de datos de calidad elevada con una fiabilidad alta incluso en la recepción móvil. El Sistema se destina también a dotar de flexibilidad, capacidad de expansión y comunidad de elementos a la radiodifusión multimedios que utiliza redes terrenales y cumple los requisitos de la Recomendación UIT-R BS.774.

El Sistema F es robusto y utiliza modulación MDFO, entrelazado bidimensional frecuencia-tiempo y códigos de corrección de errores concatenados. La modulación MDFO utilizada en el sistema se denomina BST (transmisión segmentada de la banda, *band segmented transmission*)-MDFO. El Sistema F tiene elementos comunes con el sistema ISDB-T para la radiodifusión de televisión terrenal digital en capa física. La anchura de banda de un bloque MDFO denominado segmento MDFO es aproximadamente 500 kHz. El Sistema F consiste en uno o tres segmentos MDFO por lo que la anchura de banda del sistema es alrededor de respectivamente 500 kHz o de 1,5 MHz.

El Sistema F dispone de una amplia variedad de parámetros de transmisión, tales como el esquema de modulación de portadora, las velocidades de codificación del código de corrección de errores interno y el entrelazado en longitud y en el tiempo. Algunas de las portadoras se asignan como portadoras de control que transmiten la información sobre los parámetros de transmisión. Estas portadoras de control se denominan portadoras TMCC.

El Sistema F puede utilizar métodos de codificación audio de alta compresión tales como Capa II MPEG-2, AC-3 y AAC MPEG-2. Y, además, el Sistema Adopta los sistemas MPEG-2. Tiene comunidad de elementos e interoperabilidad con otros muchos sistemas que adoptan los sistemas MPEG-2, como los ISDB-S, ISDB-T, DVB-S y DVB-T.

En la Fig. 8 se muestra el concepto de transmisión ISDB-T_{SB} e ISDB-T de banda completa, y su recepción.



BS.1114-08

2 Características del Sistema F

2.1 Robustez del Sistema F

El Sistema F utiliza la modulación MDFO, entrelazado bidimensional de frecuencia-tiempo y códigos de corrección de errores concatenados. MDFO es un método de modulación multiportadora adecuado para la propagación multitrayecto, añadiendo específicamente un intervalo de guarda en el dominio del tiempo. La información transmitida se extiende en los dominios de la frecuencia y del tiempo mediante el entrelazado, y después la información es corregida por el decodificador de Viterbi y Reed Solomon (RS). Por consiguiente, en el receptor se obtiene una señal de alta calidad, aun con funcionamiento en condiciones de propagación multitrayecto severas, tanto para equipos fijos como móviles.

2.2 Amplia variedad de transmisión

El Sistema F adopta la BST-MDFO, y se compone de uno o tres segmentos MDFO. Es decir, transmisión de segmento único y transmisión de segmento triple. Se definen tres clases de anchura de banda de segmento MDFO según que el barrido del canal de referencia sea de 6, 7 u 8 MHz.

La anchura de banda es un catorceavo de la anchura de banda del canal de referencia (6, 7 u 8 MHz), esto es 429 kHz (6/14 MHz), 500 kHz (7/14 MHz) o 571 kHz (8/14 MHz). La anchura de banda del segmento MDFO deberá seleccionarse de acuerdo con la situación de frecuencias en cada país.

La anchura de banda de un segmento único es 500 kHz aproximadamente, por lo que la anchura de banda de la transmisión de segmento único y de segmento triple es alrededor de respectivamente 500 kHz y 1,5 MHz.

El Sistema F posee tres modos de transmisión que permiten utilizar una amplia gama de frecuencias de transmisión y cuatro longitudes de intervalo de guarda para el diseño de la distancia entre transmisores de una SFN. Estos modos de transmisión compensan la dispersión debida al efecto Doppler y la dispersión de retardo de propagación en la recepción móvil en presencia de ecos multitrayecto.

2.3 Flexibilidad

La estructura del Sistema F múltiplex se ajusta totalmente a la arquitectura de los sistemas MPEG-2. Por consiguiente, se pueden transmitir simultáneamente varios contenidos como sonido, texto, imágenes fijas y datos.

Además, de conformidad con el propósito de los organismos de radiodifusión, éstos pueden seleccionar el método de modulación de la portadora, la velocidad de la codificación con corrección de errores, el entrelazado en longitud y en el tiempo, etc. del sistema. Hay cuatro métodos de modulación de portadora, MDP-4 D, MDP-4, MAQ-16, y MAQ-64, cinco clases de relación de codificación de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8, y cinco clases de longitud de entrelazado de tiempo, desde 0 a aproximadamente 1 s. La portadora TMCC, transmite al receptor la información sobre el método de modulación y la velocidad de la codificación utilizados en el sistema.

2.4 Comunidad de elementos e interoperabilidad

El Sistema F utiliza la modulación BST-MDFO y adopta los sistemas MPEG-2. Por tanto el sistema tiene comunidad de elementos con el sistema ISDB-T para radiodifusión de televisión digital terrenal (DTTB, *digital terrestrial television broadcasting*), en la capa física, y tiene elementos comunes con los sistemas, tales como ISDB-T, ISDB-S, DVB-T y DVB-S que adoptan sistemas MPEG-2 en la capa de transporte.

2.5 Eficacia de transmisión y codificación en la fuente

El Sistema F utiliza un método de modulación MDFO con aprovechamiento del espectro de eficacia elevada. Y, asimismo, permite la ampliación de las redes de radiodifusión con reutilización de frecuencia utilizando transmisores adicionales que funcionan todos en la misma frecuencia radiada.

Además, los canales de organismos de radiodifusión independientes se pueden transmitir juntos sin bandas de guarda desde el mismo transmisor en tanto en cuanto la sincronización de frecuencia y de bits se mantengan las mismas entre los canales.

El Sistema F puede adoptar la AAC MPEG-2. Se puede alcanzar una calidad casi de disco compacto (Near CD quality) a una velocidad binaria de 144 kbit/s para estereofonía.

2.6 Independencia de los organismos de radiodifusión

Se trata de un sistema de banda estrecha para la transmisión de un programa de sonido como mínimo. Por tanto los organismos de radiodifusión pueden tener su propio canal RF en el cual seleccionar independientemente los parámetros de transmisión.

2.7 Consumo de potencia bajo

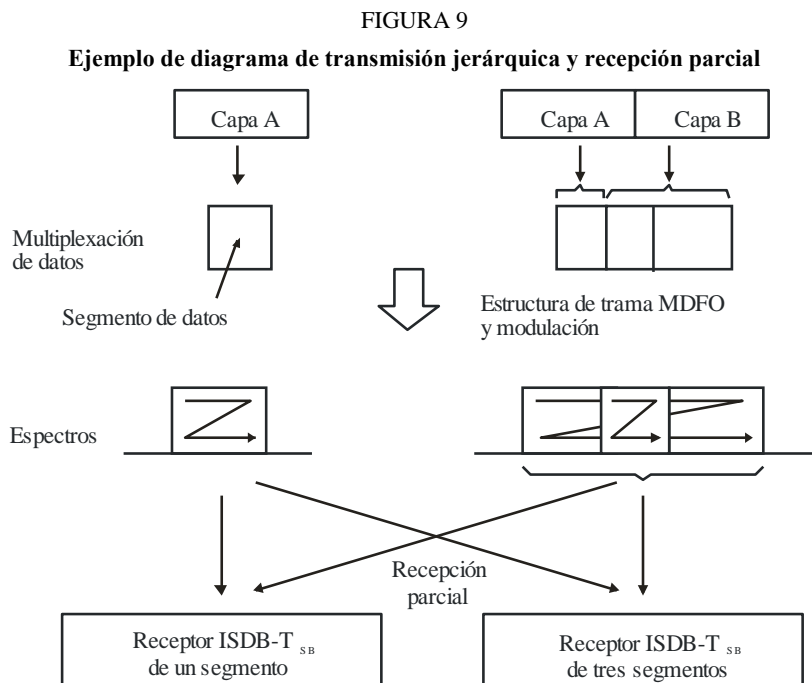
Casi todos los dispositivos se pueden fabricar en tamaño pequeño y con poco peso mediante el desarrollo de microcircuitos de integración en gran escala. El aspecto más importante para la reducción del tamaño de la batería es que el consumo de potencia del dispositivo sea bajo. Cuanto más lento sea el reloj del sistema menor será el consumo de potencia. Por consiguiente, con un sistema de banda estrecha y baja velocidad binaria similar a la transmisión de segmento único el receptor puede ser portátil y ligero.

2.8 Transmisión jerárquica y recepción parcial

En la transmisión de segmento triple se puede lograr tanto la transmisión de una capa como la transmisión jerárquica. En la transmisión jerárquica hay dos capas, A y B. En las diferentes capas se puede cambiar los parámetros de transmisión del esquema de modulación de la portadora, las velocidades de codificación del código interno y una longitud del entrelazado en el tiempo.

El segmento central de la transmisión jerárquica se puede recibir en el receptor de segmento único. Debido a la estructura común del segmento MDFO, el receptor de segmento único puede recibir parcialmente un segmento central de señal ISDB-T de banda completa cuando se transmite un programa independiente en el segmento central.

En la Fig. 9 se presenta un ejemplo de transmisión jerárquica y recepción parcial.



BS.1114-09

3 Parámetros de transmisión

El Sistema F puede destinarse a un barrido de canal de 6 MHz, 7 MHz u 8 MHz. La anchura de banda de segmento se define como un catorceavo de la anchura de banda del canal de referencia, esto es 429 kHz (6/14 MHz), 500 kHz (7/14 MHz) o 571 kHz (8/14 MHz). Sin embargo, la anchura de banda del segmento deberá seleccionarse de acuerdo con la situación de frecuencias en cada país.

Los parámetros de transmisión para el sistema ISDB-T_{SB} se muestran en el Cuadro 5.

CUADRO 5

Parámetros de transmisión para la ISDB-Tsb

Modo		Modo 1	Modo 2	Modo 3
Número total de segmentos ⁽¹⁾ ($N_s = n_d + n_c$)		1, 3		
Barridos del canal de referencia (BWf) (MHz)		6, 7, 8		
Anchura de banda de segmento (BW_s) (kHz)		$BWf \times 1\ 000/14$		
Anchura de banda utilizada (BW_u) (kHz)		$BW_s \times N_s + C_s$		
Número de segmentos para modulación diferencial		n_d		
Número de segmentos para modulación coherente		n_c		
Espaciamiento entre portadoras (C_s) (kHz)		$BW_s/108$	$BW_s/216$	$BW_s/432$
Número de portadoras	Total	$108 \times N_s + 1$	$216 \times N_s + 1$	$432 \times N_s + 1$
	Datos	$96 \times N_s$	$192 \times N_s$	$384 \times N_s$
	SP ⁽²⁾	$9 \times n_c$	$18 \times n_c$	$36 \times n_c$
	CP ⁽²⁾	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	TMCC ⁽³⁾	$n_c + 5 \times n_d$	$2 \times n_c + 10 \times n_d$	$4 \times n_c + 20 \times n_d$
	AC1 ⁽⁴⁾	$2 \times N_s$	$4 \times N_s$	$8 \times N_s$
	AC2 ⁽⁴⁾	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
Modulación de la portadora		MDP-4 D, MDP-4, MAQ-16, MAQ-64		
Número de símbolos por trama		204		
Duración del símbolo útil (T_u) (μ s)		$1\ 000/C_s$		
Duración del intervalo de guarda (T_g)		$1/4, 1/8, 1/16$ ó $1/32$ de T_u		
Duración del símbolo total (T_s)		$T_u + T_g$		
Duración de trama (T_f)		$T_s \times 204$		
Muestras FFT (F_s)		$256 (N_s = 1)$ $512 (N_s = 3)$	$512 (N_s = 1)$ $1\ 024 (N_s = 3)$	$1\ 024 (N_s = 1)$ $2\ 048 (N_s = 3)$
Reloj de muestra FFT (F_{sc}) (MHz)		$F_{sc} = F_s/T_u$		
Código interno		Código convolucional (Velocidad de codificación = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8) (Código madre = 1/2)		
Código externo		Código RS (204,188)		
Parámetro de entrelazado en el tiempo (I)		0, 4, 8, 16, 32	0, 2, 4, 8, 16	0, 1, 2, 4, 8
Longitud de entrelazado en el tiempo		$I \times 95 \times T_s$		

FFT: transformada rápida de Fourier.

- (1) El Sistema F utiliza 1 ó 3 segmentos para los servicios de sonido, mientras que para otros servicios, como los servicios de televisión, se puede utilizar cualquier número de segmentos. (Véase el Sistema C de la Recomendación UIT-R BT.1306.)
- (2) El piloto disperso (SP) y el piloto continuo (CP) se pueden utilizar para la sincronización de frecuencia y la estimación del canal. El número de CP comprende CP en todos los segmentos y un CP para el borde superior de la anchura de banda completa.
- (3) El TMCC transporta información sobre los parámetros de transmisión.
- (4) El canal auxiliar (AC) transporta información auxiliar para el funcionamiento de la red.

4 Codificación en la fuente

La estructura múltiplex del Sistema F se ajusta totalmente a la arquitectura de los sistemas MPEG-2, por lo que pueden transmitirse los paquetes del tren de transporte (TSP, *transport stream packet*) MPEG-2 que contienen la señal de audio digital comprimida. Pueden aplicarse al Sistema F los métodos de compresión de audio digital, tales como el método audio Capa II MPEG-2 especificado en ISO/CEI 13818-3, AC-3 (Norma de compresión audio digital especificada en ATSC Documento A/52) y AAC MPEG-2 especificado en ISO/CEI 13818-7.

5 Multiplexación

El múltiplex del Sistema F es compatible con el TS MPEG-2 de ISO/CEI 13818-1. Además, la trama de múltiplex y los descriptores TMCC se definen para la transmisión jerárquica con un solo TS.

Consideremos el interfuncionamiento máximo entre algunos sistemas de radiodifusión digital, por ejemplo, ISDB-S recomendado en la Recomendación UIT-R BO.1408, ISDB-T recomendado en la Recomendación UIT-R BT.1306 (Sistema C) y el sistema del servicio de radiodifusión (sonora) por satélite que utiliza la banda de 2,6 GHz recomendado en la Recomendación UIT-R BO.1130 (Sistema E), estos sistemas pueden intercambiar trenes de datos de radiodifusión con otros sistemas de radiodifusión a través de esta interfaz.

5.1 Trama múltiplex

Para lograr una transmisión jerárquica mediante el esquema BST-MDFO, el sistema ISDB-T_{SB} define una trama múltiplex del tren de transporte dentro del ámbito de los sistemas MPEG-2. En la trama múltiplex, el tren de transporte es un tren continuo de 204 bytes TSP-RS compuesto por 188 bytes TSP y 16 bytes de datos nulos o de paridad RS.

La duración de la trama múltiplex se ajusta a la de la trama MDFO mediante la cuenta de los TSP-RS utilizando un reloj dos veces más rápido que el reloj de muestreo FFT inversa (IFFT) en el caso de transmisión de segmento único. En el caso de la transmisión de segmento triple la duración de la trama múltiplex se ajusta a la de la trama MDFO mediante la cuenta de los TSP-RS utilizando un reloj cuatro veces más rápido que el reloj de muestreo IFFT.

6 Codificación de canal

En este punto se describe el bloque de codificación de canal, el cual recibe los paquetes dispuestos en la trama múltiplex y desvía los bloques codificados de canal hacia el bloque de modulación MDFO.

6.1 Diagrama funcional de bloques de la codificación de canal

En la Fig. 10 se muestra el diagrama funcional de bloques de la codificación de canal del sistema ISDB-T_{SB}.

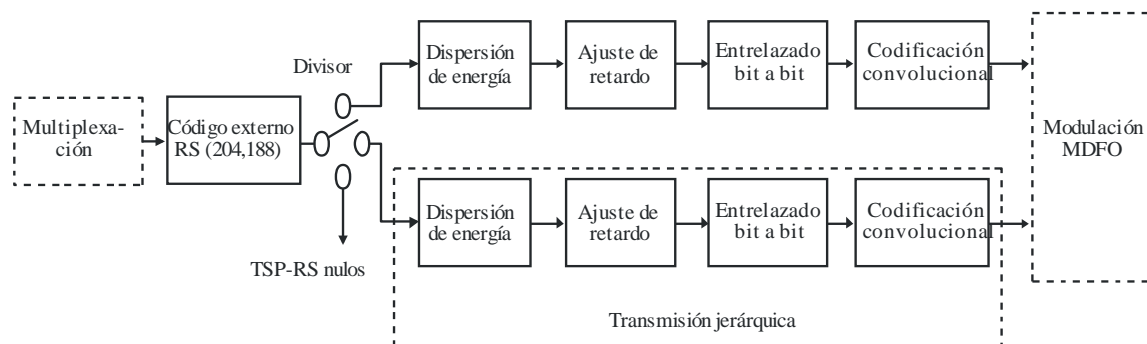
La duración de la trama múltiplex coincide con la trama MDFO mediante la cuenta de los bytes en la trama múltiplex utilizando un reloj más rápido que el reloj de muestreo IFFT que se describe en el punto anterior.

En la interfaz entre el bloque múltiplex y el bloque de codificación externo, el byte de cabeza de la trama múltiplex (que corresponde al byte de sincronización del TSP) es considerado como el byte de cabeza de la trama MDFO. En la descripción de los bits, el bit más significativo del byte de cabecera es considerado como el bit de sincronización de la trama MDFO.

En el caso de transmisión estructurada en capa de segmento triple, el tren de TSP-RS se divide en dos capas de conformidad con la información de control de la transmisión. En cada capa se pueden especificar por separado la relación de codificación del código de corrección de errores interno, el esquema de modulación de la portadora y la longitud de entrelazado en el tiempo.

FIGURA 10

Diagrama de codificación de canal



BS.1114-10

6.2 Codificación externa

Se aplica el código RS (204,188) abreviado a cada TSP MPEG-2 para generar un TSP protegido contra errores que será un TSP-RS. El código RS (208,188) puede corregir hasta 8 bytes erróneos aleatorios en una palabra de 204 bytes recibida.

Polinomio generador de campo: $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$

Polinomio generador de código: $g(x) = (x - \lambda^0)(x - \lambda^1)(x - \lambda^2)(x - \lambda^3) \dots (x - \lambda^{15})$

donde $\lambda = 02_h$

Debe señalarse que los TSP nulos procedentes del multiplexor son también codificados a paquetes RS (204,188).

Los TSP MPEG-2 y TSP-RS (TSP protegido contra errores RS) se muestran en la Fig. 11. El TSP protegido contra errores RS se denomina también TSP de transmisión.

FIGURA 11

TSP MPEG-2 y TSP-RS (TSP de transmisión)

Sincronización 1 byte	Datos de transporte multiplexados MPEG-2 187 bytes
--------------------------	--

a) TSP MPEG-2

Sincronización 1 byte	Datos de transporte multiplexados MPEG-2 187 bytes	16 bytes de paridad
--------------------------	---	---------------------

b) TSP-RS (TSP de transmisión), TSP protegido contra errores RS (204,188)

BS.1114-11

6.3 Dispersión de energía

Para garantizar transiciones binarias adecuadas, los datos procedentes del divisor son aleatorizados con una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS, *pseudo-random binary sequence*).

El polinomio generador de PRBS será:

$$g(x) = x^{15} + x^{14} + 1$$

6.4 Ajuste de retardo

En el entrelazado byte a byte, el retardo causado en el proceso de entrelazado difiere de un tren a otro de las diferentes capas dependiendo de sus propiedades (es decir, la modulación y la codificación de canal). Para compensar la diferencia de retardo incluido el producido por el desentrelazado en el receptor, el ajuste de retardo se efectúa antes del entrelazado de bytes en el lado de transmisión.

6.5 Entrelazado de bytes (entrelazado entre códigos)

Se aplica un entrelazado de bytes convolucional de longitud $I = 12$ a los paquetes de 204 bytes aleatorizados y protegidos contra errores. El entrelazado puede estar constituido por $I = 12$ ramas, conectadas cíclicamente al tren de bytes de entrada por el conmutador de entrada. Cada rama j será un registro de desplazamiento primero en entrar primero en salir (FIFO, *first-in first-out*), con una longitud de $j \times 17$ bytes. Las células del registro FIFO contendrán 1 byte, y los conmutadores de entrada y de salida estarán sincronizados.

El desentrelazado es similar en principio al entrelazado, pero los índices de rama están reservados. El retardo total causado por el entrelazado y desentrelazado es de $17 \times 11 \times 12$ bytes (correspondientes a 11 TSP).

6.6 Codificación interna (códigos convolucionales)

El Sistema F admitirá una gama de códigos convolucionales perforados, basados en un código convolucional madre de relación 1/2 y 64 estados. Las relaciones de codificación de los códigos son 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8. Ello permitirá la selección de la propiedad de corrección de errores más adecuada para un servicio o velocidad de datos dados de los servicios ISDB-T_{SB} incluidos los servicios móviles. Los polinomios generadores del código madre son $G_1 = 171_{\text{oct}}$ para la salida X y $G_2 = 133_{\text{oct}}$ para la salida Y.

7 Modulación

La configuración de los bloques de modulación se muestra en las Figs. 12 y 13. Después del entrelazado de bytes se establece una correspondencia de los datos de cada capa con el dominio complejo.

7.1 Ajuste de retardo para el entrelazado de bits

El entrelazado de bits produce el retardo de 120 datos complejos ($I + jQ$) como se describe en el punto siguiente. Mediante la adición de un retardo adecuado se ajusta el retardo en el transmisor y receptor a la cantidad de dos símbolos MDFO.

7.2 Entrelazado de bits y establecimiento de correspondencia

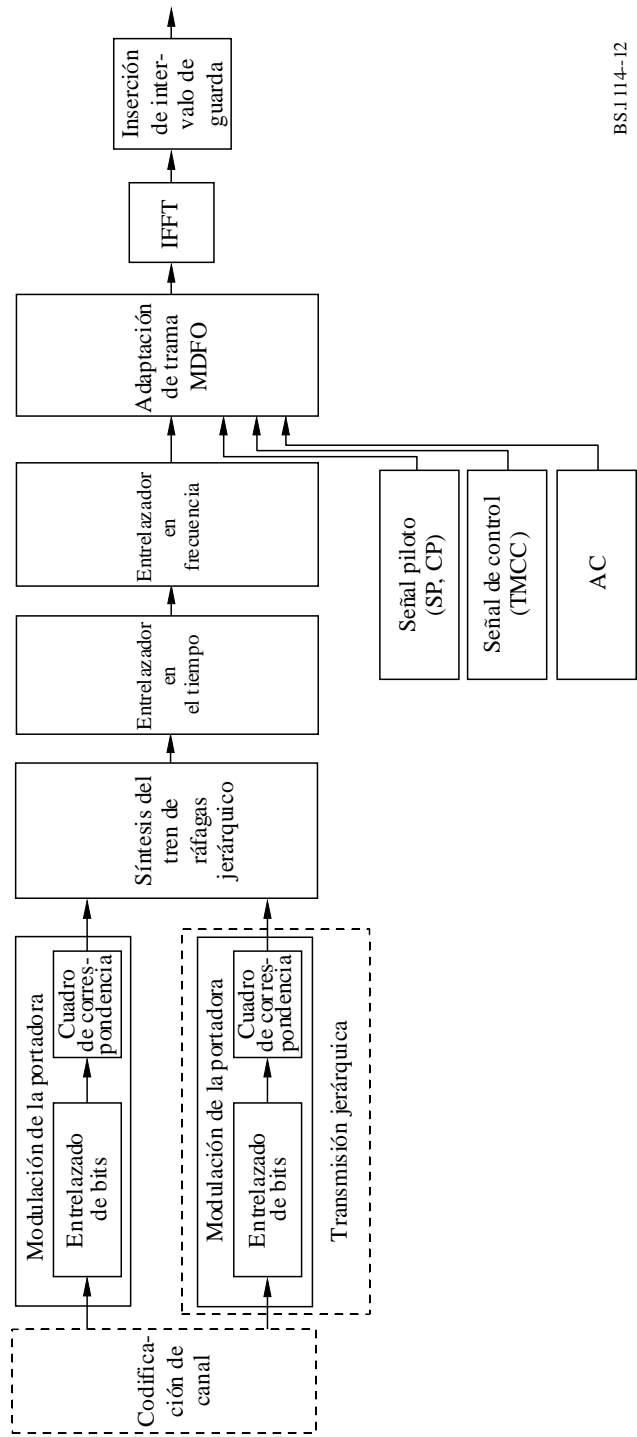
Para este Sistema se pueden seleccionar uno de los esquemas de modulación de la portadora MDP-4 D, MDP-4, MAQ-16 y MAQ-64. Para realizar una correspondencia MDP-4D con un desplazamiento $\pi/4$ o una correspondencia MDP-4, la secuencia de bits en serie a la salida del codificador interno es convertida en una secuencia en paralelo de 2 bits, con lo cual se distribuyen n bits de datos del eje I y el eje Q. El número n puede depender de la implementación del soporte físico. En el caso de la MAQ-16 la secuencia es convertida en una secuencia en paralelo de 4 bits. En

la MAQ-64 es convertida en una secuencia en paralelo de 6 bits. Después de la conversión serie a paralelo, el entrelazado de bits se efectúa mediante la inserción de un retardo máximo de 120 bits.

7.3 Segmento de datos

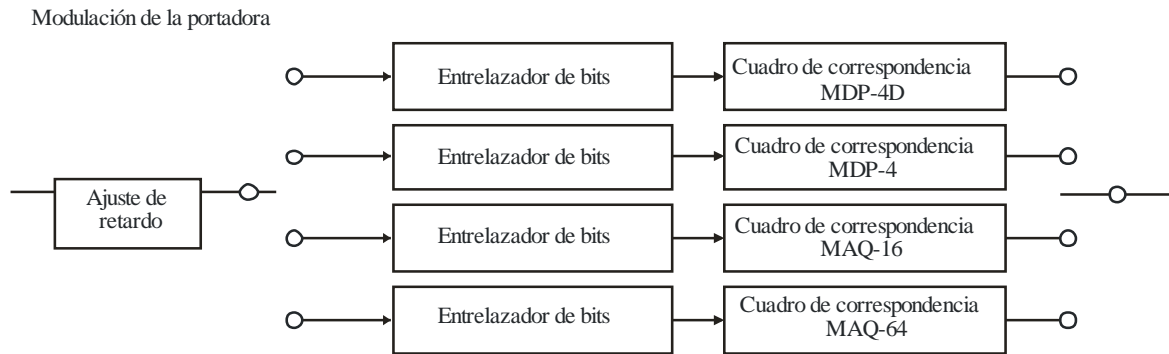
El segmento de datos se define como un cuadro de direcciones para datos complejos en el cual se puede ejecutar la conversión de velocidad, el entrelazado en el tiempo y el entrelazado en frecuencia. El segmento de datos corresponde a la porción de datos del segmento MDFO.

FIGURA 12
Diagrama de bloques de la modulación



BS.1114-12

FIGURA 13

Configuración del bloque de modulación de la portadora

BS.1114-13

7.4 Síntesis de los trenes de datos de capa

Después de la codificación de canal y el establecimiento de la correspondencia, los datos complejos de cada capa se introducen en los segmentos de datos preasignados para cada símbolo.

Los datos almacenados en todos los segmentos de datos son leídos cíclicamente con el reloj de muestras IFFT; se realizan a continuación las conversiones de velocidad y la síntesis de los trenes de datos de capa.

7.5 Entrelazado en el tiempo

Después de la síntesis se realiza el entrelazado en el tiempo de los símbolos. La longitud de entrelazado en el tiempo se puede modificar de 0 a 1 s aproximadamente, y se deberá especificar para cada capa.

7.6 Entrelazado en frecuencia

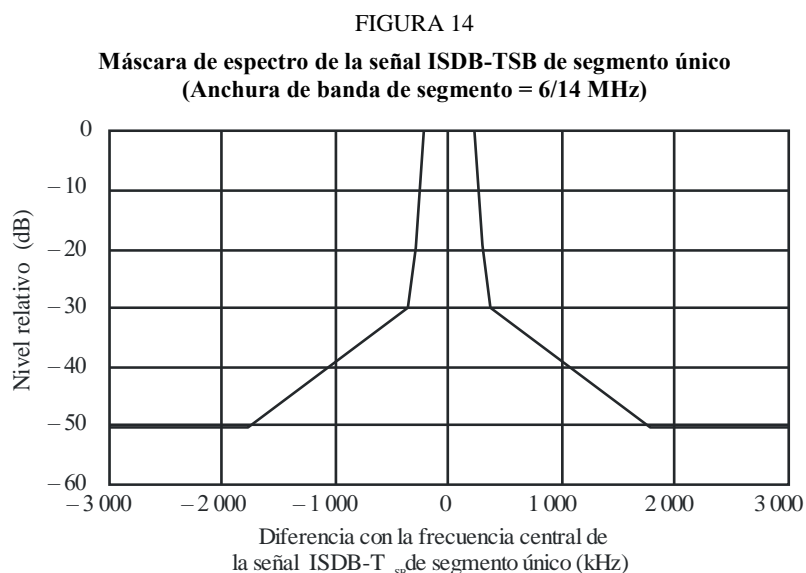
El entrelazado en frecuencia está formado por el entrelazado en frecuencia entre segmentos, la rotación de portadora intrasegmento y la aleatorización de portadora intrasegmento. El entrelazado en frecuencia entre segmentos se efectúa entre aquellos segmentos que tienen el mismo esquema de modulación. El entrelazado en frecuencia entre segmentos solamente se puede realizar para la transmisión de segmento triple. Después de la rotación de portadora se lleva a cabo la aleatorización de portadora dependiendo del cuadro de aleatorización.

7.7 Estructura de trama de segmentos MDFO

Los segmentos de datos se disponen en tramas de segmentos MDFO cada 204 símbolos añadiendo pilotos como CP, SP, TMCC y AC. La fase de modulación de CP es fija en cada símbolo MDFO. SP se inserta cada 12 portadoras y cada 4 símbolos MDFO en el caso del método de modulación coherente. La portadora TMCC transporta parámetros de transmisión como la modulación de la portadora, la relación de codificación y el entrelazado en el tiempo para el control del receptor. La portadora AC transporta la información auxiliar.

8 Máscara del espectro

El espectro de la señal radiada para la transmisión de segmento único en el sistema de segmentos 6/14 MHz debe estar limitado por la máscara definida en la Fig. 14 y el Cuadro 6. El nivel de la señal en frecuencias fuera de la anchura de banda de 429 kHz (6/14 MHz) puede reducirse aplicando un filtrado apropiado.



BS.1114-14

CUADRO 6

Puntos de corte de la máscara de espectro para la transmisión de segmento único
(Anchura de banda de segmento = 6/14 MHz)

Diferencia de frecuencia con la frecuencia central de la señal transmitida (kHz)	Nivel relativo (dB)
±220	0
±290	-20
±360	-30
±1 790	-50

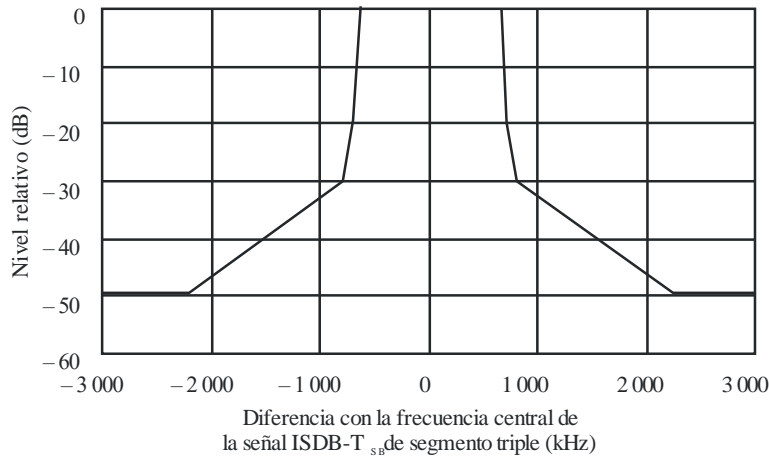
Nota – El espectro de señal radiado se mide con un analizador de espectro. La anchura de banda de resolución del analizador de espectro debe fijarse a 10 kHz o 3 kHz. En cuanto a la anchura de banda de vídeo, ésta se sitúa entre 300 Hz y 30 kHz, siendo deseable una promediación vídeo. El salto de frecuencia se fija al valor mínimo requerido para la medición de la máscara del espectro de transmisión.

En la Fig. 15 y el Cuadro 7 se define la máscara de espectro para la transmisión de triple segmento en el sistema de segmentos de 6/14 MHz.

NOTA 1 – La máscara del espectro en los sistemas de segmentos de 7/14 MHz y 8/14 MHz debe modificarse de conformidad con la forma de espectro de su sistema.

FIGURA 15

Máscara de espectro de la señal ISDB-TSB de segmento triple
(Anchura de banda de segmento = 6/14 MHz)



BS.1114-15

CUADRO 7

Puntos de corte de la máscara de espectro para la transmisión de un triple segmento
(Anchura de banda de segmento = 6/14 MHz)

Diferencia de frecuencia con la frecuencia central de la señal transmitida (kHz)	Nivel relativo (dB)
±650	0
±720	-20
±790	-30
±2 220	-50

9 Características de calidad de funcionamiento RF

Se han llevado a cabo pruebas de evaluación RF en el sistema ISDB-T_{SB} para cada conjunto de condiciones de transmisión. En este punto se describen los resultados de las pruebas de laboratorio.

Se efectuaron experiencias de transmisión en laboratorio de la calidad de funcionamiento en términos de BER en función del ruido y el desvanecimiento por propagación multitrayecto. Las mediciones de la BER en función de C/N en el canal de transmisión se realizaron en las siguientes condiciones (véase el Cuadro 8).

9.1 BER en función de la relación C/N en un canal gaussiano

Se añadió ruido blanco gaussiano aditivo para fijar la relación C/N a la entrada del receptor. En las Figs. 16, 17 y 18 se presentan los resultados. Estas cifras se pueden comparar con las obtenidas de la simulación por computador para mostrar la calidad de funcionamiento inherente del sistema. Puede apreciarse que se obtuvo una pérdida de margen de implementación inferior a 1 dB con una BER de 2×10^{-4} antes de la decodificación RS.

CUADRO 8

Parámetros de transmisión en las pruebas de laboratorio

Número de segmentos	1 (Anchura de banda: 429 kHz)
Modo de transmisión	3 (Duración de símbolo útil: 1,008 ms)
Número de portadoras	433
Modulaciones de las portadoras	MDP-4 D, MAQ-16 y MAQ-64
Intervalo de guarda	63 μ s (relación de intervalo de guarda: 1/16)
Velocidades de codificación del codificador interno	1/2, 2/3, 3/4 y 7/8
Entrelazado en el tiempo	0 y 407 ms

FIGURA 16

BER antes de la decodificación RS en función de C/N
 (Modo de transmisión: 3, modulación de la portadora: MDP-4D,
 entrelazado en el tiempo: 407 ms): canal gaussiano

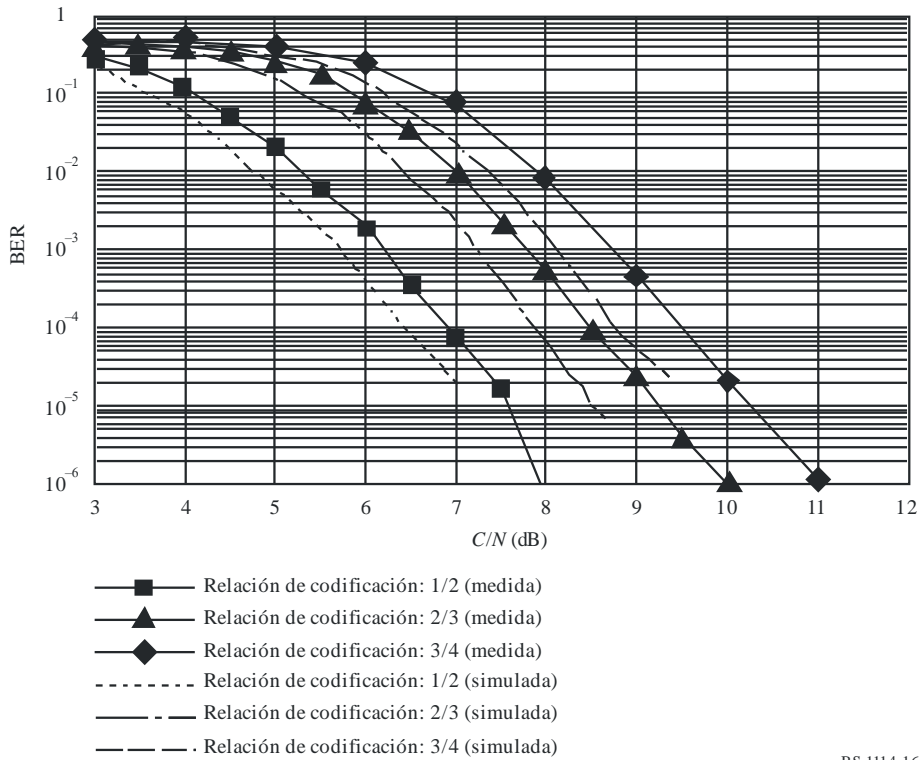
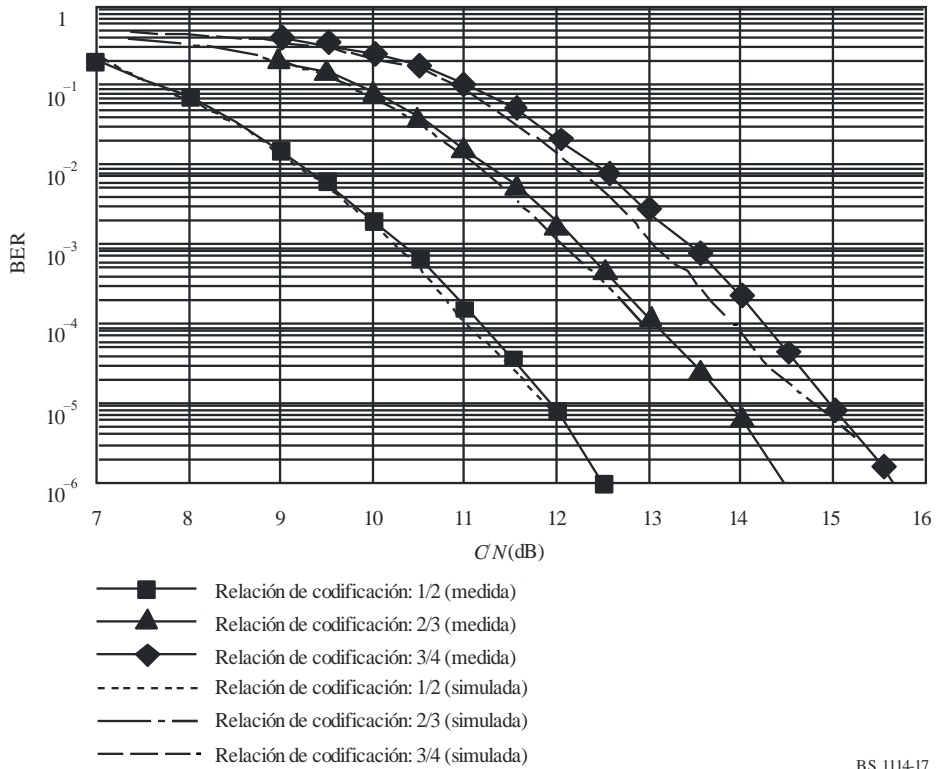


FIGURA 17

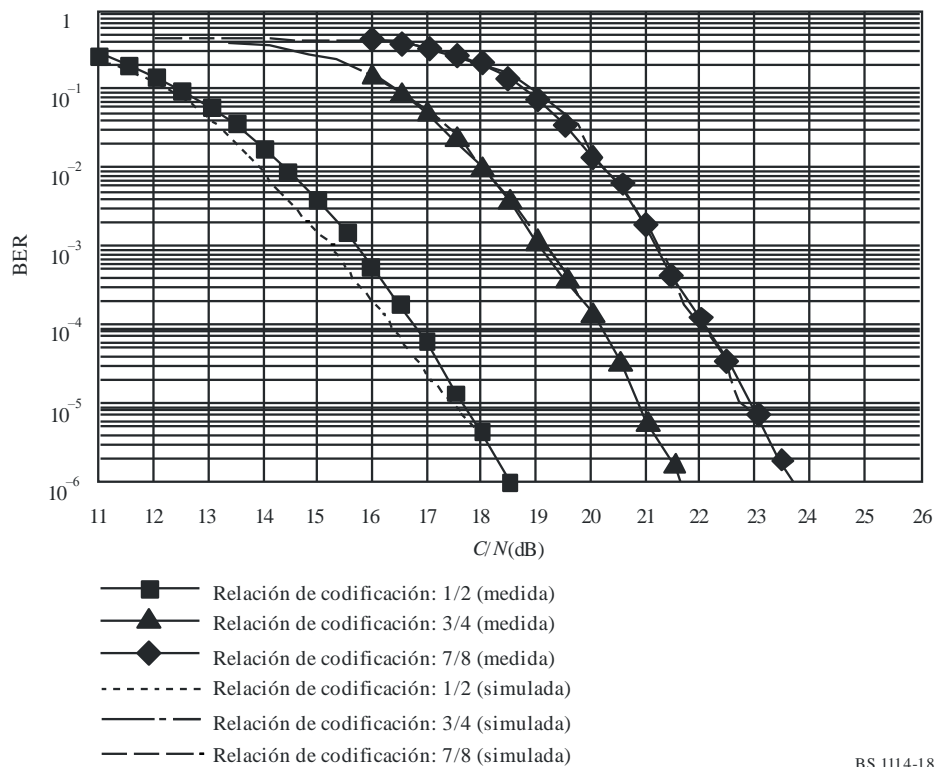
BER antes de la decodificación RS en función de C/N
 (Modo de transmisión: 3, modulación de la portadora: MAQ-16,
 entrelazado en el tiempo: 407 ms): canal gaussiano



BS.1114-17

FIGURA 18

BER antes de la decodificación RS en función de C/N
 (Modo de transmisión: 3; modulación de la portadora: MAQ-64;
 entrelazado en el tiempo: 407 ms): canal gaussiano



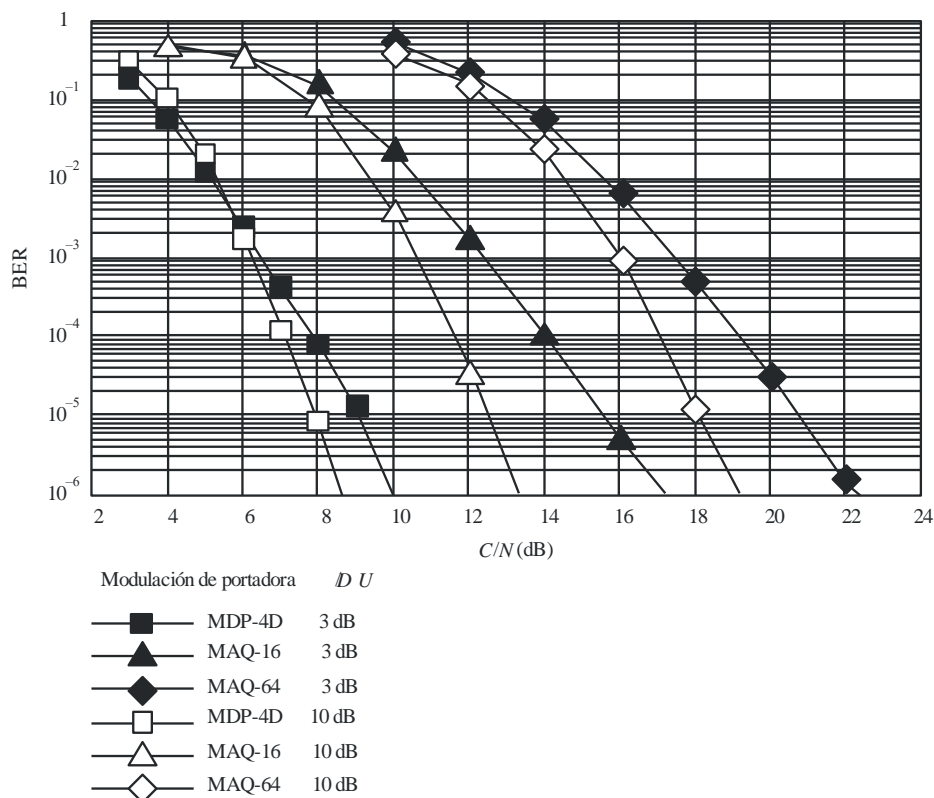
BS.1114-18

9.2 BER en función de C/N en un canal multitrayecto

Las mediciones de BER en función de C/N se realizaron utilizando un simulador de canal multitrayecto. La relación entre la señal deseada y la señal interferente (D/U) de la señal principal y de una señal de retardo se fijó a 3 y 10 dB. El tiempo de retardo de una señal retardada con respecto a la señal principal se fijó a 15 μ s. En la Fig. 19 se muestran los resultados.

FIGURA 19

BER antes de la decodificación RS en función de C/N
 (Modo de transmisión: 3, relación de codificación: 1/2,
 entrelazado en el tiempo: 407 ms): canal multitrayecto



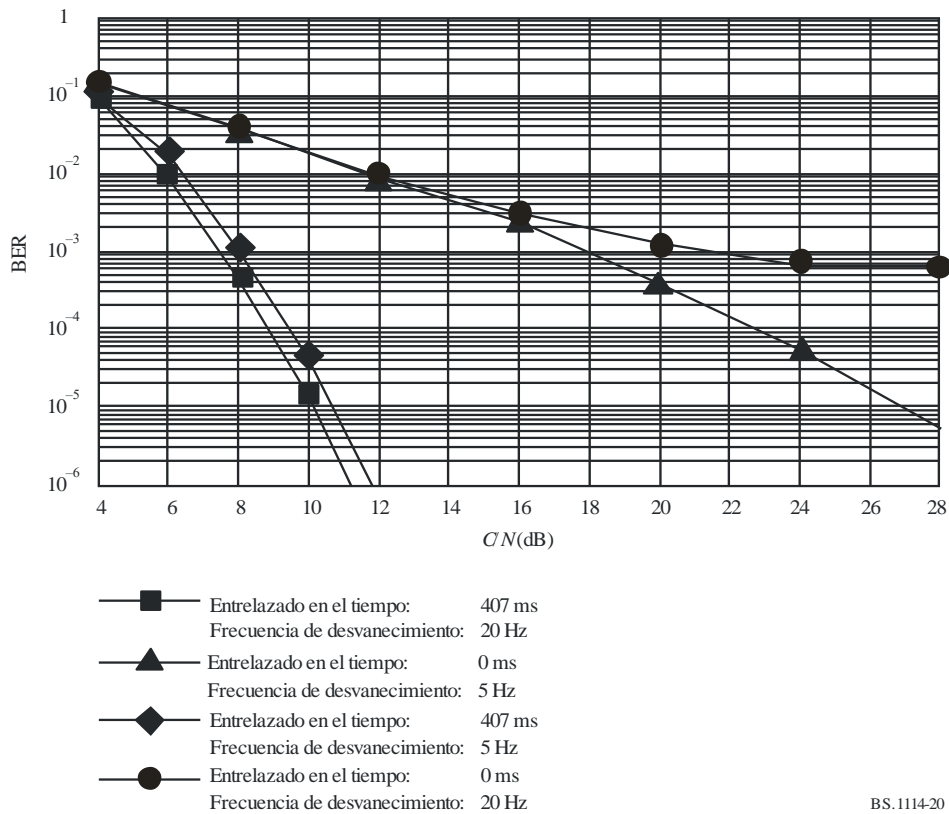
BS.1114-19

9.3 BER en función de C/N en un canal con desvanecimiento Rayleigh

Las mediciones de BER en función de C/N se realizaron utilizando un simulador de canal con desvanecimiento. El canal se fijó a un canal con desvanecimiento Rayleigh de dos trayectos y la relación D/U de los dos trayectos se fijó a 0 dB. El tiempo de la señal retardada se puso a 15 μ s. Las frecuencias máximas de desplazamiento Doppler de la señal se fijaron a 5 y 20 Hz. En la Fig. 20 se presentan los resultados.

FIGURA 20

BER antes de la decodificación RS en función de C/N
 (Modo de transmisión: 3, modulación de la portadora:
 MDP-4D; relación de la codificación: 1/2): canal con
 desvanecimiento Rayleigh de dos trayectos



BS.1114-20

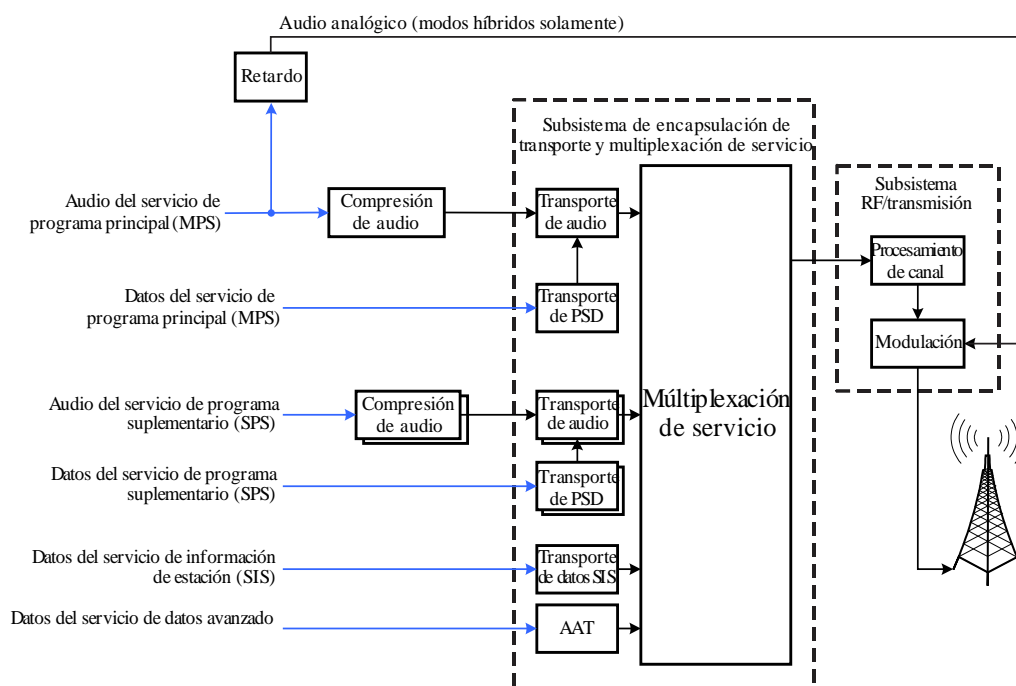
Anexo 4

Sistema Digital C

1 Consideraciones generales del sistema

El Sistema Digital C utiliza tecnología de funcionamiento IBOC para facilitar la introducción de la radiodifusión sonora digital. La DSB proporciona a los organismos de radiodifusión la posibilidad de mejorar su servicio analógico añadiendo nuevos servicios de audio y datos, ofreciendo una mayor fidelidad de audio y soportando una mayor robustez de la señal. La tecnología IBOC permite a los organismos de radiodifusión introducir estas mejoras sin necesidad de utilizar nuevas atribuciones de espectro para la señal digital. IBOC también permite a las estaciones existentes difundir la misma programación en modo analógico y en modo digital, lo que proporciona un medio eficaz, desde el punto de vista de utilización del espectro, para hacer una transición racional del actual entorno analógico a un futuro entorno digital. En la Fig. 21 se esquematiza el sistema de radiodifusión IBOC.

FIGURA 21
Esquema del sistema de radiodifusión IBOC



RS 1114-21

IBOC preserva la radiodifusión analógica que utiliza la asignación de frecuencias principal. Retiene la potencia de la señal analógica y añade bandas de señales digitales de bajo nivel inmediatamente adyacentes a la señal analógica. Estas señales digitales inmediatamente adyacentes a la analógica pueden estar a cualquiera de los lados de la señal analógica o a ambos. La potencia de cada una de esas señales digitales puede ajustarse individualmente de manera que se puede controlar el equilibrio entre la cobertura de la señal digital y la coexistencia con una alta densidad de señales FM preexistentes.

El funcionamiento de las señales digitales puede estar asociado a dos modos: «híbrido» y «todo digital».

Cuando se introducen una o varias bandas digitales y se operan en presencia de la señal analógica existente y totalmente conservada, la señal digital se percibe como la configuración IBOC híbrida.

Cuando se introducen una o varias bandas digitales, pero la señal analógica existente deja de emitir, la señal digital se percibe como la configuración IBOC todo digital. No es necesario modificar el emplazamiento de la banda o bandas digitales.

Los radiodifusores pueden utilizar el modo híbrido durante la implantación de la tecnología para poder seguir utilizando los receptores sólo analógicos, mientras los nuevos receptores IBOC ofrecen los nuevos servicios mejorados y la recepción analógica existente. Posteriormente, cuando el mercado sea totalmente capaz de recibir señales digitales, los radiodifusores podrán pasar al modo todo digital.

2 Capas IBOC

Las especificaciones de comportamiento detalladas de IBOC se organizan en términos del modelo de capas de ISA de la ISO. Cada capa ISA del sistema de radiodifusión tiene su correspondiente capa par, en el sistema de recepción, como se ve en la Fig. 22. La funcionalidad de estas capas es tal que el resultado combinado de las capas más bajas es establecer una comunicación virtual entre una capa determinada y su capa par en el otro lado.

2.1 Capa 1

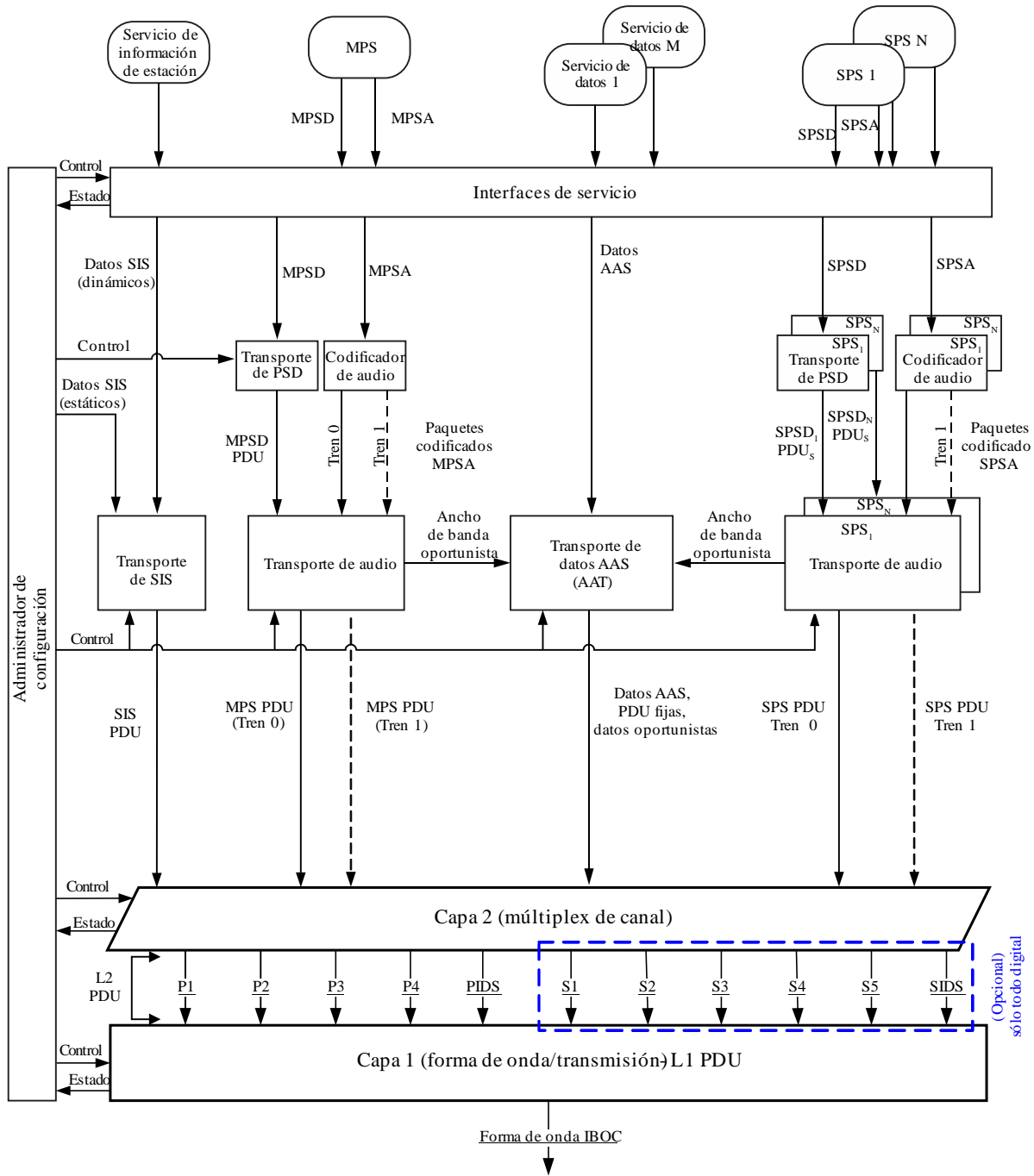
La capa 1 (L1) del Sistema Digital C convierte la información y el control del sistema de la capa 2 (L2) en la forma de onda IBOC para su transmisión en la banda de ondas métricas. La información y el control se transportan en tramas de transferencia discretas mediante múltiples canales lógicos a través de los puntos de acceso al servicio (SAP) de la L1. Estas tramas de transferencia también reciben el nombre de unidades de datos de servicio (SDU) y unidades de control de servicio (SCU, *service control units*) de la L2, respectivamente.

Las SDU de L2 varían en tamaño y formato dependiendo del modo de servicio. El modo de servicio, que es una componente fundamental del control del sistema, determina las características de transmisión de cada canal lógico. Tras evaluar los requisitos de sus posibles aplicaciones, las capas de protocolo más elevadas seleccionan los modos de servicio que configuran de la forma más adecuada los canales lógicos. La pluralidad de los canales lógicos refleja la flexibilidad inherente del sistema, que soporta simultáneamente la distribución de varias clases de audio y datos digitales.

La L1 también recibe el control del sistema como SCU de la L2. El control del sistema se procesa en el procesador del control del sistema.

FIGURA 22

Diagrama de bloques de la pila de protocolo del sistema IBOC FM



BS.1114-22

2.2 Formas de onda y espectros

El diseño proporciona un medio flexible de introducción a un sistema de radiodifusión digital proporcionando dos nuevos tipos de composición de forma de onda: híbrida y completamente digital. La composición híbrida puede caracterizarse además por distintas configuraciones de ancho de banda, denominadas principal y ampliada. Los distintos tipos de composición de forma de onda mantienen la señal MF analógica y el sistema completamente digital no. Las formas de onda completamente digital funcionan muy por debajo del límite de emisiones espectrales atribuido, actualmente definido por la Federal Communications Commission (FCC).

La señal digital se modula utilizando múltiplex por división de frecuencia ortogonal (MDFO). La MDFO presenta una flexibilidad inherente que permite realizar fácilmente la correspondencia de los canales lógicos con los distintos grupos de subportadoras.

En el Cuadro 9 se definen los parámetros de símbolo MDFO y de capa física del sistema IBOC fundamentales.

CUADRO 9
Parámetros de capa física del sistema IBOC

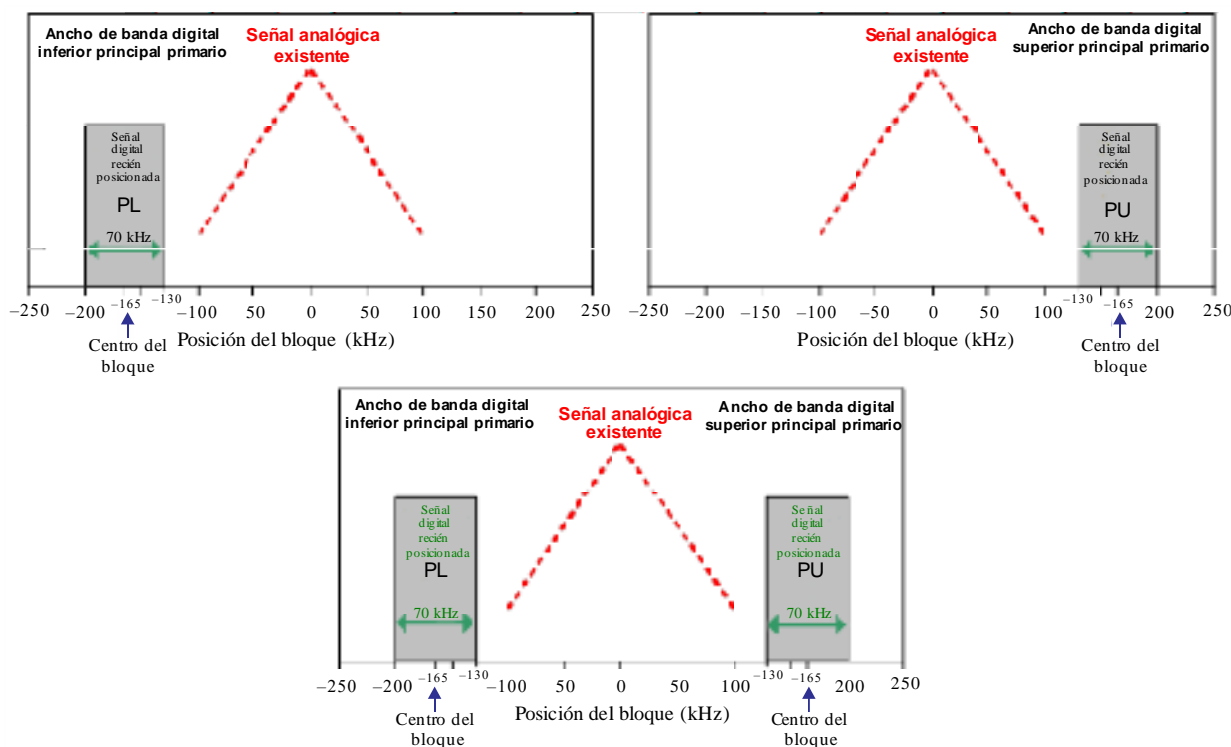
Nombre del parámetro	Símbolo	Unidades	Valor exacto	Valor calculado (con 4 cifras significativas)
Separación de subportadoras MDFO	Δf	Hz	1 488 375/4 096	363,4
Anchura del prefijo cíclico	α	Ninguna	7/128	$5,469 \times 10^{-2}$
Duración del prefijo cíclico	T_α	s	$(7/128) \cdot (4 096/1 488 375)$	$1,586 \times 10^{-4}$
Duración del símbolo MDFO	T_s	s	$(1 + \alpha)/\Delta f = (135/128) \cdot (4 096/1 488 375)$	$2,902 \times 10^{-3}$
Velocidad de símbolos MDFO	R_s	Hz	$= 1/T_s$	344,5
Duración de la trama L1	T_f	s	$65 536/44 100 = 512 \cdot T_s$	1,486
Frecuencia de la trama L1	R_f	Hz	$= 1/T_f$	$6,729 \times 10^{-1}$
Duración del bloque L1	T_b	s	$= 32 \cdot T_s$	$9,288 \times 10^{-2}$
Frecuencia del bloque L1	R_b	Hz	$= 1/T_b$	10,77
Duración del par del bloque L1	T_p	s	$= 64 \cdot T_s$	$1,858 \times 10^{-1}$
Frecuencia del par del bloque L1	R_p	Hz	$= 1/T_p$	5,383
Tramas de retardo por diversidad	N_{dd}	Ninguna	= número de tramas L1 de retardo por diversidad	3
Número de subportadoras	N/A	Ninguna	Banda de 70 kHz: 191 Banda de 100 kHz: 267	
Ancho de banda utilizado	PL/PU	kHz	1 488,375/4 096 · 191 1 488,375/4 096 · 267	Banda de 70 kHz: 69,4 Banda de 100 kHz: 97,0

2.2.1 Forma de onda híbrida principal

La señal digital se transmite en una banda lateral principal primaria (PM) a cada lado de la señal FM analógica existente y ocupa unos 70 kHz. Puede estar formada sólo por la señal inferior primaria (PL), sólo por la señal superior primaria (PU) o por ambas, como se muestra en la Fig. 23. El nivel de potencia de cada banda lateral se ajusta por separado. Tal y como se utiliza hoy en día en Estados Unidos, el nivel de potencia total de esa señal digital (en cualquier composición de dos bandas laterales con idéntico o distinto nivel de potencia, o sólo en una banda lateral) se limita a unos 10 dB por debajo de la potencia total de la señal FM analógica. En la composición ideal de dos bandas laterales de igual potencia, el nivel de potencia de cada banda lateral es unos 13 dB inferior a la potencia total de la señal FM analógica. La señal analógica puede ser monofónica o estereofónica y puede incluir canales de autorización de comunicaciones auxiliares (SCA).

FIGURA 23

Ejemplos de forma de onda híbrida principal del sistema FM IBOC



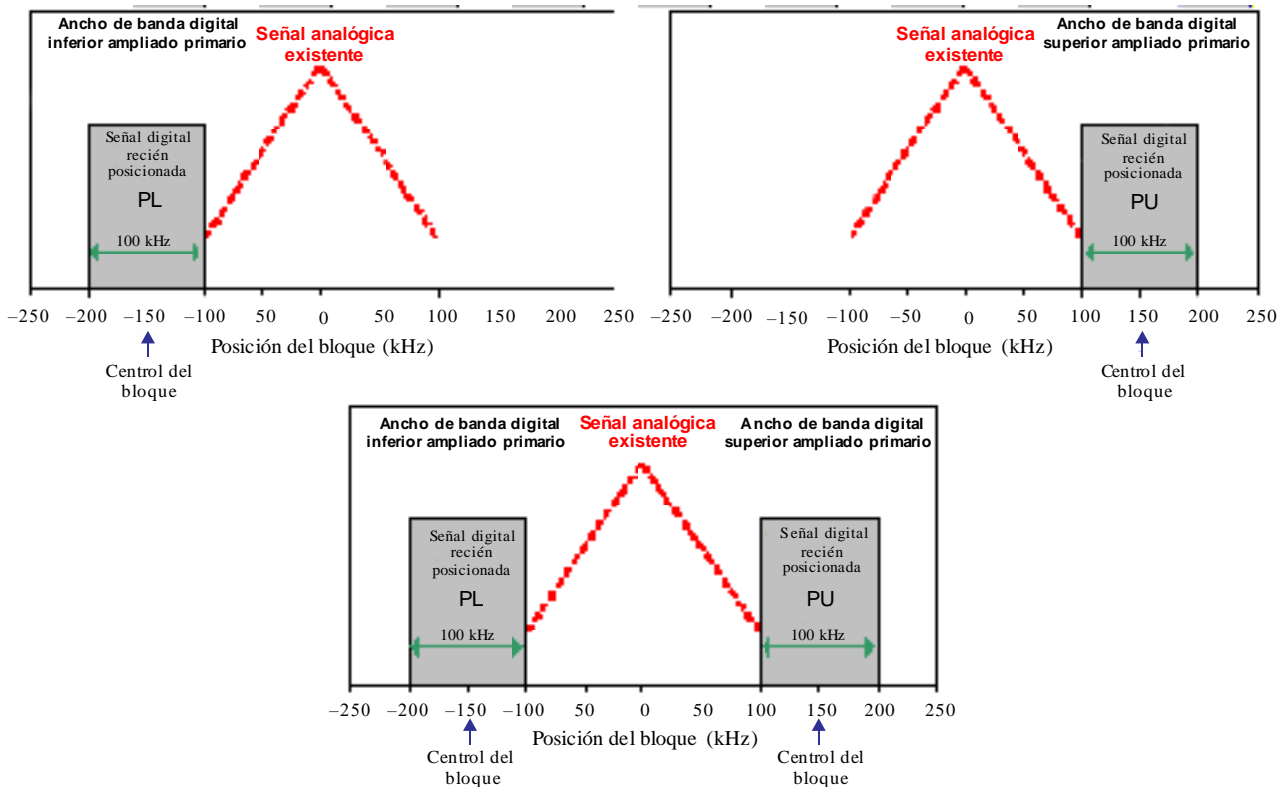
BS.1114-23

2.2.2 Forma de onda híbrida ampliada

En la forma de onda híbrida ampliada, la anchura de banda de las bandas laterales híbridas puede ampliarse hacia la señal MF analógica, ocupando hasta 100 kHz, para aumentar la capacidad digital. Este espectro adicional, atribuido en el borde interior de cada banda lateral principal primaria, se denomina banda lateral ampliada primaria. En la Fig. 24 se muestran ejemplos de señal ampliada, incluidos el espectro principal y el ampliado. El nivel de potencia de cada banda lateral se ajusta por separado. Tal y como se utiliza hoy en día en Estados Unidos, el nivel de potencia total de esa señal digital (en cualquier composición de dos bandas laterales con idéntico o distinto nivel de potencia, o sólo en una banda lateral) se limita a unos 8,5 dB por debajo de la potencia total de la señal FM analógica. En la composición ideal de dos bandas laterales de igual potencia, el nivel de potencia de cada banda lateral es unos 11,5 dB inferior a la potencia total de la señal FM analógica.

FIGURA 24

Ejemplos de forma de onda híbrida ampliada del sistema FM IBOC



BS.1114-24

2.2.3 Forma de onda completamente digital

Las mayores mejoras en el sistema se logran con la forma de onda completamente digital, en la cual la señal analógica se elimina y la anchura de banda de las bandas laterales digitales primarias se amplía completamente como en el caso de la forma de onda híbrida ampliada. Se parece a los ejemplos de la Fig. 24, pero sin la señal FM analógica, que se ha eliminado. Además, esta forma de onda permite la transmisión de bandas laterales secundarias digitales de potencia inferior, en el espectro que ha dejado libre la señal MF analógica.

2.3 Canal de control del sistema

El canal de control del sistema (SCCH, *system control channel*) transporta la información de control y estado. Los modos de servicio primario y secundario y el control de retardo por diversidad se envían de la L2 a la L1 y la información de sincronización se transmite de la L1 a la L2.

Los modos de servicio determinan todas las configuraciones posibles en los canales lógicos. El sistema permite un total de 64 modos de servicio.

2.4 Canales lógicos

Un canal lógico es un trayecto de señal que transporta las SDU de L2 en tramas de transferencia a la L1 con una calidad de servicio específica determinada por el modo de servicio. La L1 del Sistema Digital C, proporciona once canales lógicos a protocolos de capa más elevada. No todos los canales lógicos se utilizan en cada modo de servicio.

2.4.1 Canales lógicos primarios

Existen cinco canales lógicos primarios que se pueden utilizar con las formas de onda híbrida y completamente digital. Se denominan P1, P2, P3, P4 y servicio de datos IBOC primario (PIDS). En el Cuadro 10 se indica la velocidad de transmisión de la información teórica aproximada soportada por cada canal lógico primario en función del modo de servicio primario ideal.

CUADRO 10
Ejemplos de velocidad de transmisión de la información teórica
de los canales lógicos primarios

Modo de servicio	Velocidad de transmisión de la información teórica (kbit/s)					Forma de onda
	P1	P2	P3	P4	PIDS	
MP1	98	0	0	0	1	Híbrida
MP2	98	0	12	0	1	Híbrida ampliada
MP3	98	0	25	0	1	Híbrida ampliada
MP11	98	0	25	25	1	Híbrida ampliada
MP12	98	0	0	0	1	Híbrida ampliada, completamente digital
MP5	25	74	25		1	Híbrida ampliada, completamente digital
MP6	49	49	0		1	Híbrida ampliada, completamente digital

2.4.2 Canales lógicos secundarios

Existen seis canales lógicos secundarios que se utilizan únicamente con la forma de onda completamente digital. Se denominan S1, S2, S3, S4, S5 y servicio de datos IBOC secundario (SIDS). El Cuadro 11 muestra la velocidad de transmisión de la información teórica aproximada soportada por cada uno de los canales lógicos secundarios en función del modo de servicio secundario.

CUADRO 11
Velocidad de transmisión de la información teórica aproximada
de los canales lógicos secundarios

Modo de servicio	Velocidad de transmisión de la información aproximada (kbit/s)						Forma de onda
	S1	S2	S3	S4	S5	SIDS	
MS1	0	0	0	98	6	1	Completamente digital
MS2	25	74	25	0	6	1	Completamente digital
MS3	49	49	0	0	6	1	Completamente digital
MS4	25	98	25	0	6	1	Completamente digital

2.4.3 Funcionalidad de canal lógico

Los canales lógicos P1 a P4 se diseñan para transportar señales de audio y de datos. Los canales S1 a S5 pueden configurarse para cursar datos o sonido. Los canales lógicos del PIDS y del SIDS están diseñados para transportar la información del servicio de datos IBOC (IDS).

El comportamiento de cada canal lógico se describe completamente mediante tres parámetros de caracterización: transferencia, latencia y robustez. La codificación de canal, la correspondencia espectral, la profundidad del entrelazador y el retardo por diversidad son las componentes de estos parámetros de caracterización. El modo de servicio configura de manera unívoca estas componentes para cada uno de los canales lógicos permitiendo de esa forma la asignación de los parámetros de caracterización adecuados.

Además, el modo de servicio especifica la estructura de tramas y la sincronización de las tramas de transferencia a través de cada canal lógico activo.

2.5 Capa 1

En la Fig. 25 se muestra un diagrama de bloques funcional del procesamiento de L1. El audio y los datos pasan de las capas ISA más elevadas a la capa física, el módem, a través de los SAP de L1. Tras el diagrama del procesamiento de L1 se presenta una descripción de alto nivel de cada bloque funcional L1 y del flujo de señal asociado.

2.5.1 Puntos de acceso al servicio

Los SAP de L1 definen la interfaz entre la L2 y la L1 de la pila de protocolo del sistema. Cada canal lógico y el SCCH tienen sus propios SAP. Cada uno de los canales entra en la L1 en las tramas de transferencia discreta con un tamaño y velocidad únicos determinados por el modo de servicio. Estas tramas de transferencia de L2 se denominan normalmente SDU y SCU de L2.

2.5.2 Aleatorización

Esta función aleatoriza los datos digitales en cada canal lógico para blanquear y reducir las periodicidades de la señal cuando la forma de onda se demodula mediante un demodulador de MF analógico convencional.

2.5.3 Codificación de canal

El Sistema Digital IBOC utiliza códigos convolucionales con velocidades de codificación efectivo que van desde $4/5$ hasta $2/9$. Esta codificación convolucional añade redundancia a los datos digitales en cada canal lógico para mejorar su fiabilidad en presencia de degradaciones de canal. El tamaño de los vectores de canal lógico aumenta en proporción inversa al índice de código. Las técnicas de codificación son configurables mediante el modo de servicio. El retardo por diversidad también viene impuesto en los canales lógicos seleccionados. A la salida del codificador de canal, los vectores de canal lógico mantienen su identidad.

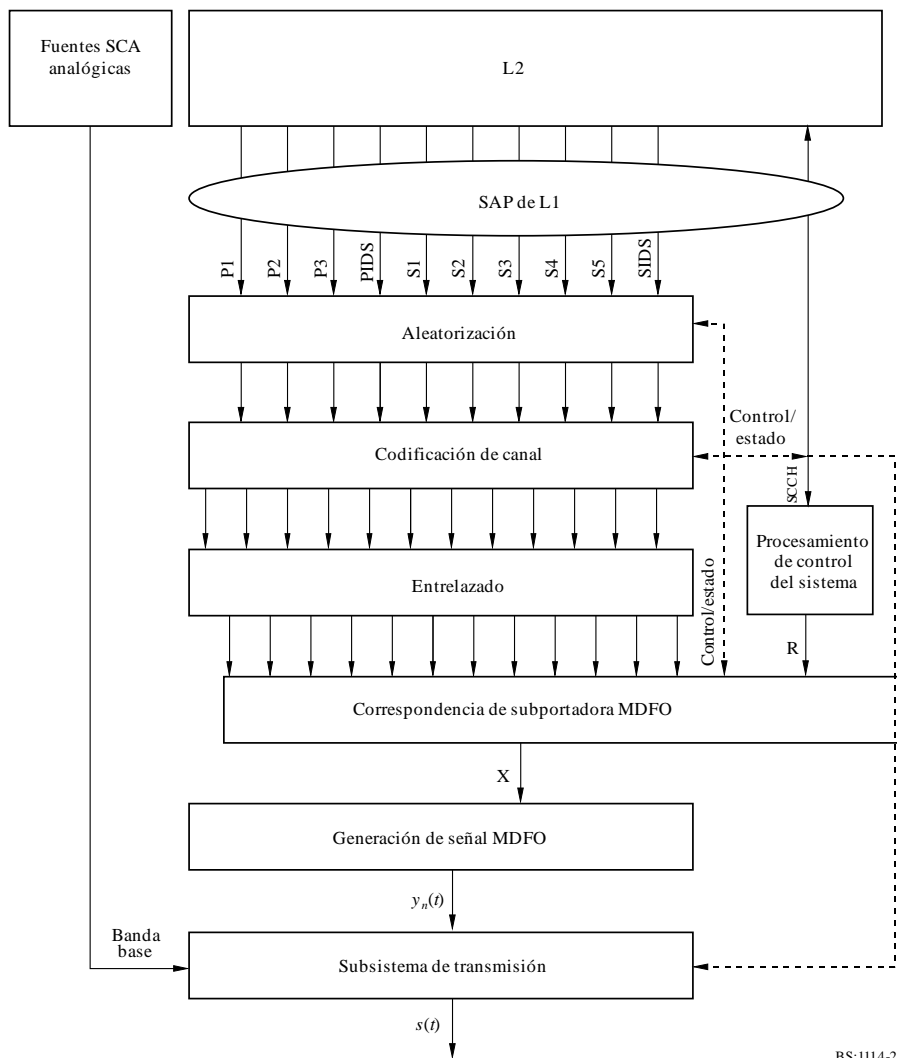
2.5.4 Entrelazado

El entrelazado en tiempo y frecuencia se utiliza para reducir los efectos de los errores de ráfaga. Las técnicas de entrelazado están ajustadas al entorno de desvanecimiento en la banda de ondas métricas y son configurables por el modo de servicio. Cada canal lógico se entrelaza de manera individual. La profundidad del entrelazador se basa en la utilización del canal. La longitud del entrelazador en los canales de audio primarios (P1 y P2) es equivalente a una trama L1. En este proceso, los canales lógicos pierden su identidad. La salida del entrelazador se estructura en un formato de matriz; cada matriz comprende uno o más canales lógicos y está asociada a un tramo particular del espectro transmitido. El retardo por diversidad total incluido el entrelazado es de tres tramas L1 ($3 \times 1,486$ s). La longitud del entrelazador en los canales P3 y P4 es equivalente a dos tramas L1. Está estructurado como un mecanismo contiguo prácticamente sin límites.

2.5.5 Procesamiento de control del sistema

Esa función genera una matriz de secuencias de datos de control del sistema que incluye la configuración de control (como el modo de servicio), para la difusión de las subportadoras de referencia. También comprende el estado para uso local.

FIGURA 25
Diagrama de bloques funcional de L1 de la interfaz aérea de MF



2.5.6 Correspondencia de la subportadora MDFO

Esta función asigna las matrices entrelazadas y la matriz de control del Sistema A las subportadoras MDFO. Cada símbolo MDFO T_s procesa una fila de cada matriz del entrelazador activo para producir un vector de salida X , que es una representación de la señal en el dominio de la frecuencia. La correspondencia se ajusta específicamente al entorno de interferencia no uniforme y es función del modo de servicio.

2.5.7 Generación de la señal MDFO

Esta función genera la porción digital de señal en el dominio del tiempo. Los vectores de entrada se transforman en un impulso en banda base en el dominio del tiempo conformado, $y_n(t)$, que define un símbolo MDFO.

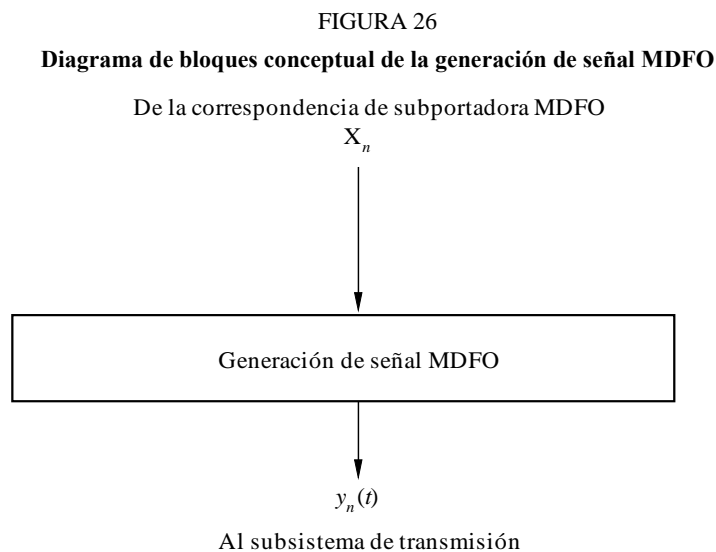
2.5.8 Subsistema de transmisión

Esta función realiza el formateo de la forma de onda en banda base para la transmisión a través del canal en la banda de ondas métricas. Las subfunciones principales incluyen la concatenación de símbolo y la conversión ascendente de frecuencias. Además, cuando se transmite una forma de onda híbrida, esta función modula la fuente, retiene totalmente la señal analógica y la combina con la señal digital para formar una señal híbrida compuesta, $s(t)$, lista para la transmisión.

3 Descripción funcional

3.1 Introducción

La generación de la señal MDFO recibe símbolos MDFO complejos en el dominio de la frecuencia de la correspondencia de subportadora MDFO y los impulsos de salida en el dominio del tiempo representan la parte digital de la señal del Sistema Digital C. En la Fig. 26 aparece un diagrama de bloques conceptual de la generación de señal MDFO.



BS.1114-26

La entrada a la generación de señal MDFO es un vector complejo \mathbf{X}_n de longitud L que representa los valores de constelación complejos de cada subportadora MDFO en el símbolo MDFO n . La salida de la generación de señal MDFO es una forma de onda compleja, en banda base y en el dominio de la frecuencia, $y_n(t)$, que representa la señal digital para el símbolo MDFO n .

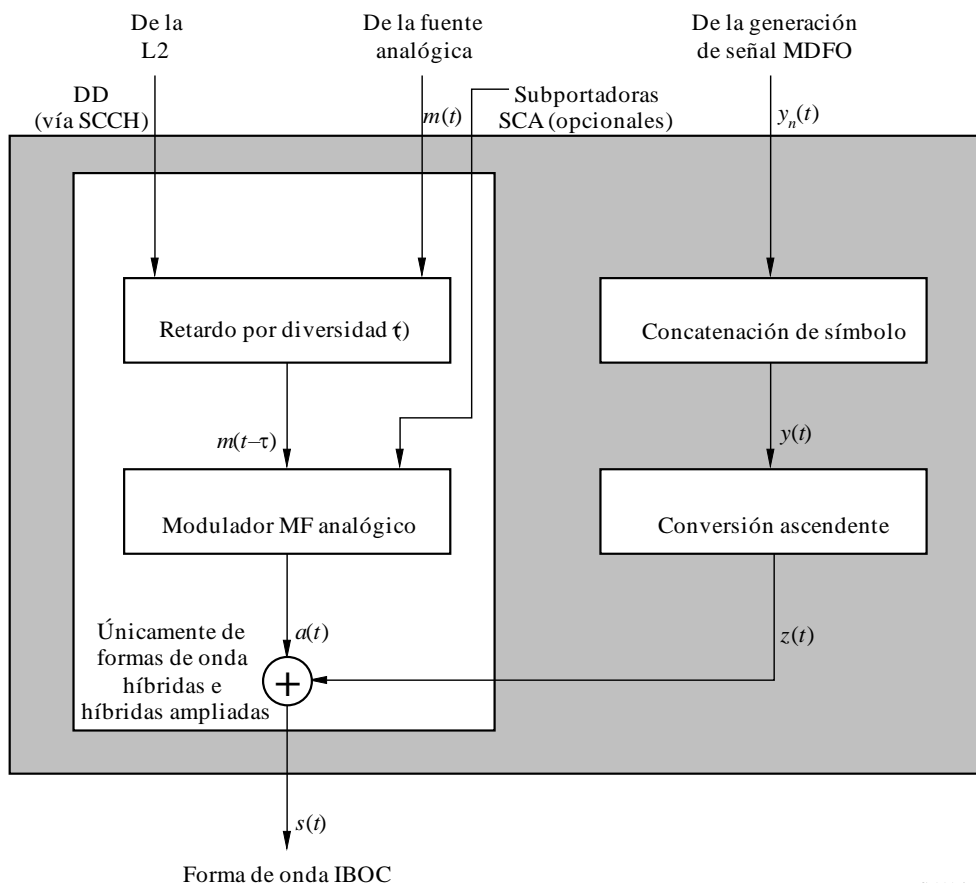
3.2 Subsistema de transmisión

3.2.1 Introducción

El subsistema de transmisión formatea la forma de onda IBOC en banda base para la transmisión a través del canal en la banda de ondas métricas. Las funciones incluyen la concatenación de símbolo y la conversión ascendente de frecuencias. Además, cuando se transmiten formas de onda híbridas o híbridas ampliadas, esta función retarda y modula la señal analógica en banda base antes de combinarla con la forma de onda digital.

La entrada a este módulo es una forma de onda MDFO compleja, en banda base y en el dominio del tiempo, $y_n(t)$, procedente de la función de generación de señal MDFO. Una señal analógica en banda base $m(t)$ también constituye una entrada procedente de una fuente analógica, junto con las señales SCA opcionales, cuando se transmiten las formas de onda híbrida o híbrida ampliada. Además, también se introduce el control del retardo por diversidad (DD) analógico procedente de la L2 a través del canal de control. La salida de este módulo es la forma de onda IBOC.

FIGURA 27
 Diagrama de bloques funcional del subsistema de transmisión híbrido/híbrido ampliado



BS.1114-27

3.2.2 Retardo por diversidad

Cuando se realiza la radiodifusión de formas de onda híbridas e híbridas ampliadas, como se muestra en la Fig. 27, $z(t)$ se combina con la señal MF analógica totalmente retenida, $a(t)$. Esa señal digital, $z(t)$, ya incluye la fuente de audio analógica, $m(t)$, en uno de los servicios de audio facilitados. El primer paso en la generación de $a(t)$ es la aplicación del DD a la señal analógica en banda base $m(t)$. Los bits de control del DD, recibido de la L2 a través del SCCH, son utilizados por las capas de protocolo superiores para activar o desactivar el DD. Cuando DD está activado, se aplica un retardo ajustable τ , a la señal analógica en banda base $m(t)$. El retardo se ajusta de tal forma que a la salida del combinador analógico/digital, $a(t)$, se encuentra retrasada con respecto a la señal digital correspondiente, $z(t)$, un valor T_{dd} . Por tanto, los programas de audio del Sistema Digital C comprenden el mismo programa facilitado (con retraso) por la señal FM analógica, permitiendo así que los receptores transiten sin escollos entre el audio facilitado por el sistema digital y el mismo audio facilitado por señal FM analógica. El retardo es ajustable a fin de tener en cuenta los retardos de procesamiento en las cadenas analógica y digital.

3.2.3 Modulador MF analógico

Para las formas de onda híbrida e híbrida ampliada, la señal analógica en banda base adecuadamente retardada $m(t-\tau)$ se modula en frecuencia para producir una forma de onda MF analógica en RF idéntica a las señales analógicas existentes.

3.2.4 Combinador analógico/digital

Cuando se difunde una forma de onda híbrida o híbrida ampliada, la señal de RF de MF con modulación analógica se combina con la señal RF IBOC de modulación digital para producir una señal de Sistema Digital C, $s(t)$. Las partes analógica y digital de la onda están centradas en la misma frecuencia portadora. Los niveles de cada banda lateral digital en el espectro de salida están adecuadamente extrapolados por la correspondencia de subportadora MDFO.

3.2.5 Señal completamente digital

Cuando se radiodifunde la forma de onda completamente digital, la cadena de procesamiento analógica, como se muestra en la Fig. 27, incluida la señal FM, $a(t)$, y el combinador analógico/digital, no existe, por lo que la señal digital, $z(t)$, se convierte en la señal de salida, $s(t)$.

3.3 Utilización de repetidores en canal

El empleo de MDFO en el Sistema Digital C permite que mediante repetidores digitales en canal o con una red de frecuencia única se llegue a zonas donde se desea la cobertura cuando las pérdidas de señal debidas al terreno o al apantallamiento son severas. Una aplicación típica sería el caso en que las montañas u otras obstrucciones importantes del terreno dentro de las zonas de servicio de la estación limitasen la calidad de funcionamiento analógica o digital.

El Sistema Digital C funciona con un tiempo de guarda efectivo entre símbolos MDFO de aproximadamente $150 \mu\text{s}^2$. Para evitar una interferencia entre símbolos significativa, la cobertura eficaz en la dirección del sistema de transmisión primario debe limitarse a un radio de 22 km. De forma específica, la relación entre la señal procedente del transmisor primario y la señal del amplificador de potencial debe ser al menos 10 dB en emplazamientos situados a más de 22 km del repetidor en dirección de la antena primaria. La calidad de funcionamiento y las distancias entre los amplificadores de potencial en el canal pueden mejorarse utilizando antenas directivas para proteger a la estación principal.

3.4 Sincronización por el Sistema mundial de determinación de la posición (GPS)

A fin de asegurar una sincronización en el tiempo precisa para una rápida adquisición de la estación y sincronización del amplificador de potencial, cada estación se engancha al GPS. Esto normalmente se logra mediante la sincronización con una señal sincronizada en tiempo y frecuencia al GPS³. Las transmisiones que no están enganchadas al GPS no pueden proporcionar una rápida sintonía en el receptor en el caso de la red de frecuencia única puesto que no pueden sincronizarse con otras estaciones⁴.

² $150 \mu\text{s}$ equivale a una distancia de propagación de 45 km.

³ Las estaciones enganchadas al GPS se denominan estaciones de nivel I: instalaciones de transmisión enganchada al GPS.

⁴ Nivel II: Instalaciones de transmisión no enganchada al GPS.

4 Niveles de banda lateral digital

Un ejemplo de extrapolación de amplitud de las subportadoras MDFO dentro de cada banda lateral digital con respecto a la densidad de potencia espectral deseada aparece en el Cuadro 12 para las formas de onda híbrida, híbrida ampliada y completamente digital. Los valores de densidad espectral de potencia para la forma de onda híbrida se especifican con respecto a la potencia total de la portadora MF analógica sin modular (suponiendo que toma el valor 1). Los valores de densidad espectral de potencia para la forma de onda completamente digital se especifican con respecto a la potencia total de la portadora MF analógica sin modular (suponiendo que toma el valor 1) que se habría transmitido en los modos híbrido e híbrido ampliado.

CUADRO 12

Ejemplos de extrapolación de la subportadora MDFO con respecto a la densidad espectral de potencia

Forma de onda	Modo	Bandas laterales	Notación del factor de escala de amplitud	Factor de escala de amplitud (con respecto a la potencia de MF analógica total) por subportadora	Densidad espectral de potencia ⁽¹⁾ en un ancho de banda de 1 kHz (dBc)
Híbrida	MP1	Primaria	a_{0L}/a_{0U}	$5,123 \times 10^{-3}$	-41,39
Híbrida ampliada	MP2, MP3, MP11, MP12, MP5, MP6	Primaria	a_{0L}/a_{0U}	$5,123 \times 10^{-3}$	-41,39
Completamente digital	MP5, MP6, MP12	Primaria	a_2	$1,67 \times 10^{-2}$	-31,39
	MS1-MS4	Secundaria	a_4	$5,123 \times 10^{-3}$	-41,39
		Secundaria	a_5	$3,627 \times 10^{-3}$	-44,39
		Secundaria	a_6	$2,567 \times 10^{-3}$	-47,39
		Secundaria	a_7	$1,181 \times 10^{-3}$	-50,39

⁽¹⁾ Densidad espectral de potencia relativa a la potencia FM analógica total de la señal FM analógica presente o ausente.

Para las formas de onda híbrida e híbrida ampliada, los valores indicados en los ejemplos del Cuadro 12 se eligieron de forma que la potencia media total en una banda lateral digital primaria (superior o inferior) se encuentra entre 23 dB y 21,5 dB (modo dependiente) por debajo de la potencia total de la portadora MF analógica sin modular.

Para la forma de onda completamente digital, los valores indicados en el Cuadro 12 se eligieron de forma que la potencia media total en una banda lateral digital primaria (superior o inferior) se encuentra al menos 10 dB por encima de la potencia total en las bandas laterales digitales primarias híbridas. Además, se eligieron los valores de manera que la potencia media total en las bandas laterales digitales secundarias (superiores e inferiores) se encuentre al menos 10 dB por debajo de la potencia total de las bandas laterales digitales primarias completamente digitales.

CUADRO 13

Ejemplos de potencia en banda lateral digital con respecto a la potencia digital total

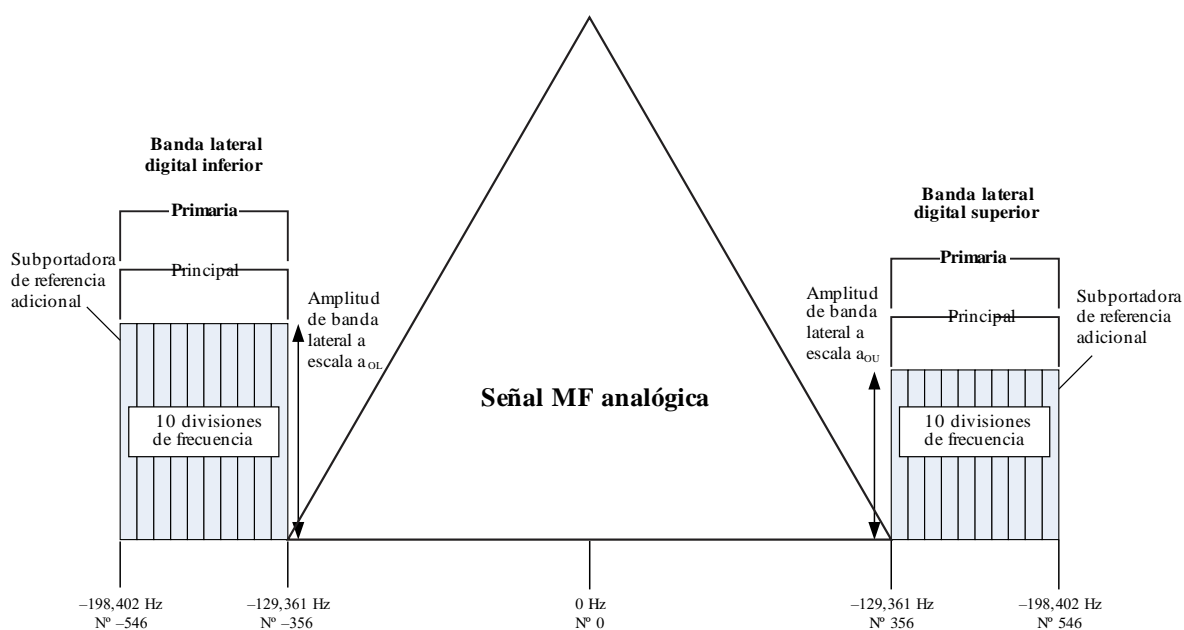
Relación de potencia analógica-digital total (dBc)				Relación de potencia analógica-digital en banda lateral (dBc)							
MP1	MP3	MP11	MP12	MP1		MP3		MP11		MP12	
				L	U	L	U	L	U	L	U
-20,0	-19,2	-18,5	-	-23,0	-23,0	-22,2	-22,2	-21,5	-21,5	-	-
-14,0	-13,2	-12,5	-	-17,0	-17,0	-16,2	-16,2	-15,5	-15,5	-	-
-10,0	-9,2	-8,5	-	-13,0	-13,0	-12,2	-12,2	-11,5	-11,5	-	-
-10,0	-9,2	-8,5	-	-11,4	-15,4	-10,6	-14,6	-9,9	-13,9	-	-
-	-	-	-14	-	-	-	-	-	-	-14	-
-	-	-	-8,5	-	-	-	-	-	-	-	-8,5

Los ejemplos de configuración del Cuadro 13 muestran la flexibilidad de que se dispone para escoger el ancho de banda y la potencia para el funcionamiento deseado. El sistema puede configurarse para satisfacer los requisitos de caudal y robustez, además de los de coexistencia. Esto puede lograrse empleando distintas configuraciones de ancho de banda, una o dos bandas laterales, definiendo la potencia total de la señal digital y fijando individualmente el nivel de potencia de cada banda lateral.

5 Espectro para el modo híbrido

La señal digital transmite en bandas laterales principales primarias en cada lado de la señal MF analógica. Cada banda lateral principal primaria comprende diez divisiones de frecuencia asignadas entre las subportadoras 356 a 545 o -356 a -545 (véanse la Fig. 28 y el Cuadro 14). Las subportadoras 546 y -546, también incluidas en las bandas laterales principales primarias, son subportadoras de referencia adicionales. La amplitud de la subportadora dentro de una banda lateral principal primaria se extrapola uniformemente mediante un factor de escala de amplitud.

FIGURA 28
Espectro de la forma de onda híbrida – Modo de servicio MP1



BS.1114-28

CUADRO 14

Resumen espectral de la forma de onda híbrida – Modo de servicio MP1

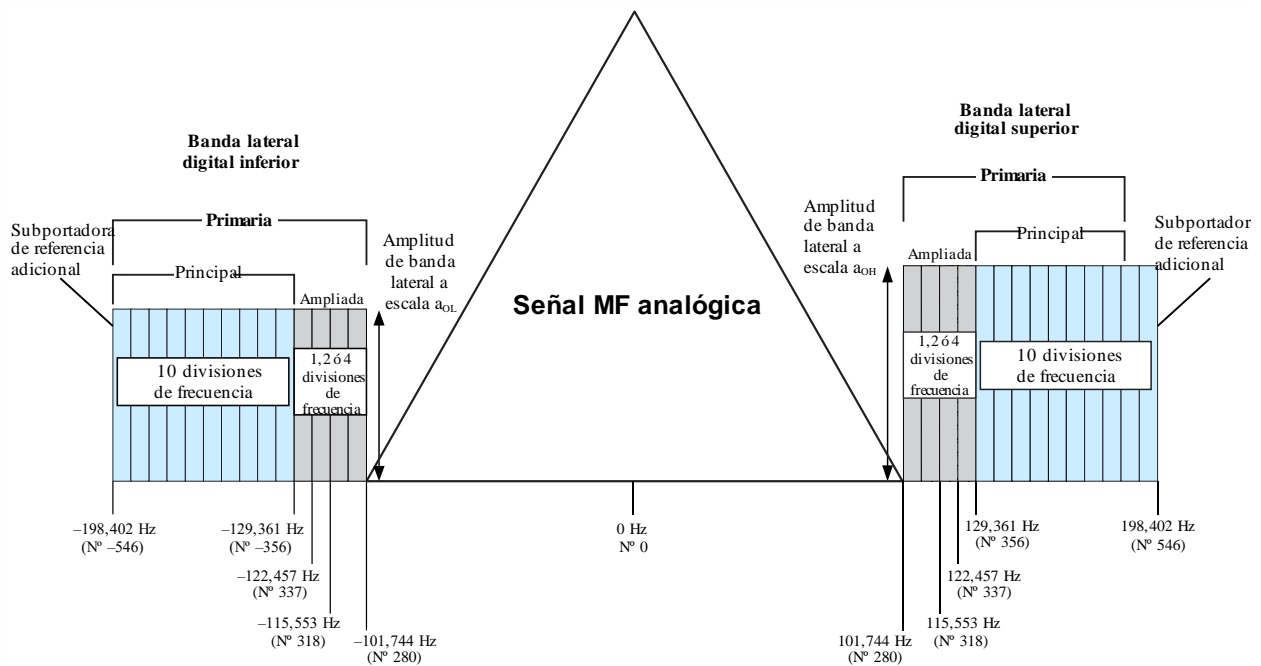
Banda lateral	Número de divisiones de frecuencia	Ordenación de las divisiones de frecuencia	Gama de sub-portadora	Frecuencias de sub portadora (desde el centro del canal) (Hz)	Factor de escala de amplitud	Amplitud de frecuencia (Hz)	Comentarios
Principal primaria superior	10	A	356 a 546	129 361 a 198 402	a _{OU}	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional 546
Principal primaria inferior	10	B	-356 a -546	-129 361 a -198 402	a _{OL}	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional -546

6 Espectro para el modo híbrido ampliado

La forma de onda híbrida ampliada se crea añadiendo bandas laterales ampliadas primarias a las bandas laterales principales primarias presentes en la forma de onda híbrida. Dependiendo del modo de servicio, pueden añadirse una, dos o cuatro divisiones de frecuencia en el borde interior de cada banda lateral principal primaria, que consta de diez divisiones de frecuencia y una subportadora de referencia adicional que abarca las subportadoras 356 a 546 o -356 a -546 . Las bandas laterales ampliadas primarias superiores incluyen las subportadoras 337 a 355 (una división de frecuencia), 318 a 355 (dos divisiones de frecuencia), o 280 a 355 (cuatro divisiones de frecuencia). Las bandas laterales ampliadas primarias inferiores incluyen las subportadoras -337 a -355 (una división de frecuencia), -318 a -355 (dos divisiones de frecuencia) o -280 a -355 (cuatro divisiones de frecuencia). Las subportadoras en una banda lateral ampliada primaria se encuentran uniformemente extrapoladas por el mismo factor de escala de amplitud, a_{0L} o a_{0U} , que la banda lateral principal primaria (véanse la Fig. 29 y el Cuadro 15).

FIGURA 29

Espectro de la forma de onda híbrida ampliada – Modos de servicio MP2, MP3, MP11, MP12, MP5 y MP6



CUADRO 15

**Resumen espectral de la forma de onda híbrida ampliada –
Modos de servicio MP2, MP3, MP11, MP12, MP5 y MP6**

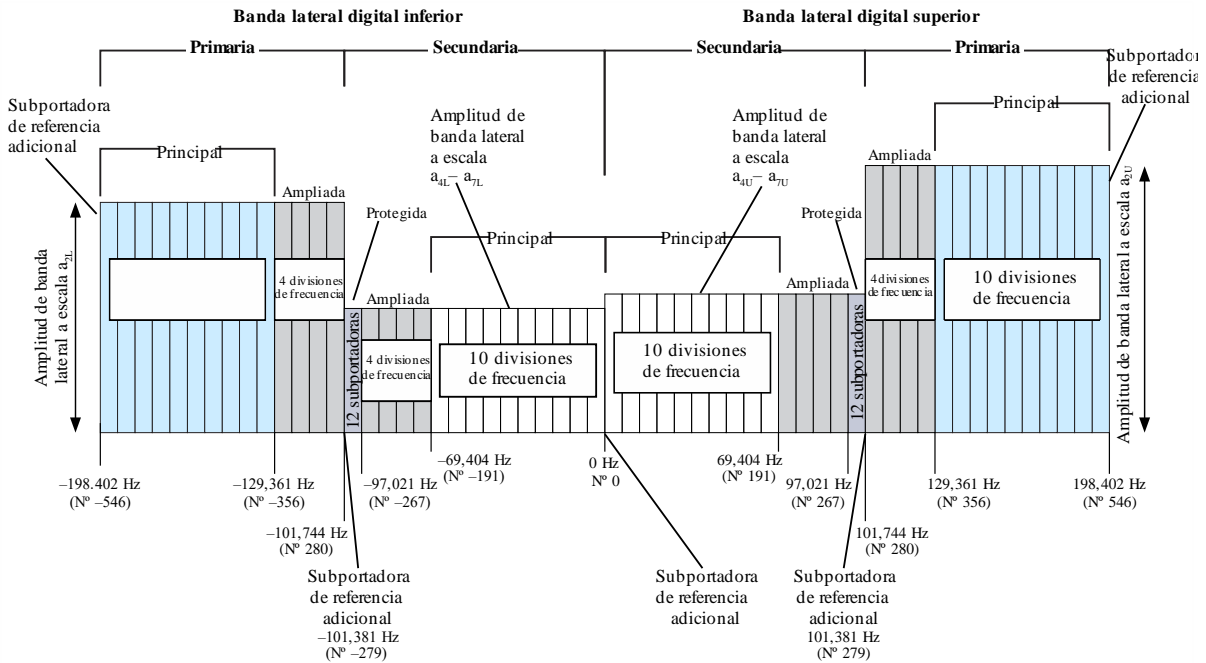
Banda lateral	Número de divisiones de frecuencia	Ordenación de las divisiones de frecuencia	Gama de subportadoras	Frecuencias de subportadora (desde el centro del canal) (Hz)	Factor de escala de amplitud	Amplitud de frecuencia (Hz)	Comentarios
Principal primaria superior	10	A	356 a 546	129 361 a 198 402	a_{0U}	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional 546
Principal primaria inferior	10	B	-356 a -546	-129 361 a -198 402	a_{0L}	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional -546
Ampliada primaria superior (1 división de frecuencia)	1	A	337 a 355	122 457 a 128 997	a_{0U}	6 540	Ninguno
Ampliada primaria inferior (1 división de frecuencia)	1	B	-337 a -355	-122 457 a -128 997	a_{0L}	6 540	Ninguno
Ampliada primaria superior (2 divisiones de frecuencia)	2	A	318 a 355	115 553 a 128 997	a_{0U}	13 444	Ninguno
Ampliada primaria inferior (2 divisiones de frecuencia)	2	B	-318 a -355	-115 553 a -128 997	a_{0L}	13 444	Ninguno
Ampliada primaria superior (4 divisiones de frecuencia)	4	A	280 a 355	101 744 a 128 997	a_{0U}	27 253	Ninguno
Ampliada primaria inferior (4 divisiones de frecuencia)	4	B	-280 a -355	-101 744 a -128 997	a_{0L}	27 253	Ninguno

7 Espectro para el modo completamente digital

La forma de onda completamente digital se construye suprimiendo la señal analógica, ampliando plenamente la anchura de banda de las bandas laterales digitales primarias y añadiendo las bandas laterales secundarias de potencia inferior en el espectro liberado por la señal analógica. En la Fig. 30 se representa el espectro de la forma de onda completamente digital.

FIGURA 30

**Espectro de la forma de onda completamente digital –
Modos de servicio MP5, MP6 y MP12, MS1 a MS4**



BS.1114-30

Además de las diez divisiones de frecuencia principales, en cada banda lateral primaria de la forma de onda completamente digital empleada existen cuatro divisiones de frecuencia ampliada. Cada banda lateral secundaria empleada también tiene diez divisiones de frecuencia principal secundaria y cuatro divisiones de frecuencia ampliada secundaria. A diferencia de las bandas laterales primarias, sin embargo, las divisiones de frecuencia principal secundaria tienen su correspondencia más cerca del centro del canal y las divisiones de frecuencia ampliadas más alejadas del centro.

Cada banda lateral secundaria también soporta una pequeña región protegida secundaria que consta de 12 subportadoras MDFO y las subportadoras de referencia 279 y -279. Las bandas laterales se denominan «protegidas» porque se encuentran situadas en la zona de espectro con menos probabilidades de resultar afectada por la interferencia analógica o digital. Una subportadora de referencia adicional se sitúa en el centro del canal (0). La ordenación de la división de frecuencia de la región protegida secundaria no se aplicará en este caso porque la región protegida secundaria no contiene divisiones de frecuencia.

Cada banda lateral principal secundaria abarca las subportadoras 1 a 190 o -1 a -190. La banda lateral ampliada secundaria superior incluye las subportadoras 191 a 266 y la banda lateral protegida secundaria superior incluye las subportadoras 267 a 278 más la subportadora de referencia adicional 279. La banda lateral ampliada secundaria inferior incluye las subportadoras -191 a -266 y la banda lateral protegida secundaria inferior las subportadoras -267 a -278 más la subportadora de referencia adicional -279. La amplitud de frecuencia total de todo el espectro completamente digital es de hasta 396 803 Hz. Las subportadoras en el interior de las bandas laterales principal primaria y ampliada primaria se extrapolan por un factor de escala de amplitud a_{2U} o a_{2L} . Las subportadoras que se encuentran dentro de las bandas laterales principal secundaria, ampliada secundaria y protegida secundaria se extrapolan uniformemente mediante un factor de escala de amplitud que tiene cuatro niveles discretos, a_{4L} - a_{7L} o a_{4U} - a_{7U} (véanse la Fig. 30 y el Cuadro 16).

CUADRO 16

**Resumen espectral de la forma de onda completamente digital –
Modos de servicio MP5, MP6 y MP12, MS1 a MS4**

Banda lateral	Número de divisiones de frecuencia	Ordenación de las divisiones de frecuencia	Gama de subportadoras	Frecuencias de subportadora (desde el centro del canal) (Hz)	Factor de escala de amplitud	Amplitud de frecuencia (Hz)	Comentarios
Principal primaria superior	10	A	356 a 546	129 361 a 198 402	a_{2Y}	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional 546
Principal primaria inferior	10	B	-356 a -546	-129 361 a -198 402	a_{2L}	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional -546
Ampliada primaria superior	4	A	280 a 355	101 744 a 128 997	a_{2U}	27 253	Ninguno
Ampliada primaria inferior	4	B	-280 a -355	-101 744 a -128 997	a_{2L}	27 253	Ninguno
Principal secundaria superior	10	B	0 a 190	0 a 69 041	$a_{4U}-a_{7U}$	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional 0
Principal secundaria inferior	10	A	-1 a -190	-363 a -69 041	$a_{4L}-a_{7L}$	68 678	Ninguno
Ampliada secundaria superior	4	B	191 a 266	69 404 a 96 657	$a_{4U}-a_{7U}$	27 253	Ninguno
Ampliada secundaria inferior	4	A	-191 a -266	-69 404 a -96 657	$a_{4L}-a_{7L}$	27 253	Ninguno
Protegida secundaria superior	No aplicable	No aplicable	267 a 279	97 021 a 101 381	$a_{4U}-a_{7U}$	4 360	Incluye la subportadora de referencia adicional 279
Protegida secundaria inferior	No aplicable	No aplicable	-267 a -279	-97 021 a -101 381	$a_{4L}-a_{7L}$	4 360	Incluye la subportadora de referencia adicional 279

8 Límites de las emisiones

La ajustabilidad del nivel de potencia en banda lateral y la confirmación espectral de las subportadoras digitales permiten ajustar precisamente la densidad espectral de potencia al entorno de funcionamiento. Es posible configurar la densidad para que se ajuste adecuadamente a los límites de emisión que rigen en el emplazamiento operativo, a las condiciones especiales de coexistencia, al modo operativo y a las capacidades del equipo de radiodifusión empleado. Se presentan ejemplos de configuración para distintos entornos operativos.

8.1 Límites de las emisiones para funcionamiento IBOC con la máscara analógica utilizada en la Región 2

Los niveles de potencia de todas las subportadoras híbridas y completamente digitales están muy por debajo del contorno de las emisiones en MF. El Cuadro 17 contiene un ejemplo resumido de contorno correspondiente a una administración, en particular el Code of Federal Regulations (CFR) de Estados Unidos de América, Título 47, § 73.317.

CUADRO 17

Límites de la emisión en función del desplazamiento respecto a la frecuencia de la portadora para canales MF en Estados Unidos de América

Desplazamiento respecto a la frecuencia portadora (kHz)	Densidad espectral de potencia relativa a la portadora MF analógica no modulada (dBc/kHz) ⁽¹⁾
120 a 240	-25
240 a 600	-35
Mayor de 600	El menor de los valores -80, o $-43 - 10 \log_{10} x$, donde x es la potencia (W) respecto a la potencia total de la portadora de salida del transmisor no modulado

⁽¹⁾ Las mediciones se efectúan promediando la densidad espectral de potencia en una anchura de banda de 1 kHz para un intervalo de tiempo de 10 s.

En la Fig. 38 se describen los límites de las emisiones de forma de onda híbrida e híbrida ampliada de todas las fuentes, expresados en dB con respecto a la potencia de la portadora analógica no modulada en un ancho de banda de 1 kHz. Esta medición de la emisión incluye todas las fuentes y comprende:

- el ruido de fase del excitador IBOC, y
- los productos de intermodulación del transmisor. En los Cuadros 17, 18, 19 y 20 se han ajustado los niveles a fin de describir el nivel por debajo del contorno de emisiones de 0 dBc.

CUADRO 18

Límites de potencia de portadora digital IBOC⁽¹⁾

Modo híbrido	Modo plenamente digital	
	Portadoras de programa principal	Portadoras de servicios auxiliares secundarios
-31,39	-31,39	-36,39

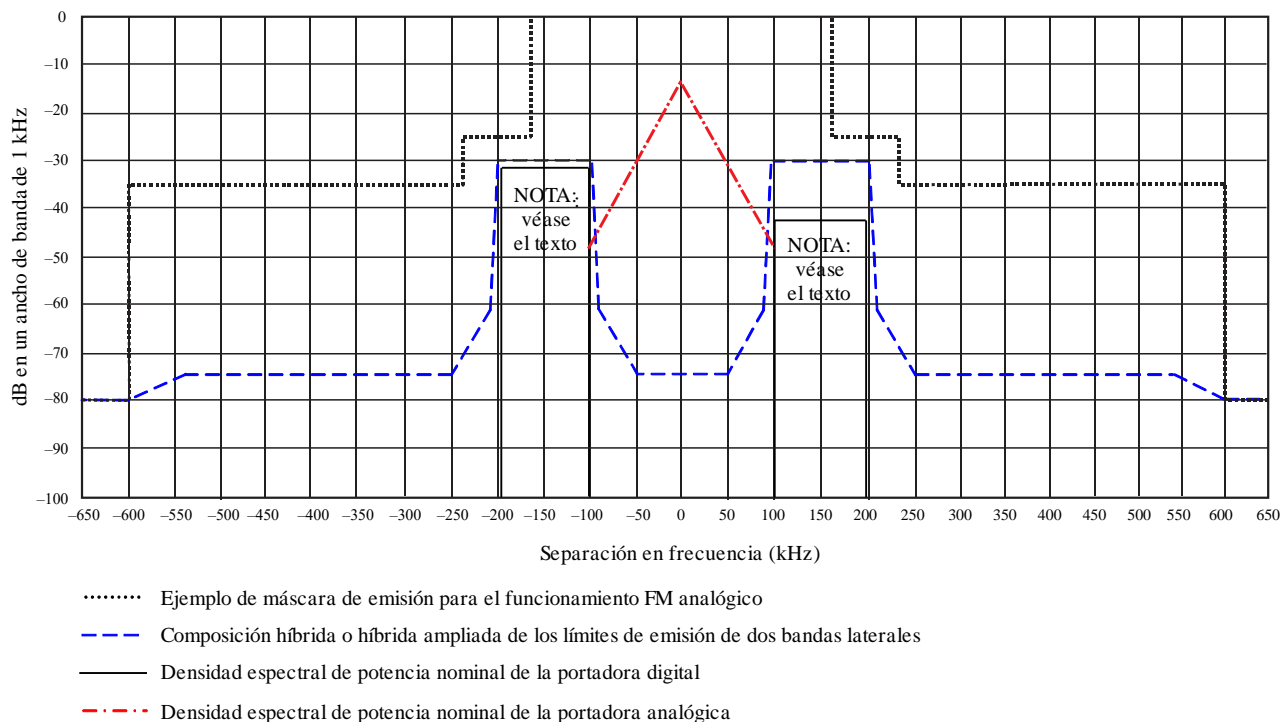
⁽¹⁾ Densidad espectral de potencia nominal en una anchura de banda de 1 kHz con respecto al contorno CFR de 0 dBc.

8.1.1 Límites de la emisión para funcionamiento en modo híbrido

El ruido de todas las fuentes, excluidas las frecuencias retiradas de la portadora entre 100 y 200 kHz, incluido el ruido de fase del excitador IBOC y de los productos de intermodulación, se ajusta a los límites establecidos en la Fig. 31 y el Cuadro 19. Los requisitos se resumen a continuación, donde dBc se expresa con relación a la máscara FM analógica ejemplificada en el Cuadro 17 en un ancho de banda de 1 kHz de las bandas laterales digitales.

NOTA – Las bandas laterales superior e inferior reales pueden tener niveles de potencia distintos. En ciertas configuraciones puede emplearse sólo una banda lateral.

FIGURA 31
Límites de la emisión en modo híbrido IBOC*



BS.1114-31

CUADRO 19

Límites de la emisión en modo híbrido

Separación en frecuencia con respecto a la portadora (kHz)	Nivel (dBc/kHz)
0-50	-74,39
92,5	-61,39
100-200	-30
207,5	-61,39
250	-74,39
>600	-80

8.1.2 Límites de la emisión para el funcionamiento en modo plenamente digital

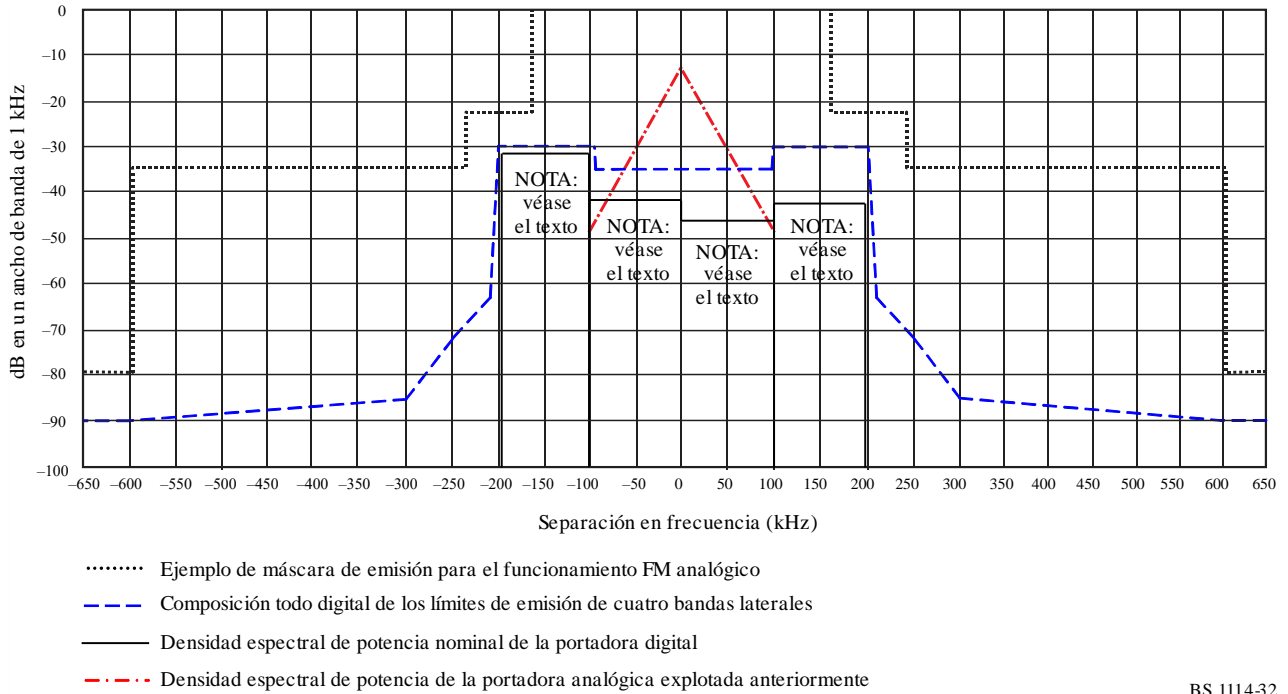
El ruido de todas las fuentes, para frecuencias separadas más de 200 kHz de la portadora incluido el ruido de fase del excitador IBOC y de los productos de intermodulación, se ajustarán a los límites establecidos en la Fig. 32 y el Cuadro 20. En los modos completamente digitales presentes anteriormente (y ahora eliminados), la señal FM analógica puede sustituirse por bandas laterales adicionales (secundarias). No obstante, se sigue considerando la máscara analógica FM al configurar los niveles de potencia de las bandas laterales. A continuación se resumen los requisitos,

expresándose dBc con respecto a la máscara FM analógica ejemplificada en el Cuadro 21 en un ancho de banda de 1 kHz de las bandas laterales digitales.

NOTA – Las bandas laterales superior e inferior reales pueden tener niveles de potencia distintos. En determinadas configuraciones puede utilizarse sólo una banda lateral.

FIGURA 32

Límites de la emisión plenamente digital*



BS.1114-32

Los requisitos se resumen a continuación, donde dBc está en relación a la máscara FM analógica ejemplificada en el Cuadro 17 en un ancho de banda de 1 kHz de las bandas laterales digitales.

CUADRO 20

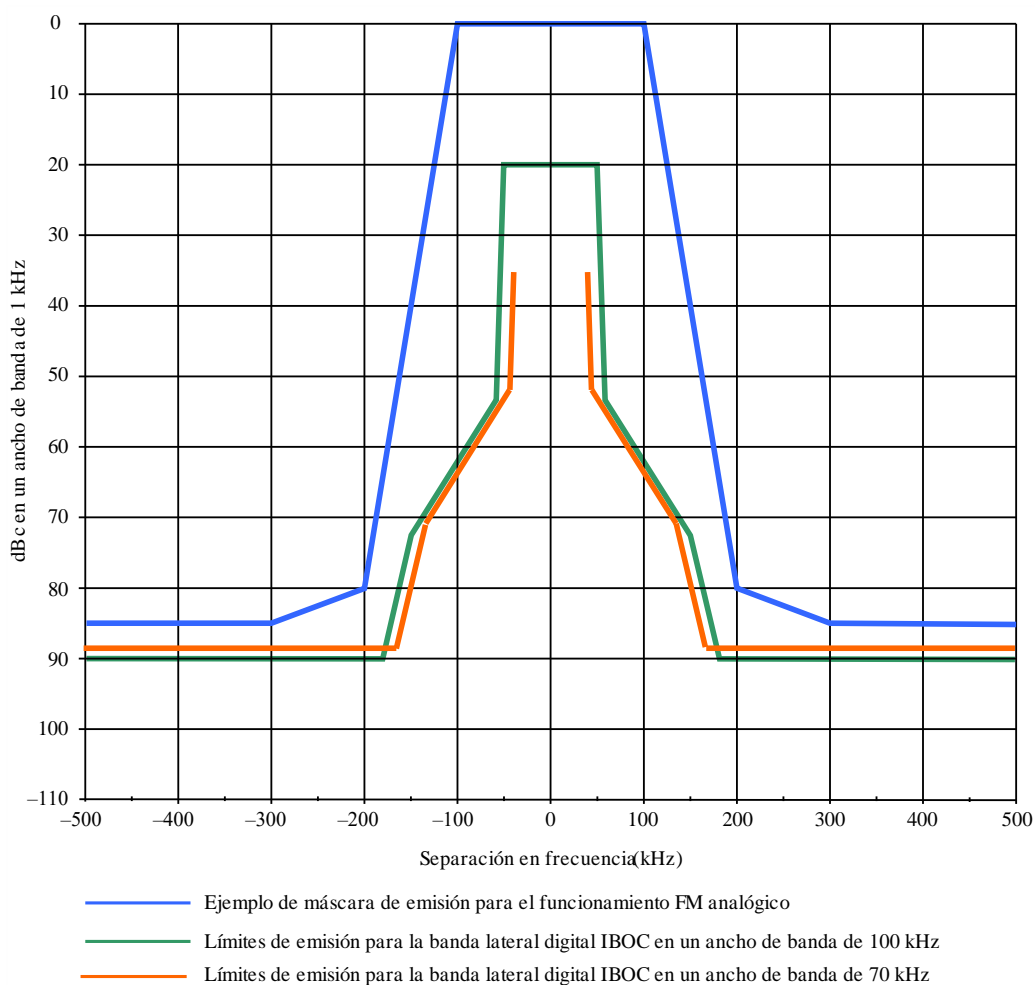
Límites de las emisiones plenamente digitales

Separación en frecuencia desviación con respecto a la portadora (kHz)	Nivel (dBc/kHz)
0-100	-35
100-200	-30
207,5	-63
250	-72
300	-85
>600	-90

8.2 Límites de las emisiones para el funcionamiento IBOC con la máscara analógica utilizada en la Región 1

En ETSI EN 302 018-1 se da un ejemplo de máscara de una administración europea. La confirmación espectral ajustable de las subportadoras IBOC se configura para satisfacer los límites de las emisiones y la banda lateral digital se ajusta a la máscara. En la Fig. 33 se ejemplifican las configuraciones de los límites de emisión en banda lateral IBOC con respecto a la máscara de emisión FM analógica de esa administración. En los Cuadros 21 y 22 se detallan los límites de las emisiones, expresándose dBc con respecto a la máscara FM analógica del ejemplo.

FIGURA 33
Límites de las emisiones en banda lateral IBOC*



CUADRO 21

**Límites de las emisiones en banda lateral
en un ancho de banda de 100 kHz**

Separación en frecuencia con respecto a la portadora (kHz)	Nivel (dBc/kHz)
50 kHz	-20
57,5 kHz	-53
100 kHz	-62
150 kHz	-72,5
181 kHz	-90
500 kHz	-90

CUADRO 22

**Límites de las emisiones en banda lateral IBOC
en un ancho de banda de 70 kHz**

Separación en frecuencia con respecto a la portadora (kHz)	Nivel (dBc/kHz)
35 kHz	-18,5
42,5 kHz	-51,5
100 kHz	-62
135 kHz	-71
166 kHz	-88,5
500 kHz	-88,5

9 Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio

A continuación se resumen los ensayos de laboratorio del Sistema Digital C. Los perfiles de desvanecimiento utilizados se indican de la siguiente manera: urbano rápido (UF, *urban fast*), urbano lento (US, *urban slow*), rural rápido y terreno con obstáculos (TO, *terrain-obstructed*) rápido, y se aplicaron independientemente de la señal deseada y de cada una de las fuentes de interferencia. El nivel de interferencia está dado en unidades de dB_{des} , que se definen en dB con relación a la potencia total de la señal híbrida deseada. Para cada ensayo de proporción de errores en los bloques, el Cuadro 23 enumera las posibles situaciones de interferencia utilizadas en los ensayos, la relación C_d/N_0 (dB/Hz), el perfil de desvanecimiento, el nivel de la interferencia y la proporción de errores en los bloques medida.

CUADRO 23

Resultado de los ensayos de calidad de la radiodifusión sonora digital con funcionamiento IBOC híbrido en MF

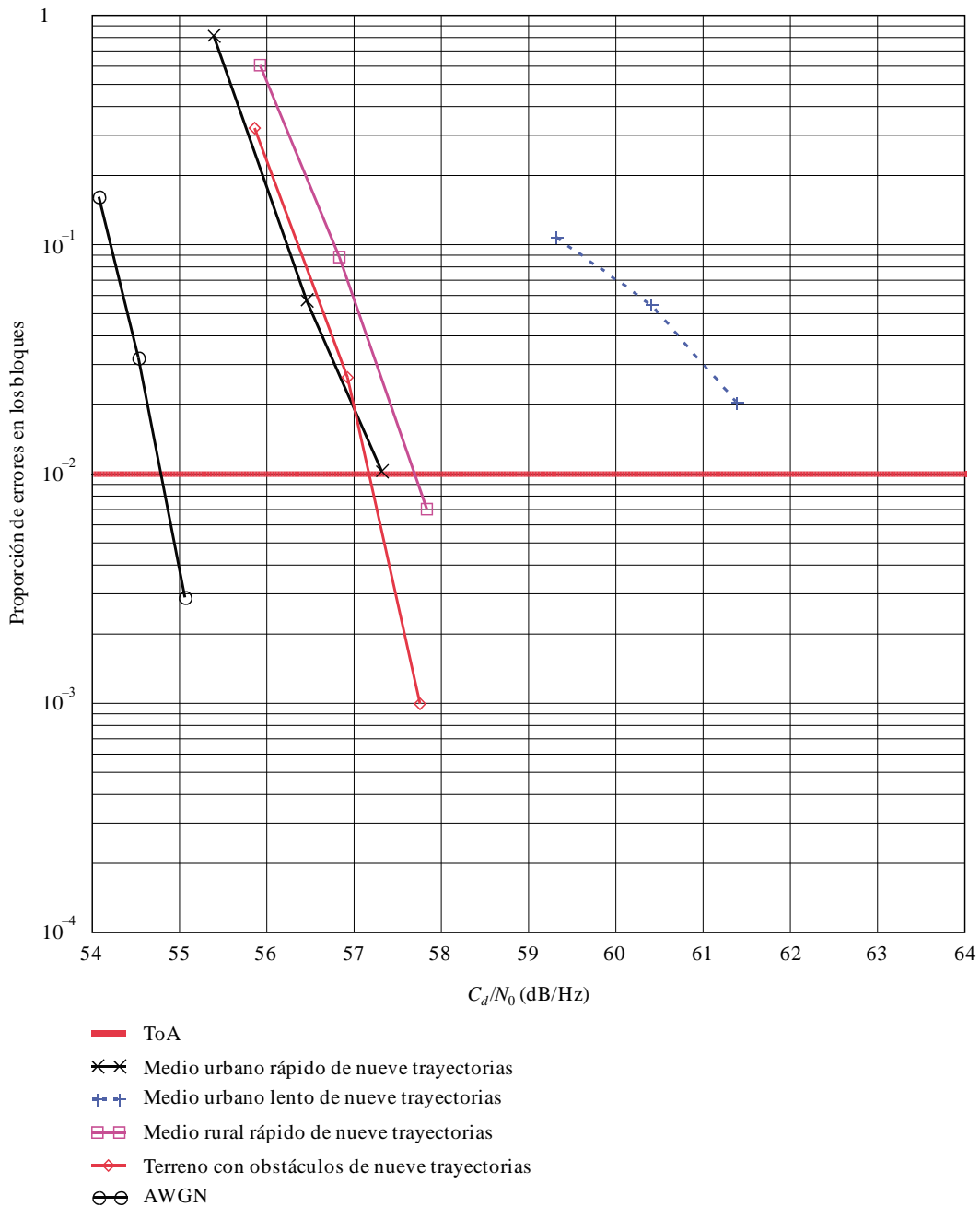
Ensayos	Parámetros de entrada					Mediciones		
						Calidad digital	Evaluación subjetiva analógica en el ToA digital	
	C_d/N_0 (dB/Hz)	Desvanecimiento	Cocanal (dB _{des})	Primer adyacente (dB _{des})	Segundo adyacente (dB _{des})	Proporción de errores en los bloques	Fichero	Degradación sonora subjetiva
Ruido gaussiano (sin desvanecimiento/sin interferencia)	54,1					0,16	Audio1.wav	Audible
	54,5					0,032		
	55,1					0,0029		
Desvanecimiento de nueve trayectorias	55,4	UF				0,8	Audio2.wav	Audible
	56,4					0,056		
	57,3					0,012		
	59,3	US				0,106	Audio3.wav	Audible
	60,4					0,054		
	61,4					0,0202		
	55,9	Rural rápido				0,6	Audio4.wav	Audible
	56,8					0,087		
	57,8					0,007		
	55,9	TO				0,317	Audio5.wav	Audible
	56,9					0,026		
	57,8					0,001		
Interferencia del primer canal adyacente	61,5	UF		-6,0		0,075	Audio6.wav	Audible
	62,4					0,045		
	63,4					0,00842		
	59,4	UF		-18,0		0,077	Audio7.wav	Audible
	60,3					0,012		
	61,3					0,006		
	58,2	UF		-24,0		0,0735	Audio8.wav	Audible
	59,2					0,0109		
	60,1					0,005		
	57,2	UF		-30,0		0,0287	Audio9.wav	Audible
58,2					0,0082			
Interferencia del segundo canal adyacente	57,9	UF			20,0	0,1	Audio10.wav	Audible
	58,9					0,018		
	60,5					0,00085		
Interferencia cocanal	60,2	UF	-10,0			0,013	Audio11.wav	Más allá del punto de ruptura
	61,3					0,0097		
	65,3					0,00014		
	58,4	UF	-20,0			0,013	Audio12.wav	Audible
	59,3					0,0011		
	60,4					0,00035		

9.1 Características con ruido gaussiano

Este ensayo mide un límite superior de las características del sistema y graba un sonido analógico en el límite de audibilidad (ToA, *threshold of audibility*) digital en presencia de ruido gaussiano y sin interferencia ni desvanecimiento de Rayleigh. Las características se indican en las curvas de proporción de errores en los bloques de la Fig. 34 y se resumen en el Cuadro 23. Este Cuadro indica que justo antes de alcanzar el ToA digital, la calidad del sonido analógico se degrada de forma audible.

FIGURA 34

Resultados de la proporción de errores en los bloques del sistema híbrido ante diferentes tipos de desvanecimiento de nueve trayectorias y ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN)

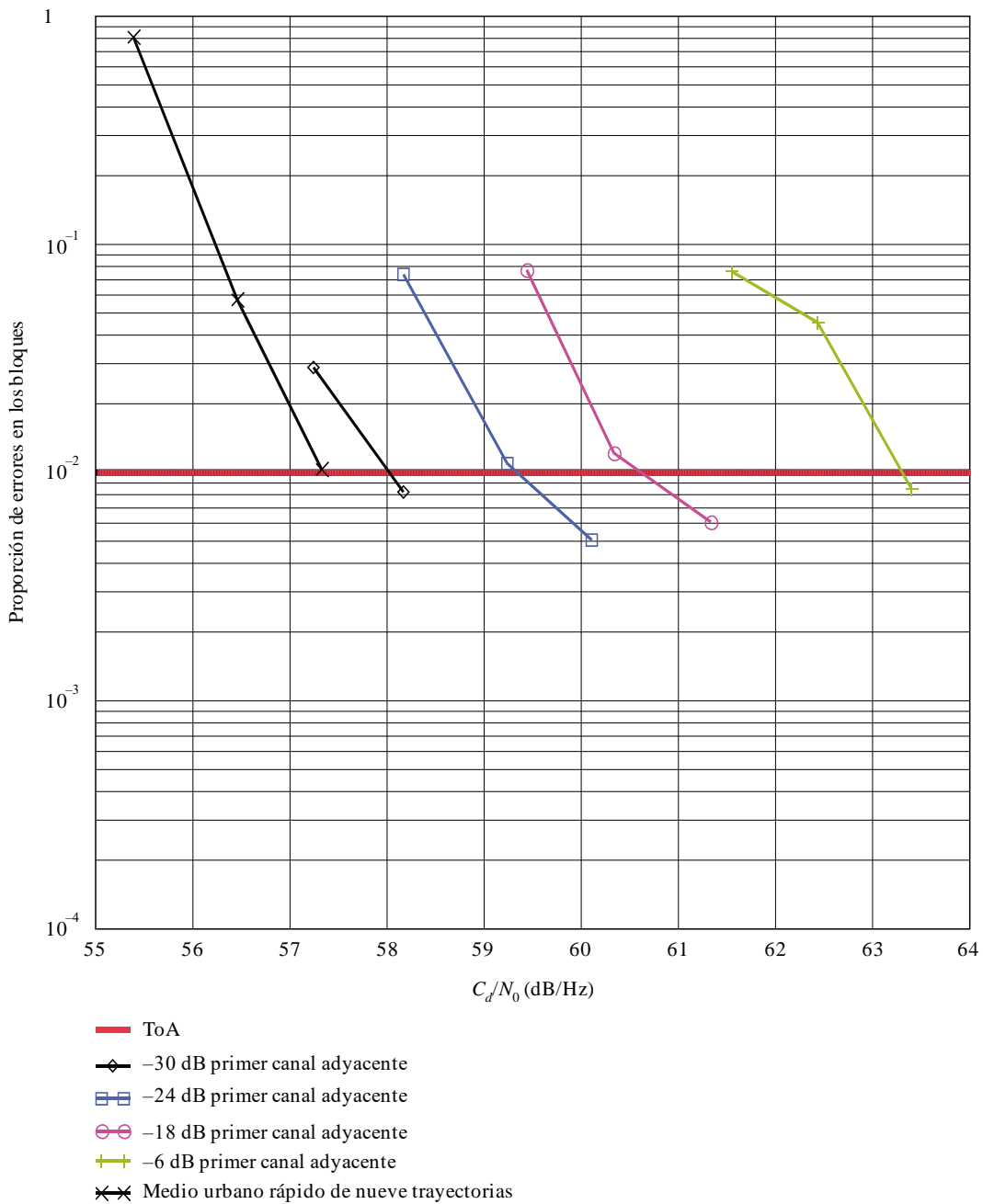


9.2 Característica con desvanecimiento de Rayleigh

Este ensayo mide las características del sistema y graba un sonido analógico en el ToA en presencia de ruido de gaussiano y de diversos tipos de desvanecimiento de Rayleigh. Las características se indican en las curvas de proporción de errores en los bloques de la Fig. 35 y se resumen en el Cuadro 23. Los resultados muestran una insensibilidad al perfil de desvanecimiento, excepto en el caso de desvanecimiento urbano lento, que produce desvanecimientos de la señal de muy larga duración. El perfil de desvanecimiento urbano lento produce interrupciones particularmente molestas en las transmisiones analógicas existentes.

FIGURA 35

Resultados de la proporción de errores en los bloques de un sistema híbrido en un medio UF de nueve trayectorias de desvanecimiento con una fuente de interferencia de primer canal adyacente de desvanecimiento independiente



9.2.1 Urbano rápido (UF)

El Cuadro 23 da una evaluación subjetiva del sonido analógico e indica que, justo antes de alcanzar el ToA digital, la calidad del sonido analógico se degrada de forma audible.

9.2.2 Urbano lento (US)

El Cuadro 23 da una evaluación subjetiva del sonido analógico e indica que, justo antes de alcanzar el ToA digital, la calidad del sonido analógico se degrada de forma audible.

9.2.3 Rural rápido

El Cuadro 23 da una evaluación subjetiva del sonido analógico e indica que, justo antes de alcanzar el ToA digital, la calidad del sonido analógico se degrada de forma audible.

9.2.4 Terreno con obstáculos (TO) rápido

El Cuadro 23 da una evaluación subjetiva del sonido analógico e indica que, justo antes de alcanzar el ToA digital, la calidad del sonido analógico se degrada de forma audible.

9.3 Características en presencia de interferencia con desvanecimiento independiente

Este ensayo mide las características del sistema y del sonido analógico grabado con ruido gaussiano y desvanecimiento de Rayleigh, en presencia de fuentes de interferencia IBOC híbridas de desvanecimiento independiente en el primer canal adyacente, el segundo canal adyacente y cocanal. Cada fuente de interferencia se pasó por el mismo tipo de canal con desvanecimiento de Rayleigh que la señal deseada; no obstante, todas las señales fueron objeto de desvanecimiento independiente por lo que no se estableció una correlación entre ellas.

9.3.1 Interferencia única de primer canal adyacente

Convenientemente espaciadas, las estaciones de Clase B están protegidas hasta el contorno de 54 dBu de las interferencias de primer canal adyacente superiores a 48 dBu en el 50% de los emplazamientos durante el 10% del tiempo. Como consecuencia, se efectuaron ensayos con fuentes de interferencia híbridas de primer canal adyacente de diversas potencias, hasta un nivel a 6 dB por debajo del correspondiente a la señal deseada. Los resultados de la proporción de errores en los bloques se indican en la Fig. 42 y se resumen en el Cuadro 23. Como cabía esperar, la calidad se degrada a medida que el nivel de interferencia aumenta de $-30 \text{ dB}_{\text{des}}$ a $-6 \text{ dB}_{\text{des}}$. No obstante, el algoritmo de cancelación del primer canal adyacente utilizado en el receptor, garantiza una calidad superior del sistema, incluso con una fuente de interferencia de alto nivel de primer canal adyacente en un medio urbano de desvanecimiento rápido. El Cuadro 23 proporciona la evaluación subjetiva del sonido analógico e indica que justo antes de alcanzar el ToA digital, la calidad del sonido analógico se degrada de forma audible para todos los niveles de los primeros canales adyacentes.

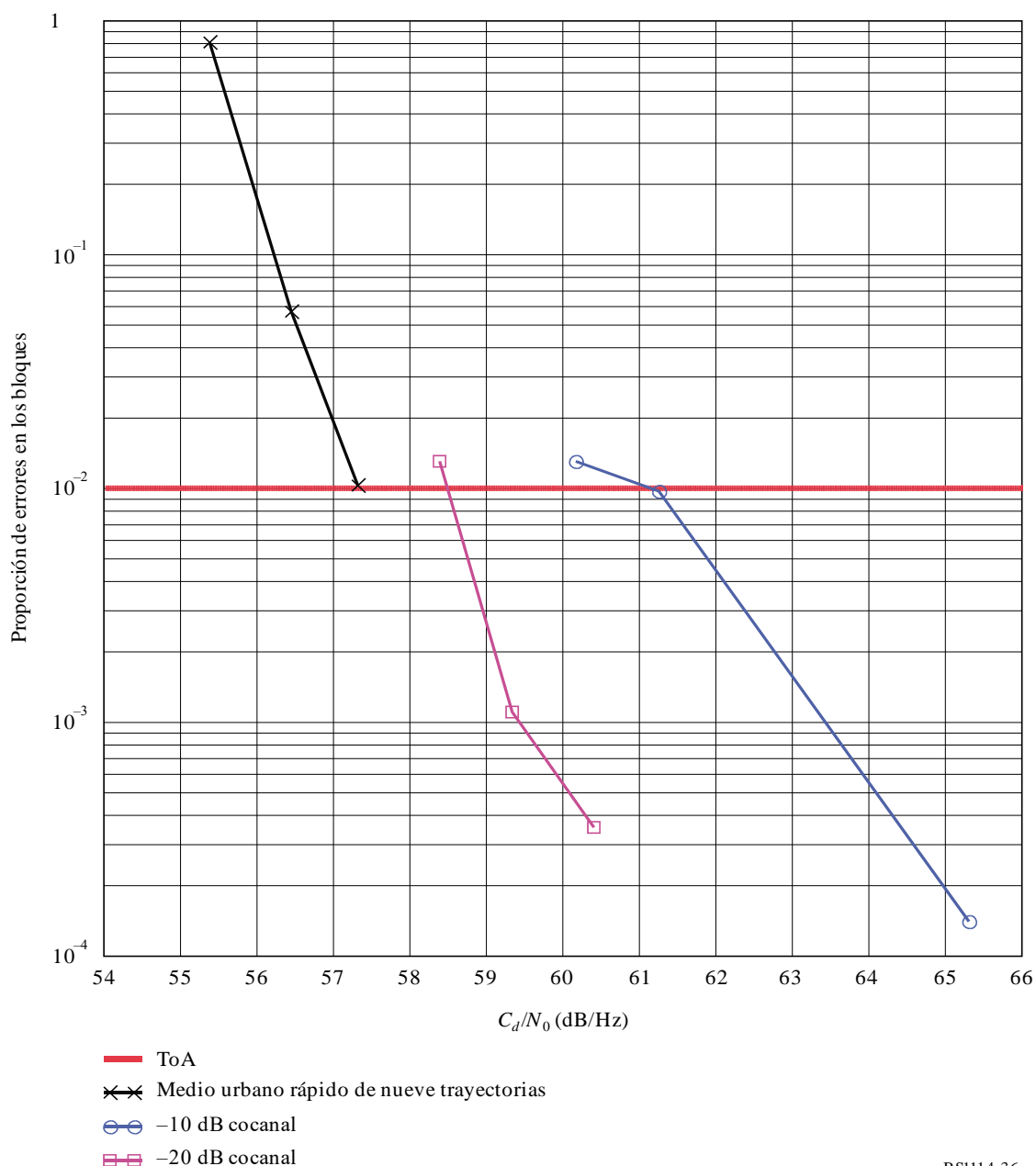
9.3.2 Interferencia única cocanal

Convenientemente espaciadas, las estaciones de Clase B están protegidas hasta el contorno de 54 dBu de las interferencias cocanal superiores a 34 dBu en el 50% de los emplazamientos durante el 10% del tiempo. Esto significa que el 90% del tiempo para un contorno de 54 dBu, la relación D/U supera los 20 dB. En base a esta información, se pueden efectuar diversas observaciones sobre el carácter de la interferencia cocanal. Una interferencia cocanal híbrida debe tener un efecto mínimo en la calidad de la señal digital deseada, ya que normalmente su potencia será por lo menos 20 dB más baja que la de las bandas laterales digitales en el contorno protegido analógico de 54 dBu. Esto se ha verificado mediante ensayos de laboratorio. Se aplicó una fuente de interferencia cocanal híbrida de $-20 \text{ dB}_{\text{des}}$ a la señal híbrida deseada en un medio urbano de desvanecimiento rápido. Los resultados de la proporción de errores en los bloques se indican en la Fig. 35 y se resumen en el Cuadro 23. La Fig. 36

indica que si se añade una fuente de interferencia cocanal híbrida de $-20 \text{ dB}_{\text{des}}$ la calidad se degrada solamente en aproximadamente 1 dB. La Fig. 35 muestra asimismo que, incluso si el nivel de la fuente de interferencia cocanal se aumentase a $-10 \text{ dB}_{\text{des}}$, la degradación suplementaria estaría limitada a menos de 3 dB. El Cuadro 23 proporciona la evaluación subjetiva del sonido analógico e indica que justo antes de alcanzar el ToA digital, la calidad del sonido analógico se degrada de forma audible para una fuente de interferencia cocanal de $-20 \text{ dB}_{\text{des}}$. Para una fuente de interferencia cocanal de $-10 \text{ dB}_{\text{des}}$, la calidad del sonido analógico se degrada más allá del punto de ruptura antes de que el sonido digital alcance su ToA.

FIGURA 36

Resultados de la proporción de errores en los bloques de un sistema híbrido con una fuente de interferencia de diez canales de desvanecimiento independiente

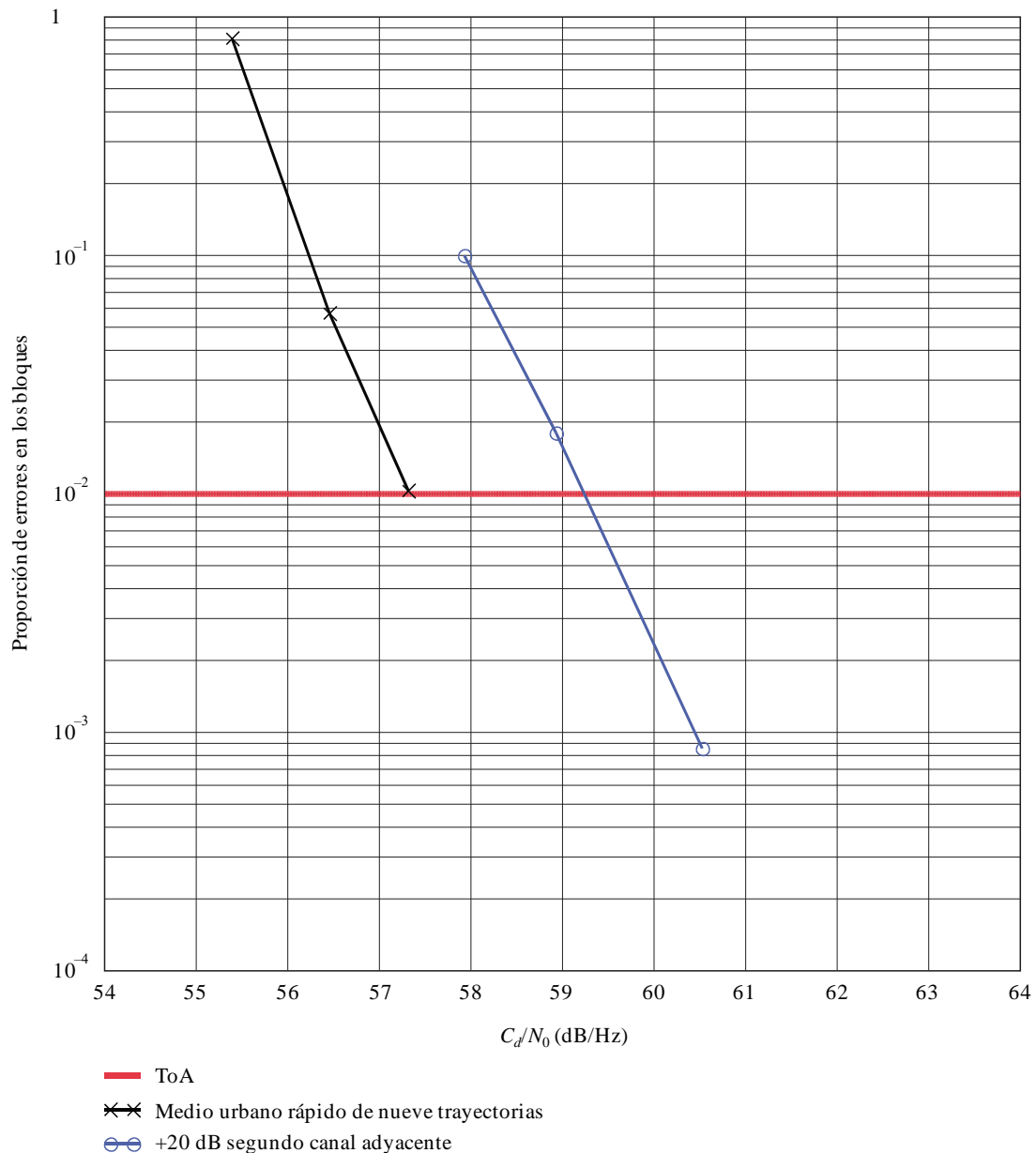


9.3.3 Interferencia única de segundo canal adyacente

Una fuente de interferencia de segundo canal adyacente IBOC híbrido puede tener un efecto leve en la calidad digital, ya que los lóbulos laterales de la interferencia pueden difundirse en las bandas laterales digitales deseadas. Este efecto se ha cuantificado mediante ensayos de laboratorio. Se aplicó una fuente de interferencia de segundo canal adyacente híbrido de +20 dB único a la señal híbrida deseada en un medio urbano de desvanecimiento rápido. Los resultados de la tasa de errores en los bloques se indican en la Fig. 44 y se resumen en el Cuadro 23. La Fig. 37 muestra que si se añade una fuente de interferencia de segundo canal adyacente híbrido de +20 dB la calidad se degrada aproximadamente en 2 dB. El Cuadro 23 proporciona la evaluación subjetiva del sonido analógico e indica que justo antes de alcanzar el ToA digital, la calidad del sonido analógico se degrada de forma audible.

FIGURA 37

Resultados de la proporción de errores en los bloques de un sistema híbrido con una fuente de interferencia de segundo canal adyacente de desvanecimiento independiente



9.4 Conclusiones

Los registros indican que, en todos los medios en que se realizaron ensayos, en el punto donde la señal digital comienza a degradarse, la señal de audio analógica correspondiente presenta a su vez una degradación audible. Ello significa que la señal de audio analógica se degrada a niveles de la señal en que la degradación de audio digital aún no es perceptible. Como consecuencia, hasta alcanzar el ToA, la calidad de la señal digital supera la calidad de la señal analógica existente, y cuando finalmente la señal digital comienza a presentar una degradación, el receptor IBOC pasará automáticamente a su señal analógica. Por consiguiente, la calidad del Sistema Digital C es superior a la del actual servicio MF analógico.

Anexo 5

Sistema Digital G

1 Introducción

El Sistema Digital G, también conocido como sistema DRM, ha sido diseñado para utilizarlo con cualquier frecuencia en las bandas de ondas métricas, con restricciones de canalización y condiciones de propagación variables en estas bandas. Para satisfacer estas restricciones de funcionamiento, se dispone de diferentes modos de transmisión. Un modo de transmisión queda definido por los parámetros de transmisión clasificados en dos tipos:

- parámetros relativos a la anchura de banda de la señal;
- parámetros relativos a la eficacia de la transmisión.

El primer tipo de parámetro define el valor total de la anchura de banda de la frecuencia para una transmisión. Los parámetros relacionados con la eficacia permiten llegar a una solución de compromiso entre la capacidad (velocidad binaria útil) y la robustez frente al ruido, el multitrayecto y el efecto Doppler.

El Sistema Digital G está normalizado por el ETSI como ES 201 980V3.1.1 (2009.08) «Digital Radio Mondiale (DRM); System specification».

El Sistema Digital G tiene un cierto número de modos de robustez, cada uno diseñado para diferentes bandas y condiciones de propagación, como ilustra el Cuadro 24.

CUADRO 24

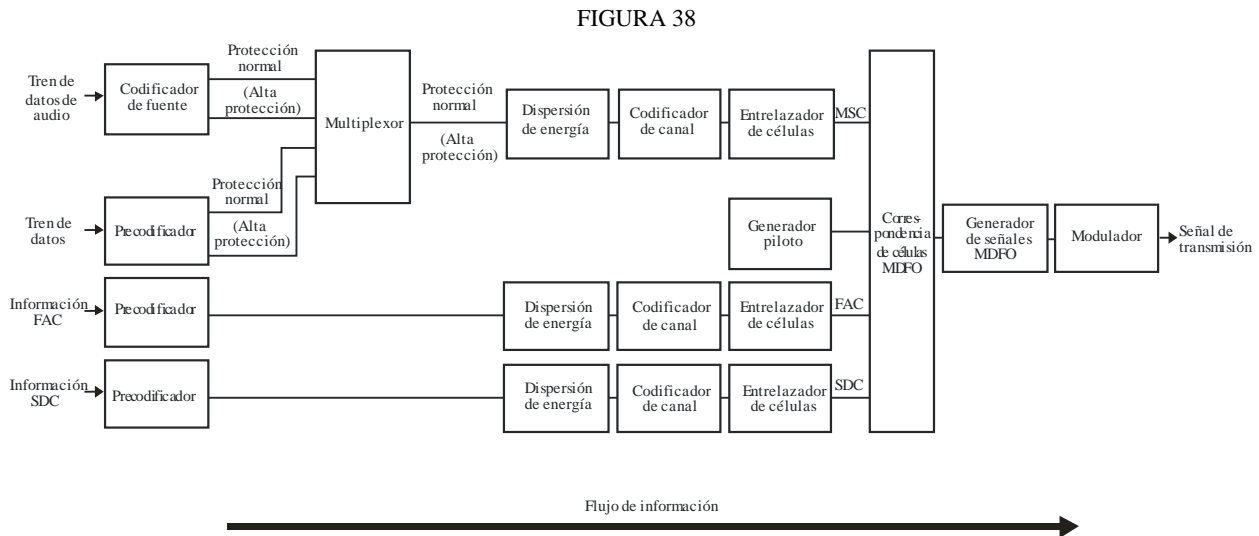
Utilización de modos de robustez

Modo de robustez	Condiciones de propagación típicas
A	Canales gaussianos con pequeño desvanecimientos
B	Canales selectivos en tiempo y frecuencia con dispersión por retardo mayor
C	Como el modo de robustez B, pero con mayor dispersión por efecto Doppler
D	Como el modo de robustez B, pero con importante retardo y dispersión por efecto Doppler
E	Canales selectivos en tiempo y frecuencia

DRM+ presenta el Modo E de robustez y está diseñado para todas las bandas de ondas métricas y es el objeto de esta Recomendación como Sistema Digital G.

2 Arquitectura del sistema

La Fig. 38 representa el flujo general de las diferentes clases de información (audio, datos, etc.) y no hace distinciones entre los diversos servicios que pueden cursar una o más clases de información.



BS.1114-38

La Fig. 38 describe el flujo general de las diferentes clases de información (audio, datos, ...) desde el codificador a la izquierda hasta el transmisor a la derecha. Aunque no se incluye un diagrama del receptor, representaría la inversa del proceso descrito por este diagrama.

- a la izquierda hay dos clases de información de entrada: el audio y los datos codificados que se combinan en el multiplexor de servicio principal, y los canales de información que no pasan por el multiplexor y se conocen como FAC y SDC;
- el codificador de la fuente de audio y los precodificadores de datos aseguran la adaptación de los trenes de entrada al formato digital adecuado. Su salida puede comprender dos partes que exigen dos niveles distintos de protección en el consiguiente codificador de canal;
- el multiplexor combina los niveles de protección de todos los servicios de audio y datos;
- la dispersión de energía proporciona un complemento determinístico y selectivo de los bits para reducir la posibilidad de que los patrones sistemáticos den lugar a una regularidad no deseada en la señal transmitida;
- el codificador de canal añade información redundante como medio de corrección de errores y define la correspondencia entre la información codificada digitalmente y las células MAQ. El sistema tiene la capacidad, si así lo desea el organismo de radiodifusión, de cursar dos categorías de «bits», protegiendo más intensamente una categoría que otra;
- el entrelazado de células dispersa células MAQ consecutivas en una secuencia de células separadas de forma cuasialeatoria en tiempo y frecuencia, para proporcionar un elemento adicional de robustez en la transmisión del audio en los canales dispersivos de tiempo-frecuencia;
- el generador piloto inyecta información que permite al receptor obtener información de la ecualización de canal, posibilitando de esa manera una demodulación coherente de la señal;
- el dispositivo de correspondencia de células MDFO recopila las distintas clases de células y las ubica en una retícula de tiempo-frecuencia;

- el generador de señal MDFO transforma cada conjunto de células con el mismo índice de tiempo en una representación de la señal en el dominio del tiempo, que contiene varias portadoras. El símbolo MDFO en el dominio del tiempo completo se obtiene a partir de esta representación en el dominio del tiempo insertando un intervalo de guarda – una repetición cíclica de una parte de la señal;
- el modulador convierte la representación de la señal MDFO en una señal analógica que se transmitirá a través de un transmisor/antena por el aire. Esta operación supone una conversión en frecuencia ascendente, una conversión digital a analógica y un filtrado de forma que la señal emitida cumpla los requisitos espectrales señalados por el UIT-R.

3 Codificación del audio, mensajes de texto y paquetes de datos

3.1 Audio

Teniendo en cuenta las restricciones de la reglamentación de los canales de radiodifusión en las bandas de ondas métricas y los parámetros del esquema de codificación y modulación aplicado, la velocidad binaria disponible para la codificación del audio se encuentra entre 37 kbit/s y 186 kbit/s.

A fin de proporcionar una calidad óptima a una determinada velocidad binaria, el sistema ofrece diferentes esquemas de codificación de audio:

- un subconjunto de MPEG-4 AAC (codificación avanzada de audio) incluidas las herramientas de la robustez frente a errores para la radiodifusión de audio genérica monofónica y estereofónica;
- replicación de banda espectral (SBR) que es una herramienta de mejora de la codificación del audio que permite lograr la anchura de banda de audio completa a bajas velocidades binarias;
- estereofonía paramétrica (PS), que es una herramienta de mejora de la codificación del audio relativa a la SBR que permite la codificación estereofónica a bajas velocidades binarias;
- MPEG panorámica (MPS), que es una herramienta de mejora de la codificación del audio que permite la codificación multicanal a bajas velocidades binarias.

La AAC se optimiza al máximo en términos de eficacia de codificación y de acuerdo con la teoría de la información ello significa que la entropía de los bits es casi igual. Si esta hipótesis se cumple, la codificación de canal debe optimizarse de forma que se minimice la cantidad total de errores residuales, normalmente conocida como proporción de bits erróneos (BER). Este criterio puede satisfacerse mediante un método de codificación de canal denominado protección contra errores uniforme (PEE) en el que todos los bits de información se protegen con la misma cantidad de redundancia.

Sin embargo, los efectos audibles de los errores no son independientes de la parte del tren de bits afectada por el error. La solución optimizada para abordar esta desigual sensibilidad al error se denomina protección contra errores no uniforme (UEP). En tal sistema, se asigna más protección a la información más sensible y menos protección a la parte menos sensible del tren de bits.

Para acomodar la codificación de canal UEP, es necesario contar con tramas de longitud constante y un perfil UEP constante igualmente para una velocidad binaria determinada. Como la ACC es un esquema de codificación de longitud variable, el Sistema Digital G agrupa varias tramas codificadas conjuntamente para crear una supertrama de audio. La velocidad binaria de la supertrama de audio es constante. Dado que la codificación de canal se basa en las supertramas de audio, éstas constan de dos partes: una parte con protección más elevada y otra parte con una protección menor. Por tanto, las tramas de audio codificadas deben dividirse en estas dos partes.

El formato de transporte del tren de bits de MPEG ACC se ha modificado para que satisfaga los requisitos del Sistema Digital G (supertrama de audio). Puede aplicarse una protección contra errores no uniforme (UEP) para mejorar el comportamiento del sistema en los canales sensibles a los errores.

3.2 Aplicación del mensaje de texto

Los mensajes de texto pueden proporcionar un elemento adicional de gran valor a un servicio de audio sin consumir demasiada capacidad de datos. El mensaje de texto es una parte básica del Sistema Digital G y consume únicamente 320 bits/s. Esta capacidad puede ahorrarse si el proveedor del servicio no utiliza mensajes de texto.

3.3 Modo de datos por paquetes

Los servicios de datos generalmente constan de trenes de información en forma síncrona o asíncrona, o ficheros de información. El Sistema Digital G proporciona un sistema de entrega de paquetes generalizado que permite la distribución de trenes asíncronos y ficheros para varios servicios en el mismo tren de datos y posibilita que la velocidad binaria del tren de datos (síncrono) sea compartida trama a trama entre los diversos servicios. El tren de datos puede proporcionarse con control de error adicional añadiendo corrección de errores en recepción. Los servicios pueden ser cursados por series de paquetes únicos o por una serie de unidades de datos. Una unidad de datos es una serie de paquetes considerados como una entidad con respecto al tratamiento de errores – la recepción de un paquete incorrecto en una unidad de datos provoca el rechazo de toda la unidad. Este mecanismo puede utilizarse para transferir ficheros y también para lograr una sincronización más sencilla de los trenes asíncronos. El modo de datos por paquetes del Sistema Digital G es configurable por el organismo de radiodifusión a fin de permitir la utilización óptima de cualquier capacidad; tanto la longitud de los paquetes como la robustez del sistema de corrección de errores en recepción puede variarse y señalarse a los receptores.

4 Múltiplex, incluidos los canales especiales

Los receptores deben ser fáciles de utilizar. El Sistema Digital G proporciona datos de señalización que permiten al oyente acceder al servicio deseado apretando un simple botón y posibilitan que el receptor de radio realice un seguimiento de las emisiones de radiodifusión para encontrar la mejor frecuencia en todo instante de forma que el oyente no tenga que preocuparse de sintonizar el programa.

DRM utiliza una combinación de técnicas que facilitan la utilización de los dispositivos. En primer lugar, la capacidad de datos total se divide en un múltiplex de tres subcanales:

- el canal de acceso rápido (FAC);
- el canal de descripción del servicio (SDC);
- el canal del servicio principal (MSC).

El FAC contiene información útil que permite al receptor encontrar rápidamente los servicios que interesan al oyente. Por ejemplo, el receptor puede explorar las bandas buscando servicios con un tipo de programa en particular o en un idioma en concreto. También contiene información sobre el modo de radiodifusión para permitir seguir decodificando la señal.

El SDC contiene más información sobre el servicio (o múltiplex de servicio, hasta cuatro) a fin de aumentar la facilidad de uso. Ello incluye una etiqueta de hasta 16 caracteres (se emplea la norma de codificación UTF-8 de forma que todos los caracteres están disponibles y no sólo los caracteres latinos) y cómo encontrar fuentes alternativas de los mismos datos y dar atributos a los servicios en el múltiplex. El tamaño del SDC varía según el modo.

Puede lograrse una verificación de frecuencia alternativa, sin pérdida del servicio, manteniendo los datos transportados en el SDC cuasiestático. Por tanto, los datos en las tramas SDC deben gestionarse con precaución.

El MSC contiene los servicios de audio y/o datos. La estructura de trama global está diseñada para permitir al receptor saltar a una frecuencia alternativa y regresar a la frecuencia anterior sin ninguna pérdida de datos del MSC. Ello significa que cuando se necesita un cierto número de frecuencias para proporcionar el servicio, el receptor siempre puede buscar la mejor frecuencia y resintonizar cuando sea preciso sin ninguna interrupción del audio. El SDC proporciona la lista de frecuencias y también puede establecer un programa de frecuencias para permitir la prestación de servicios que necesitan frecuencias distintas durante el día y la semana.

Utilizando estas características, los receptores pueden presentar servicios de forma fácil al oyente, que ya no tiene que depender del conocimiento de las frecuencias o del programa de frecuencias y recibe una confirmación positiva en pantalla de que está sintonizando el servicio que desea.

El canal del servicio principal (MSC) contiene los datos de todos los servicios contenidos en el múltiplex, que pueden ser entre uno y cuatro servicios, y cada servicio puede ser de audio o datos. La velocidad binaria bruta del MSC depende de los parámetros de transmisión seleccionados.

El MSC contiene entre uno y cuatro trenes. Cada tren se divide en tramas lógicas. Los trenes de audio incluyen audio comprimido y opcionalmente pueden cursar mensajes de texto. Los trenes de datos pueden estar compuestos de paquetes de datos que cursan información de hasta cuatro «subtrenes». Un servicio de audio comprende un tren de audio y opcionalmente un tren de datos o un subtren de datos. Un servicio de datos comprende un tren de datos o un subtren de datos.

Cada trama lógica consta generalmente de dos partes, cada una con su propio nivel de protección. Las longitudes de las dos partes se asignan de forma independiente. La protección contra errores no uniforme de un tren se obtiene estableciendo diferentes niveles de protección para cada una de las dos partes.

Las tramas lógicas tienen una longitud, cada una de ellas, de 100 ms. Si el tren transporta audio, la trama lógica transporta los datos de la primera o la segunda parte de una supertrama de audio que contenga la información de audio para una duración de 200 ms. Como, de forma general, puede asignarse al tren dos niveles de protección, las tramas lógicas transportan precisamente la mitad de los bytes de cada nivel de protección.

Las tramas lógicas de todos los trenes se hacen corresponder para formar tramas múltiplex de la misma duración, que se hacen pasar a través del codificador de canal.

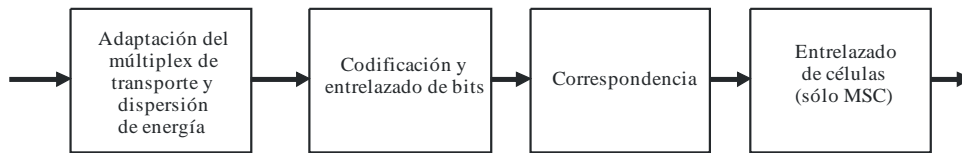
La configuración múltiplex se señala utilizando el SDC. El múltiplex puede reconfigurarse en los límites de la supertrama de transmisión. Se produce una reconfiguración del múltiplex cuando se cambian los parámetros del canal en el FAC o cuando se reorganizan los servicios en el múltiplex. La nueva configuración se señala anticipadamente en el SDC y la temporización se indica mediante el índice de reconfiguración en el FAC.

5 Codificación de canal y modulación

5.1 Introducción

Debido a las diferentes necesidades de los tres subcanales, MSC, SDC y FAC, estos subcanales aplican distintos esquemas de codificación y correspondencia. En la Fig. 39 aparece una representación del proceso de codificación.

FIGURA 39

Diagrama de bloques funcional de la codificación y el entrelazado

BS.1114-39

La codificación se basa en un esquema de codificación multinivel. Debido a las diferentes necesidades de protección contra errores en un servicio o para distintos servicios en un múltiplex, se aplican diversos esquemas y combinaciones de correspondencia de velocidades de código: se dispone de protección contra errores no uniforme (UEP) y protección contra errores uniforme (EEP). La protección contra errores uniforme utiliza una sola velocidad de código para proteger todos los datos en un canal. EEP es obligatoria para el FAC y el SDC. En vez de la EEP, puede emplearse protección contra errores no uniforme con dos velocidades de código para poder asignar los datos del canal de servicio principal a la parte más protegida y a la parte menos protegida.

5.2 Codificación multinivel

El proceso de codificación multinivel se basa en un esquema de codificación multinivel. El principio de la codificación multinivel es la optimización conjunta de la codificación y la modulación para lograr el máximo rendimiento en la transmisión. Con ello, las posiciones de bits más sensibles al error en la correspondencia MAQ obtiene la mayor protección. Los diferentes niveles de protección se logran con distintos códigos de componentes que se realizan mediante códigos convolucionales perforados obtenidos del mismo código matriz.

La decodificación en el receptor puede realizarse de manera directa o mediante un proceso iterativo. En consecuencia, el rendimiento del decodificador con datos erróneos puede aumentarse con el número de iteraciones y por ello depende de la implementación del decodificador.

5.3 Codificación del MSC

El MSC puede utilizar una correspondencia MAQ-4 o MAQ-16: la constelación menor proporciona más robustez frente a errores mientras que la constelación superior ofrece una alta eficacia espectral.

En cada caso, está disponible una gama de relaciones de código que proporcionan el nivel más adecuado de corrección de errores en una transmisión determinada. Las combinaciones disponibles de la constelación y la velocidad de código facilitan un alto grado de flexibilidad a lo largo de una amplia gama de canales de transmisión. La protección contra errores no uniforme puede utilizarse para ofrecer dos niveles de protección del MSC.

Son posibles dos niveles de protección en una trama múltiplex, lo que da lugar a la utilización de dos relaciones de código globales. En los Cuadros 25 y 26 se definen las relaciones de código globales y las relaciones de código para cada nivel. El nivel de protección se señala en la entidad de datos de descripción del múltiplex del SDC.

CUADRO 25

Relación de código para el MSC con MAQ-4

Nivel de protección	R_{all}	R_0
0	0,25	1/4
1	0,33	1/3
2	0,4	2/5
3	0,5	1/2

CUADRO 26

Combinaciones de relaciones de código para el MSC con MAQ-16

Nivel de protección	R_{all}	R_0	R_1	$R_{y_{lcm}}$
0	0,33	1/6	1/2	6
1	0,41	1/4	4/7	28
2	0,5	1/3	2/3	3
3	0,62	1/2	3/4	4

Se aplicarán una o dos relaciones de código globales a una trama múltiple. Cuando se utilicen dos relaciones de código globales ambas deben pertenecer a la misma constelación.

5.4 Codificación del SDC

El SDC utiliza correspondencia MAQ-4 con relación de código 0,5 ó 0,25: hay que elegir entre una mayor capacidad y una característica de error más robusta.

La constelación y la relación de código deben elegirse con respecto a los parámetros del MSC a fin de proporcionar más robustez al SDC que al MSC.

5.5 Codificación del FAC

El FAC utilizará una correspondencia MAQ-4 con relación de código 0,25.

6 Estructura de transmisión

En el Cuadro 27 figuran los parámetros MDFO relativos a la propagación del DRM Modo E.

CUADRO 27

Parámetros MDFO

Periodo de tiempo elemental T	83 1/3 μ s
Duración de la parte (ortogonal) útil $T_u = 27 \cdot T$	2,25 ms
Duración del intervalo de guarda $T_g = 3 \cdot T$	0,25 ms
Duración de símbolo $T_s = T_u + T_g$	2,5 ms
T_g/T_u	1/9
Duración de la trama de transmisión T_f	100 ms
Número de símbolos por trama N_s	40
Anchura de banda de canal B	96 kHz
Separación de portadora $1/T_u$	444 4/9 Hz
Espacio de número de portadora	$K_{mín} = -106$; $K_{máx} = 106$
Portadoras no utilizadas	Ninguna

La señal transmitida se organiza en supertramas de transmisión que constan de cuatro tramas de transmisión.

Cada trama de transmisión tiene una duración de T_f , y consiste en N_s símbolos MDFO.

Cada símbolo MDFO está constituido por un conjunto de K portadoras transmitidas con una duración T_s .

La separación entre portadoras adyacentes es $1/T_u$.

La duración del símbolo es la suma de dos partes:

- una parte útil de duración T_u ;
- un intervalo de guarda de duración T_g .

El intervalo de guarda consiste en una continuación cíclica de la parte útil, T_u , y se inserta antes de ella.

Los símbolos MDFO en una trama de transmisión se numeran de 0 a $N_s - 1$.

Todos los símbolos contienen datos e información de referencia.

Como la señal MDFO comprende varias portadoras moduladas por separado, cada símbolo puede a su vez considerarse dividido en células y cada célula corresponde a la modulación aplicada a una portadora durante un símbolo.

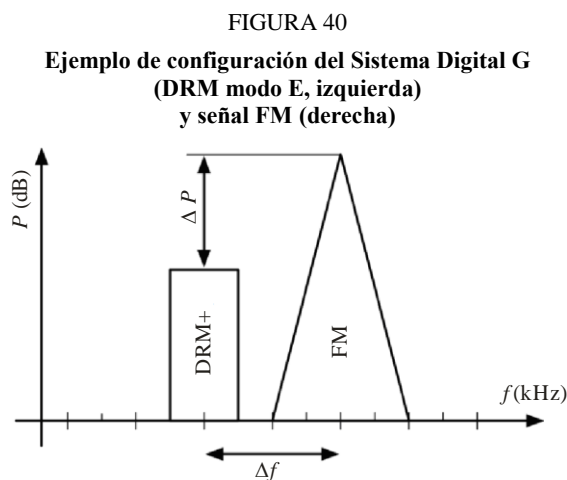
Una trama MDFO contiene:

- células piloto;
- células de control;
- células de datos.

Las células piloto pueden utilizarse para la sincronización de trama, frecuencia y tiempo, para la estimación de canal y para la identificación del modo de robustez.

7 Transmisión combinada de las señales analógicas y digitales

Es posible que una señal de un Sistema Digital G esté muy próxima a una señal de FM y pueda configurarse con flexibilidad dependiendo de la utilización existente del espectro. De esta forma, el Sistema Digital G puede introducirse en las bandas de frecuencia de FM.



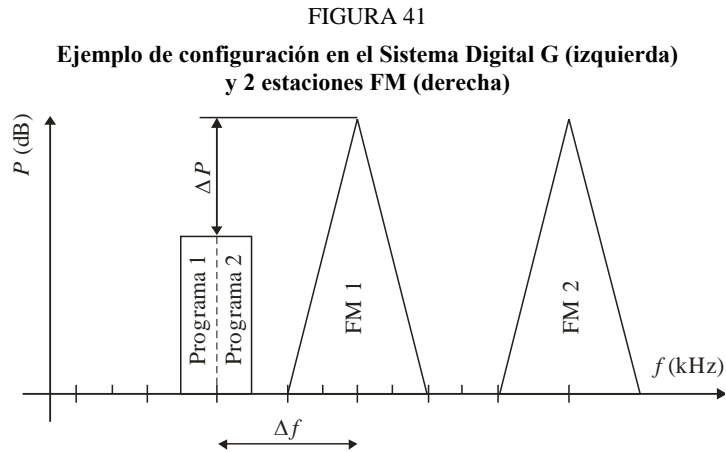
BS.1114-40

La Fig. 40 muestra que el Sistema Digital G puede situarse a la izquierda o a la derecha cerca de la señal de FM existente. Para garantizar los respectivos niveles de protección y de calidad de audio de la señal de FM, pueden planificarse adecuadamente la distancia entre frecuencias portadoras (Δf) y la diferencia de nivel de potencia (ΔP) de las señales de FM y del Sistema Digital G. Δf puede elegirse de acuerdo a una exploración de canal de 50 kHz. Se recomienda un valor de $\Delta f \geq 150$ kHz. ΔP puede variar con flexibilidad; sin embargo, para la mínima $\Delta f = 150$ kHz se recomienda un valor de $\Delta P > 10$ dB si se cumple la máscara de espectro fuera de banda de la Recomendación UIT-R BS.1660, y un valor de $\Delta P > 20$ dB en caso contrario.

Son posibles dos configuraciones de transmisión: las señales analógica y digital pueden combinarse y transmitirse a través de la misma antena o las dos señales pueden transmitirse desde antenas distintas.

Son posibles diferentes configuraciones para el Sistema Digital G, cuya señal puede transportar el mismo programa que el servicio de FM, o un programa distinto o el mismo programa así como programas adicionales. Si está disponible el mismo programa a través del Sistema Digital G y FM, debe enviarse una bandera de conmutación a frecuencia alternativa (AFS) en el canal de descripción del servicio (SDC) del múltiplex de transmisión permitiendo el soporte de redes heterogéneas.

La Fig. 41 muestra un ejemplo de configuraciones.



BS.1114-4.

8 Calidad del funcionamiento del sistema simulada

La propagación de las ondas radioeléctricas en las bandas de ondas métricas se caracteriza por la difracción, la dispersión y la reflexión de las ondas electromagnéticas en su trayectoria entre el transmisor y el receptor. Normalmente las ondas llegan a instantes distintos al receptor (propagación multitrayecto) dando lugar a un desvanecimiento más o menos selectivo en frecuencia (dependiendo de la anchura de banda del sistema). Además, los movimientos del receptor o los objetos circundantes pueden provocar una variación en el tiempo de las características del canal (efecto Doppler). Por el contrario, en la propagación por onda ionosférica (por ejemplo, la onda corta), las variaciones en la ionosfera no desempeñan ningún papel en la modelización de canales para las bandas de ondas métricas.

El método consiste en utilizar modelos estocásticos de variación en el tiempo con valores estadísticos estacionarios y definir modelos para condiciones buenas, moderadas y malas tomando los valores de los parámetros adecuados del modelo general. Uno de estos modelos con parámetros adaptables es el modelo de dispersión sin correlar estacionario en sentido amplio (modelo WSSUS). La justificación del método estacionario con distintos conjuntos de parámetros radica en el hecho de que los canales reales dan lugar a curvas de BER entre los casos más favorable y más desfavorable que aparecen en la simulación.

Las variaciones adicionales de la potencia media a corto plazo (desvanecimiento lento o log-normal) causadas por un entorno cambiante (por ejemplo, la estructura del edificio) o fenómenos tales como la propagación en la capa E esporádica no se incorporan en el modelo WSSUS. Sus efectos, así como la influencia de perturbaciones tales como el ruido artificial, se integran normalmente en el cálculo de la probabilidad de cobertura durante el proceso de planificación de la red.

Se ha llevado a cabo una simulación de la calidad de funcionamiento del sistema bajo la hipótesis de una estimación de canal perfecto, sincronización ideal y ausencia de ruido de fase y de efectos de cuantificación. La potencia de la señal incluye las señales piloto y los intervalos de guarda. Se supone que la decodificación de canal se realiza mediante decodificación de Viterbi en un solo paso para MAQ-4 y con decodificador multietapa con dos iteraciones para MAQ-16.

En el Cuadro 28 se muestran los resultados para seis canales, que representan diferentes casos de recepción, siendo E el modo de robustez asociado. La relación de código es $R = 0,33$ y se emplea MAQ-4.

CUADRO 28

C/N necesaria para que una transmisión logre que una BER = 1×10^{-4} tras el decodificador de canal por el MSC (Modo E)

Modelo de canal	C/N
Canal 7 (AWGN)	1,3 dB
Canal 8 (urbano) a 60 km/h	7,3 dB
Canal 9 (rural)	5,6 dB
Canal 10 (terreno obstruido)	5,4 dB
Canal 11 (terreno escarpado)	5,5 dB
Canal 12 (SFN)	5,4 dB

Los resultados del Cuadro 29 se refieren a seis canales que representan distintos casos de recepción, siendo E el modo de robustez asociado. La relación de código es $R = 0,5$ y se utiliza MAQ-16.

CUADRO 29

C/N necesaria para que una transmisión logre que una BER = 1×10^{-4} tras el decodificador de canal para el MSC (Modo E)

Modelo de canal	C/N
Canal 7 (AWGN)	7,9 dB
Canal 8 (urbano) a 60 km/h	15,4 dB
Canal 9 (rural)	13,1 dB
Canal 10 (terreno obstruido)	12,6 dB
Canal 11 (terreno escarpado)	12,8 dB
Canal 12 (SFN)	12,3 dB

Anexo 6

Sistema Digital H

1 Introducción

El Sistema Digital H, también denominado Sistema de Radiocomunicación Digital Convergente (CDR), ha sido concebido para suministrar servicios de radiodifusión de audio digital multiservicio de alta calidad para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la banda de MF (88 MHz a 108 MHz). Para poder adaptarse a diferentes casos de aplicación, dispone de diferentes modos de transmisión. Cada modo de transmisión se define por los parámetros de transmisión que se clasifican en dos categorías:

- parámetros relacionados con el ancho de banda de la señal;
- parámetros relacionados con la eficiencia de la transmisión.

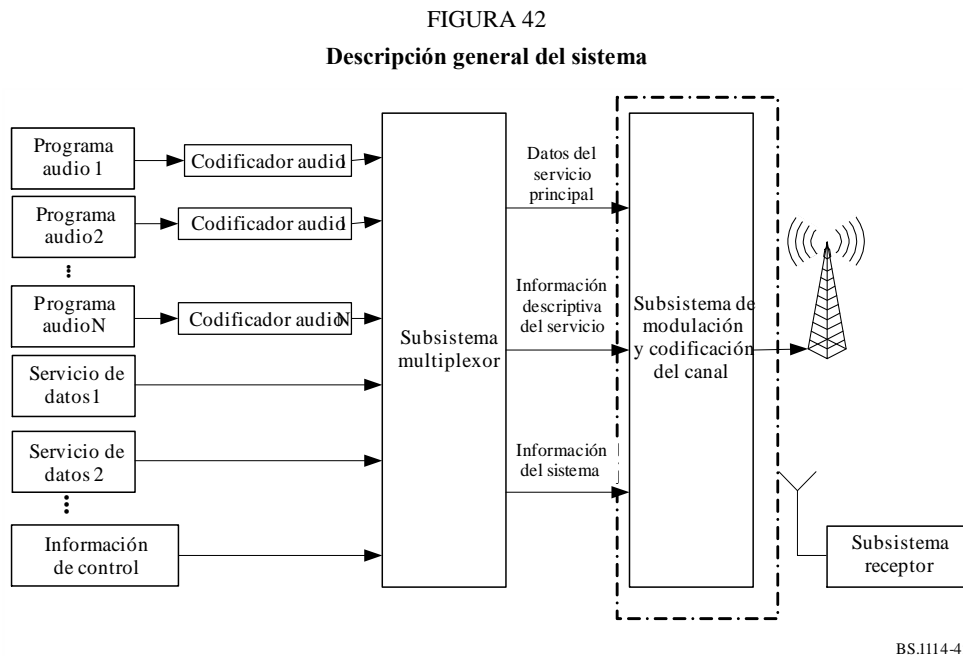
La primera categoría de parámetros define el valor total de la anchura de banda de la frecuencia para una transmisión. Los parámetros relacionados con la eficacia permiten llegar a una solución de

compromiso entre la capacidad (velocidad binaria útil) y la robustez frente al ruido, el multitrayecto y el efecto Doppler.

El Sistema Digital H está normalizado en la GY/T 268.1-2013 (2013.08) «Radiodifusión de audio digital en la banda MF – Parte 1: Estructura de entramado, codificación del canal y modulación para el canal de radiodifusión terrenal».

2 Estructura del sistema

La Fig. 42 representa la estructura general del sistema y los flujos de datos del Sistema Digital H.



El Sistema Digital H permite transmitir simultáneamente diversos trenes de audio digital y de datos. El subsistema de multiplexación combina y entrama diversos servicios de audio comprimido, servicios de datos e información de control. La salida del subsistema de multiplexación contiene los datos del servicio principal (MSD), información descriptiva del servicio (SDI) e información del sistema (SI). El sistema define el canal del servicio principal (MSC), el canal de información descriptiva del servicio (SDIC) y el canal de información del sistema (SIC) para transportar, respectivamente, los MSD, SDI y SI. La señal RF se genera cuando el subsistema de modulación y codificación del canal tramita la salida de los subsistemas de multiplexación. Para cada canal se especifica de manera independiente la corrección de errores en recepción, la correspondencia de constelaciones y el tipo de modulación. El subsistema receptor realiza la demodulación de la señal transmitida.

La flexibilidad del Sistema Digital H proporciona diversos modos de ocupación del espectro para diferentes casos, el ancho de banda de la señal digital es 100 kHz o 200 kHz.

En la fase de transición, la señal digital puede difundirse simultáneamente con la señal MF analógica, en cuyo caso el espectro de la señal digital se divide en dos partes y el intervalo espectral es de 300 kHz o 200 kHz, en el que se sitúan las señales de radiodifusión MF o de radio MF estereofónica analógica. Una vez terminada la transición, la señal digital puede ser continua; el ancho de banda de la señal puede ser 100 kHz o 200 kHz.

Al igual que otros sistemas de radiodifusión digital sonora, el Sistema Digital H también dispone de diversos tipos de asignación de subportadora. Además de las subportadoras asignadas para la

transmisión de datos en bloques MDFO, se asignan algunas subportadoras para transmitir información del sistema de los parámetros de transmisión, mientras que otras se asignan para transmitir pilotos que se utilizan para la estimación del canal.

3 Características del Sistema Digital H

3.1 Robustez

El Sistema Digital H utiliza la modulación MDFO, entrelazado bidimensional de frecuencia-tiempo y LDPC como código de corrección de errores en recepción para ofrecer un rendimiento mejorado en entornos con desvanecimiento multirrayecto. MDFO es un método de modulación multiportadora con función anti multirrayecto, añadiendo específicamente un intervalo de guarda en el dominio del tiempo. Los MSD se protegen mediante el código LDPC. Por consiguiente, en el receptor se obtiene una señal de alta calidad, aun con funcionamiento en condiciones de propagación multirrayecto severas. La SDI y la SI se protegen mediante un código convolucional.

3.2 Modos de ocupación del espectro flexibles

El Sistema Digital H define seis modos de ocupación del espectro. Cada modo define el ancho de banda de la señal digital, la posición de la subbanda activa y de la virtual. Todos los modos de ocupación del espectro se definen a partir de la subbanda (el ancho de banda de la subbanda es 100 kHz). Cada subbanda se divide en la mitad superior y la mitad inferior, ambas con el mismo ancho de banda. Todas las subportadoras pueden ser subportadoras activas o virtuales en una determinada subbanda, y todas las subportadoras son virtuales en la subbanda de mitad superior o inferior de ciertas subbandas activas en otra subbanda para un modo de espectro diferente.

Los seis modos diferentes de ocupación del espectro se denominan A, B, C, D, E y F en el Cuadro 30. El espectro A consta de una subbanda en la que todas las subportadoras son subportadoras activas. El ancho de banda de la señal digital del espectro A es 100 kHz. El espectro B consta de dos subbandas y el ancho de banda total de la señal digital es de 200 kHz. El espectro C consta de cuatro subbandas, de las cuales las subportadoras de la mitad inferior de la primera subbanda y las subportadoras de la mitad superior de la cuarta subbanda son todas subportadoras activas, mientras que las subportadoras de la segunda y tercera subbanda son virtuales, de modo que el ancho de banda de la señal digital de espectro C es 100 kHz. El espectro D consta de cinco subbandas de las cuales las subportadoras de la primera y quinta subbandas están todas activas, mientras que las subportadoras de la segunda a la cuarta subbandas son todas virtuales, y el ancho de banda de la señal digital del espectro D es 200 kHz.

CUADRO 30

Modo de ocupación del espectro

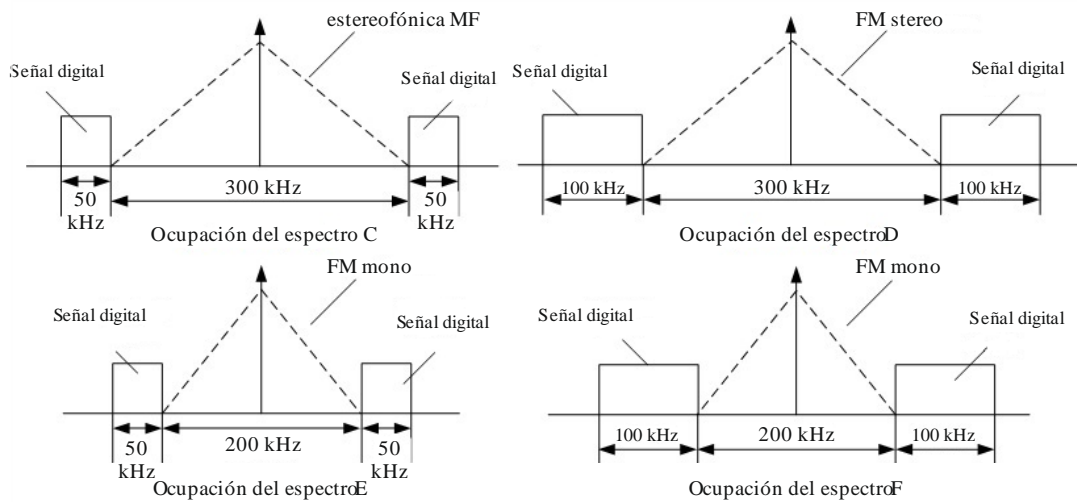
Índice del modo de ocupación del espectro	Posición										N_t
	-5	-4	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	
A	DB1(L)	DB1(U)	DB2(L)	DB2(U)	DB3(L)	DB3(U)	DB4(L)	DB4(U)	DB5(L)	DB5(U)	1
B	0	DA1(L)	DA1(U)	DA2(L)	DA2(U)	DA3(L)	DA3(U)	DA4(L)	DA4(U)	0	2
C	0	DA1(L)	DA1(U)	DA2(L)	DA2(U)	DA3(L)	DA3(U)	DA4(L)	DA4(U)	0	1
D	DB1(L)	DB1(U)	DB2(L)	DB2(U)	DB3(L)	DB3(U)	DB4(L)	DB4(U)	DB5(L)	DB5(U)	2
E	DB1(L)	DB1(U)	DB2(L)	DB2(U)	DB3(L)	DB3(U)	DB4(L)	DB4(U)	DB5(L)	DB5(U)	1
F	0	DA1(L)	DA1(U)	DA2(L)	DA2(U)	DA3(L)	DA3(U)	DA4(L)	DA4(U)	0	2

Nota – L indica mitad inferior de la subbanda, U indica mitad superior de la subbanda.

Los modos de ocupación del espectro C/D/E/F son modos de difusión simultánea con la señal MF existente (MF estéreo o mono), véase la Fig. 43, que facilita a los radiodifusores de MF digitales la evolución paulatina de la actual radiodifusión analógica a la totalmente digital. Los radiodifusores pueden elegir uno de los modos de ocupación del espectro C/D/E/F en función de su situación y de la de las estaciones adyacentes. Durante este periodo, los receptores sólo analógicos existentes pueden funcionar sin interrupción para la señal MF anfitrión, mientras que los nuevos receptores digitales pueden decodificar tanto los servicios digitales como los de MF analógica anfitrión. En el futuro, cuando el mercado sea totalmente capaz de recibir señales digitales, los radiodifusores podrán conmutar al modo de espectro A o B.

FIGURA 43

Diagrama del espectro de difusión simultánea



BS.1114-43

3.3 Diversos modos de transmisión

El Sistema Digital H define tres modos de transmisión. En el Cuadro 31 se indican los parámetros de sistema de cada modo de transmisión.

En este Cuadro se define la unidad de tiempo $T = 1/816000$ s, todos los valores de los parámetros relacionados con el tiempo se expresan como múltiplos de T o un número aproximado de milisegundos.

CUADRO 31

Parámetros MDFO para diferentes modos de transmisión

Parámetro	Símbolo	Modo de transmisión 1	Modo de transmisión 2	Modo de transmisión 3
Longitud del cuerpo de los datos MDFO (ms)	T_u	2,51 (2048T)	1,255 (1024T)	2,51 (2048T)
Longitud del prefijo cíclico del cuerpo de los datos (ms)	T_{cp}	0,2941 (240T)	0,1716 (140T)	0,0686 (56T)
Periodo de símbolos de MDFO (ms)	$T_s = T_{cp} + T_u$	2,804 (2288T)	1,426 (1164T)	2,5786 (2104T)
Intervalo de subportadora de símbolos MDFO (Hz)	Δf	398,4375	796,8750	398,4375

CUADRO 31 (*fin*)

Parámetro	Símbolo	Modo de transmisión 1	Modo de transmisión 2	Modo de transmisión 3
Longitud del prefijo cíclico de la baliza (ms)	$T_{Bcp} = T_{sf} \cdot S_N \cdot T_u$	0,4706 (384T)	0,4069 (332T)	0,2059 (168T)
Longitud de la baliza (ms)	$T_B = T_{Bcp} + T_u$	2,9804 (2432T)	1,6618 (1356T)	2,7157 (2216T)
Intervalo de subportadora de la señal de sincronización (Hz)	$(\Delta f)_b$	796,875	1593,75	796,875
Número de símbolos MDFO de cada subtrama	S_N	56	111	61
Longitud de subtrama (ms)	T_{sf}	160 (130560T)	160 (130560T)	160 (130560T)
Número de subportadoras activas ⁽¹⁾	N_v	242	122	242

⁽¹⁾ NOTA – Cuando las subportadoras en la mitad superior y de la mitad inferior de una subbanda activa no son totalmente virtuales, N_v es el número de subportadoras activas en la subbanda; cuando las subportadoras en la mitad superior (o la mitad inferior) de una subbanda activa son totalmente virtuales, el número de subportadoras activas en la subbanda es $N_v/2$.

Para cada modo de transmisión, la duración de la subtrama lógica es de 160 ms. Una trama lógica consta de cuatro subtramas y la duración de la trama lógica es por tanto 640 ms.

3.4 Distintas tasas de codificación FEC y tipos de correspondencia

El Sistema Digital H puede suministrar diversos tipos de servicios de audio y datos simultáneamente, como texto, imágenes e información sobre el tráfico. El radiodifusor puede seleccionar diferentes tasas de codificación de errores en recepción y tipos de correspondencia en función de sus necesidades.

Hay cuatro opciones para la tasa de codificación MSC: 1/4, 1/3, 1/2 y 3/4, y tres niveles de modulación: MDP-4, MAQ-16 y MAQ-64.

4 Codificación en la fuente

El Sistema Digital H utiliza un el algoritmo de codificación en la fuente de audio DRA+ ⁽¹⁾. El códec de audio admite una velocidad de muestreo de 16 kHz a 96 kHz, y la gama de velocidades binarias de salida oscila entre 16 ~ 384 kbit/s.

De hecho, al igual que los demás sistemas de radiocomunicaciones digitales, el Sistema Digital H admite cualquier otro códec de audio, como HE-AAC, AVS audio⁽²⁾ siempre que la velocidad binaria del tren de audio no rebase la capacidad neta del MSC, que queda determinado por diferentes conjuntos de parámetros, como el ancho de banda de la señal digital, el modo de transmisión, el nivel de modulación y la velocidad de código FEC.

En el Cuadro 32 se indica la capacidad neta de MSC en un ancho de banda de la señal de 100 kHz. Cuando el ancho de banda de la señal digital es de 200 kHz, los valores de la capacidad neta son el doble de los indicados en el Cuadro 32.

CUADRO 32

Capacidad neta en un ancho de banda de 100 kHz

Configuración del canal		Capacidad neta (kbit/s)	
Nivel de modulación	Velocidad de código LDPC	Modo de transmisión 1 y 2	Modo de transmisión 3
MDP-4	1/4	36	39,6
MDP-4	1/3	48	52,8
MDP-4	1/2	72	79,2
MDP-4	3/4	108	118,8
MAQ-16	1/4	72	79,2
MAQ-16	1/3	96	105,6
MAQ-16	1/2	144	158,4
MAQ-16	3/4	216	237,6
MAQ-64	1/4	108	118,8
MAQ-64	1/3	144	158,4
MAQ-64	1/2	216	237,6
MAQ-64	3/4	324	356,4

NOTA 1 – DRA+ es una norma de codificación audio (GD/J 058-2014) publicada por SAPPRFT China, que se basa en la tecnología de codificación de audio DRA definida en la norma china GB/T 22726-2008, mejorada mediante la réplica de la banda espectral (SBR) y estereofonía paramétrica (PS) para su adaptación a las aplicaciones de baja velocidad binaria en los servicios de radiocomunicaciones digitales.

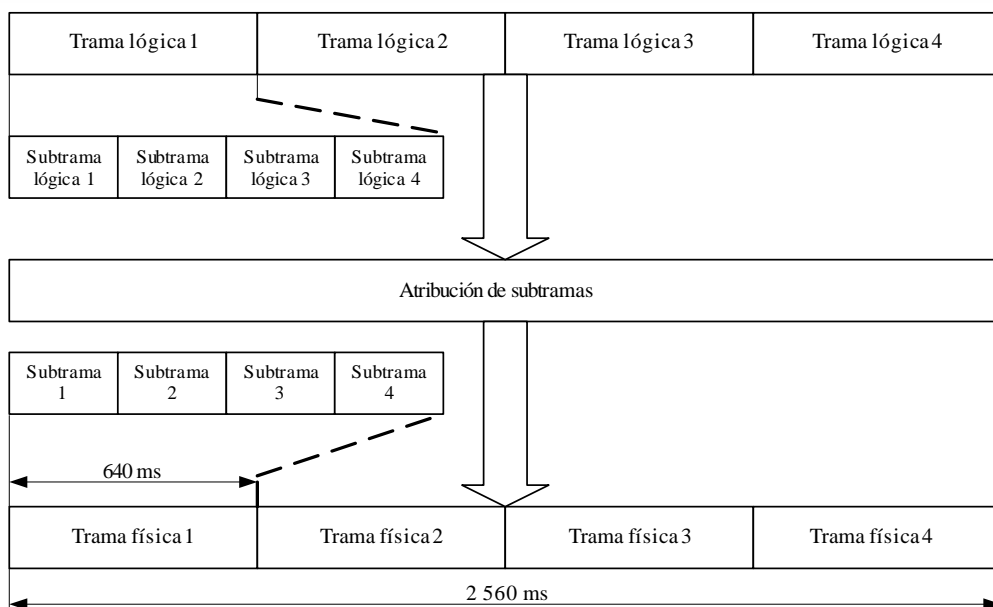
NOTA 2 – El audio AVS es un tipo de codificación de audio normalizado en China.

5 Trama múltiplex y trama lógica

El subsistema de multiplexación encapsula diversos servicios de audio y de datos de conformidad con el protocolo de multiplexación y genera el marco múltiplex formado por MSD, SDI y SI. La duración de la trama múltiplex es de 640 ms.

El Sistema Digital H define la trama lógica para transportar los datos de todas y cada una de las tramas múltiplex. La trama lógica puede dividirse en cuatro subtramas lógicas, que constituye la unidad básica para la atribución de subtramas (un tipo de entrelazado en el tiempo), como ilustra la Fig. 44 y se describe en § 6.8.

FIGURA 44
Trama lógica y atribución de subtrama

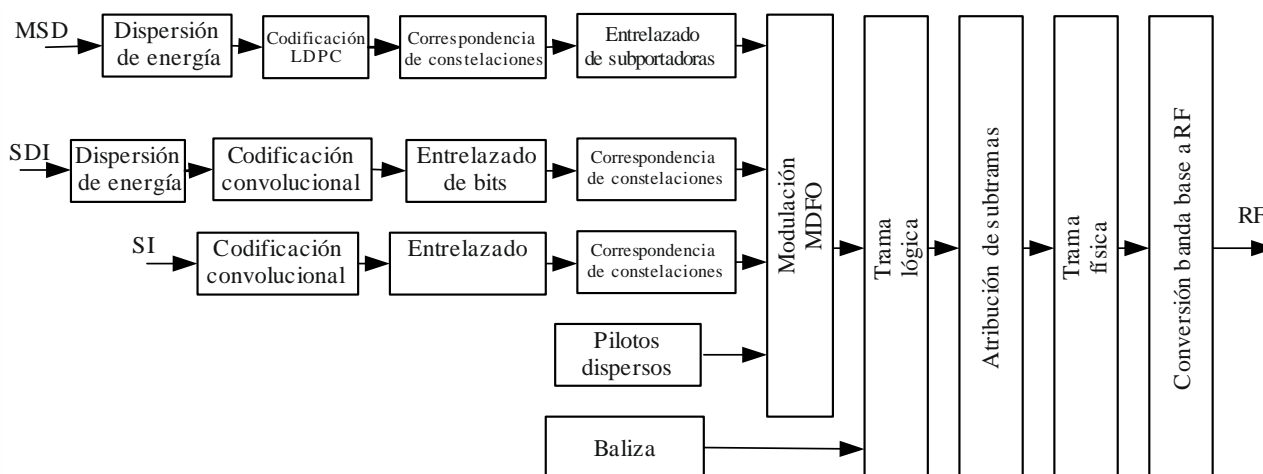


BS.1114-44

6 Codificación y modulación del canal

En la Fig. 45 se muestra el diagrama de bloques funcionales de la codificación y modulación del canal del Sistema Digital H. La Figura describe el flujo general de MSD, SDI y SI desde la codificación en la izquierda hasta el transmisor, en la derecha. El MSD contiene todos los servicios de audio y datos que se han de transmitir. La velocidad binaria en bruto del MSD depende del ancho de banda del canal, el modo de transmisión, la velocidad de código y el nivel de modulación del caso. El SDI contiene información adicional sobre la descripción del MSD, como la información de identificación para mejorar la facilidad de uso. Esta información de identificación del servicio puede utilizarse para seleccionar el programa en el lado receptor. El SI proporciona información útil sobre el nivel de modulación, la tasa de código FEC MSC, el modo espectral y otros parámetros necesarios para la demodulación de MSD o SDI.

FIGURA 45
Diagrama de codificación y modulación del canal



BS.1114-45

6.1 Dispersión de energía

El objetivo de la dispersión de energía es evitar la transmisión de patrones de señal que pueden culminar en una regularidad no deseada de la señal transmitida. La dispersión de energía se aleatorizará en MSD y SDI respectivamente mediante una secuencia binaria semialeatoria (PRBS).

El polinomio generador de PRBS es: $x^{12}+x^{11}+x^8+x^6+1$.

6.2 Codificación del canal

La codificación del canal añade información redundante para la corrección de errores en recepción. Para MSD se utiliza el código LDPC y para SDI y SI se utilizará codificación convolucional.

6.2.1 Codificación convolucional

La información SDI y SI se protege mediante codificación convolucional 1/4, que consta de 64 estados, el correspondiente polinomio generador octal es: 133, 171, 145 y 133 con el estado inicial de todo ceros.

6.2.2 Codificación LDPC

El Sistema Digital H utiliza el código LDPC cuasi cíclico para proteger los datos MSC data. La longitud del código es 9 216 bits y son posibles cuatro velocidades de código: 1/4, 1/3, 1/2 y 3/4. En el Cuadro 33 se indican los diferentes parámetros FEC.

CUADRO 33

Parámetros de codificación LDPC

Velocidad de código LDPC	Longitud del bit de información k (bits)	Longitud de la palabra código N (bits)
3/4	6 912	9 216
1/2	4 608	9 216
1/3	3 072	9 216
1/4	2 304	9 216

6.3 Entrelazado de bits

El entrelazado de bits se aplica tras la codificación convolucional para SDI y SI. La longitud del bloque de entrelazado se muestra en el Cuadro 34 si el ancho de banda de la señal digital es de 100 kHz. Cuando el ancho de banda de la señal digital es 200 kHz la longitud del bloque de entrelazado será el doble.

CUADRO 34

Longitud del bloque de entrelazado

Modulación	Modo de transmisión 1	Modo de transmisión 2	Modo de transmisión 3
MDP-4	$1\ 704 \times 2 = 3\ 408$	$1\ 576 \times 2 = 3\ 152$	$1\ 360 \times 2 = 2\ 720$
MAQ-16	$1\ 704 \times 4 = 6\ 816$	$1\ 576 \times 4 = 6\ 304$	$1\ 360 \times 4 = 5\ 440$
MAQ-64	$1\ 704 \times 6 = 10\ 224$	$1\ 576 \times 6 = 9\ 456$	$1\ 360 \times 6 = 8\ 160$

La longitud del bloque de entrelazado es 216 para SI con independencia del ancho de banda de la señal digital.

6.4 Correspondencia de la constelación

La SI utiliza correspondencia MDP-4, mientras que MSD y SDI admiten MDP-4, MAQ-16 y MAQ-64. La secuencia de bits en serie a la salida del codificador LDPC o del desentrelazador se hace corresponder con los diferentes puntos de la constelación en el dominio complejo, con arreglo a las diferentes configuración del nivel de modulación.

Se aplica la normalización de potencia a los diferentes tipos de correspondencia de constelaciones.

6.5 Subportadora activa de símbolos MDFO

Cada símbolo MDFO consta de pilotos continuos, pilotos dispersos y subportadoras de datos.

6.5.1 Piloto continuo

Ciento ocho símbolos SI se sitúan en los pilotos continuos, los símbolos SI son idénticos en la mitad superior y en la inferior de la banda. En el Cuadro 35 se indica la posición de los pilotos continuos ubicados en las columnas en los símbolos MDFO. En el Cuadro 36 se muestra la posición de los pilotos continuos ubicados en el número de símbolos MDFO en una subtrama lógica.

Por ejemplo, en el modo de transmisión 1, los 108 símbolos SI se sitúan en la posición especificada en el Cuadro 35 del 1°~ al 27° símbolo MDFO en la subtrama lógica. Los mismos 108 símbolos SI también se sitúan en la posición especificada en el Cuadro 6 de 28° ~ al 54° símbolos MDFO en una subtrama lógica lo que significa que 108 símbolos SI se repiten dos veces para garantizar su robustez.

CUADRO 35

Posición de los pilotos continuos en cada símbolo MDFO

Modo de transmisión	Posición de los símbolos SI de la mitad inferior de la subbanda	Posición de los símbolos SI de la mitad superior de la subbanda
Modos de transmisión 1 y 3	11, 55, 75, 103	144, 164, 192, 228
Modo de transmisión 2	15, 43	84, 104

CUADRO 36

Número de símbolos MDFO que transportan símbolos SI en una subtrama lógica

	Modo de transmisión 1	Modo de transmisión 2	Modo de transmisión 3
Número de símbolo MDFO	1~27 28~54	1~54 55~108	1~27 28~54

6.5.2 Piloto disperso

Los pilotos dispersos pueden utilizarse para la sincronización de tramas, frecuencias y tiempo, y para la estimación del canal.

Las dos secuencias pseudoaleatorias constituyen símbolos piloto dispersos después de la correspondencia MDP-4. Los símbolos piloto dispersos se sitúan en los pilotos dispersos.

6.5.3 Subportadoras de datos

Las subportadoras son subportadoras de datos salvo las virtuales, los pilotos continuos y los pilotos distribuidos en un símbolo MDFO. Los símbolos SDS y MSD se sitúan en la subportadora de datos.

Tras la aleatorización, codificación, entrelazado y correspondencia de constelaciones, los símbolos SDI en una misma subtrama lógica se sitúan en la posición que muestra el Cuadro 37. Todas las subportadoras de datos en los símbolos MDFO $1^{\circ} \sim N_{SDISn}^{\circ}$ transportan símbolos SDI en una subtrama lógica. En el $N_{SDISn+1}^{\circ}$ MDFO, las subportadoras de datos $1^a \sim N_{SDISactive}^a$ también transportan símbolos SDI.

CUADRO 37

**Posición de las subportadoras de datos que transportan
símbolos SDI en la subtrama lógica**

Modo de transmisión 1		Modo de transmisión 2		Modo de transmisión 3	
N_{SDISn}	$N_{SDISactive}$	N_{SDISn}	$N_{SDISactive}$	N_{SDISn}	$N_{SDISactive}$
2	0	3	72	1	128

Las subportadoras de datos restantes transportan símbolos MSD. En el Cuadro 38 se ilustra el número de símbolos MSD y SDI en la trama lógica.

CUADRO 38

Número de símbolos MSD y SDI en una trama lógica

Modo de transmisión 1		Modo de transmisión 2		Modo de transmisión 3	
MSD	SDI	MSD	SDI	MSD	SDI
46 080	1 704	46 080	1 576	50 688	1 360

6.6 Entrelazado de subportadoras para símbolos MSD

Se aplica el entrelazado de subportadoras a las subportadoras de datos que contengan símbolos MSD. El procedimiento es del tipo de entrelazado frecuencia-tiempo acorde con el algoritmo de entrelazado específico. El proceso de entrelazado se lleva a cabo entre cuatro subtramas lógicas y diferentes subbandas.

El entrelazado se procesa en el bloque de entrelazado. La longitud del bloque de entrelazado es de 46 080 para el modo de transmisión 1 y 2, y 50 688 para el modo de transmisión 3.

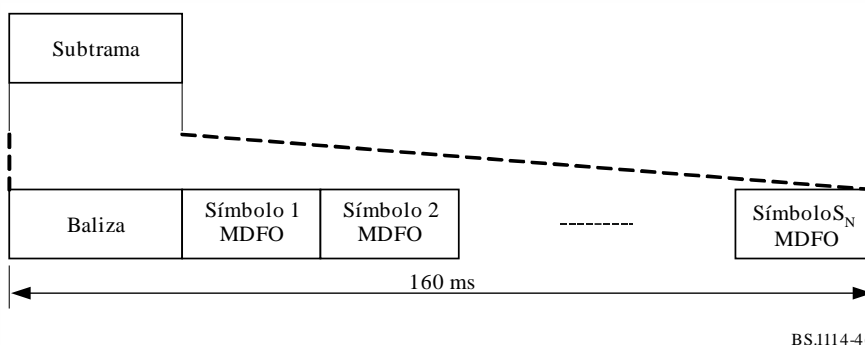
6.7 Generación de la señal MDFO

El generador de señal MDFO recibe símbolos SDS y SI complejos en el dominio de la frecuencia, y símbolos MSD entrelazados frecuencia-tiempo que transporta la subportadora activa MDFO, y produce a la salida una señal en el dominio del tiempo que representa la señal de radiocomunicaciones digital.

6.8 Trama lógica, atribución de subtramas y trama física

A fin de facilitar la sincronización del receptor, la subtrama lógica se crea con una estructura de trama ordinaria. La subtrama lógica consta de una baliza y S_N símbolos MDFO con prefijo cíclico, y cada una de las cuatro subtramas lógicas constituyen una trama lógica. Para más detalles, véanse las Figs. 44 y 46, respectivamente.

FIGURA 46
Estructura de una subtrama



La baliza es también un símbolo MDFO. Se genera una secuencia compleja pseudoaleatoria y se sitúa en las subportadoras de la baliza. El polinomio generador es:

$$P_b(n) = \exp \left[-j(-1)^n 2\pi m \frac{n(n+1)/2}{N_{zc}} \right], n = 0, 1, \dots, L-1$$

En el modo de transmisión 1 y 3, $N_{zc} = 967$, $m = 48$; mientras que en el modo de transmisión 2, $N_{zc} = 487$, $m = 12$. El valor de L se muestra en el Cuadro 39.

CUADRO 39
Valor de L

Ancho de banda de la señal digital	Modo de transmisión 1 y 3	Modo de transmisión 2
100 kHz	120	60
200 kHz	240	120

La duración de la trama lógica y de la trama física es de 640 ms. La trama lógica transporta todos los datos procedentes de las tramas multiplexadas. La trama lógica se transforma en una trama física después de la atribución de subtramas.

El Sistema Digital H tiene tres tipos de modos de atribución de subtramas. La atribución de subtramas se tramita con una, dos o cuatro tramas lógicas consecutivas. La atribución de subtrama es un tiempo de entrelazado en el tiempo. El modo 3 de atribución de subtramas tiene el tiempo de entrelazado más largo que es 2 560 ms.

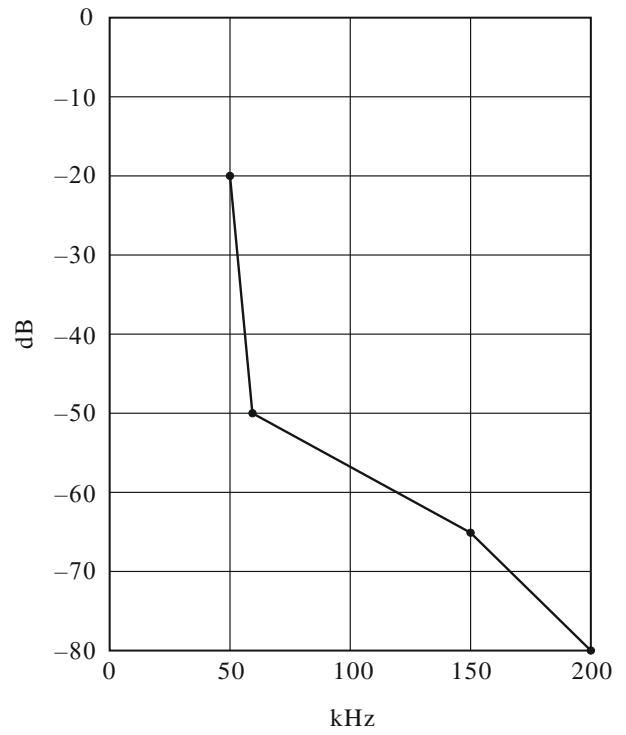
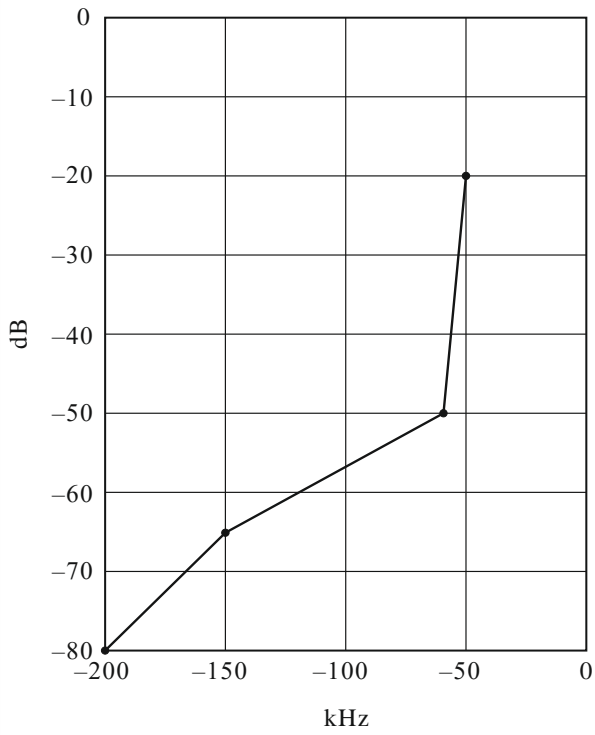
La trama lógica se transforma en trama física después de la atribución de las subtramas. Cada trama física transporta todos los datos de una trama lógica.

7 Máscara espectral

A fin de reducir la potencia fuera de banda de la señal RF puede aplicarse un filtro a la señal RF. En las Figs. 47 a 52 se muestran, respectivamente, las curvas espectrales de los posibles filtros. El ancho de banda de resolución de la medición de la potencia de la señal es de 1 kHz, donde los 0 dB indican que toda la potencia está dentro de la banda. Cada punto de corte de la Figura se enumera en los Cuadros 40 a 45.

FIGURA 47

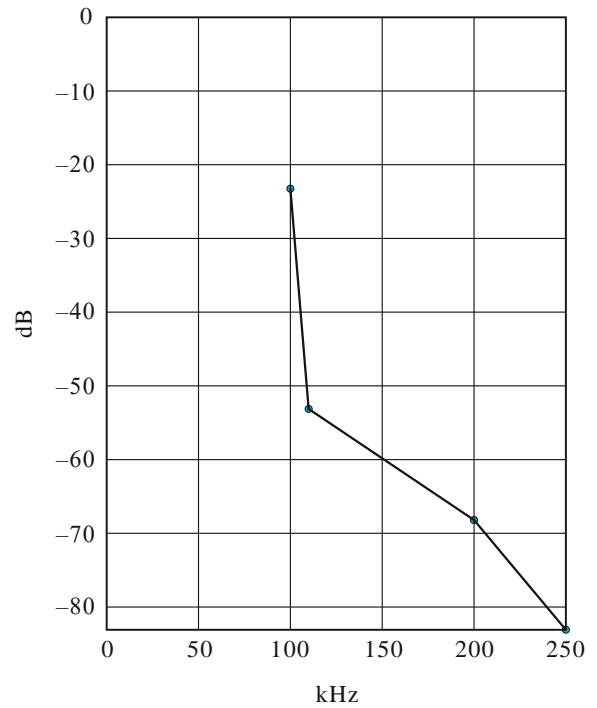
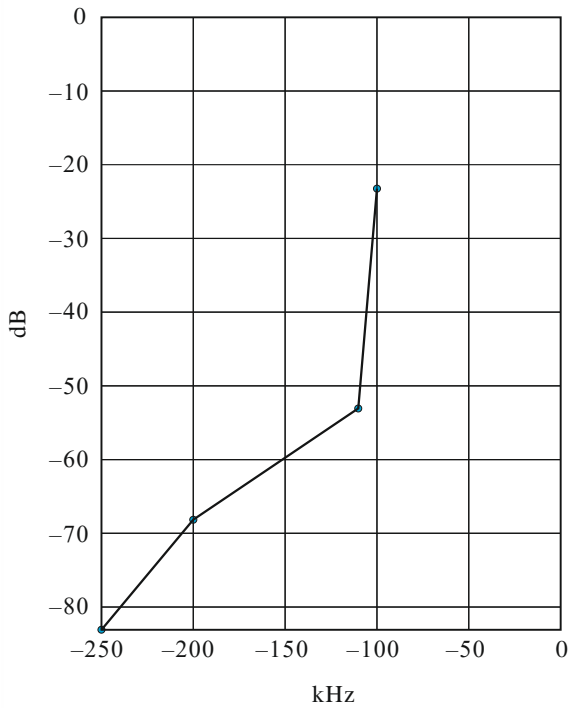
Curva espectral para el modo espectral A



BS.1114-47

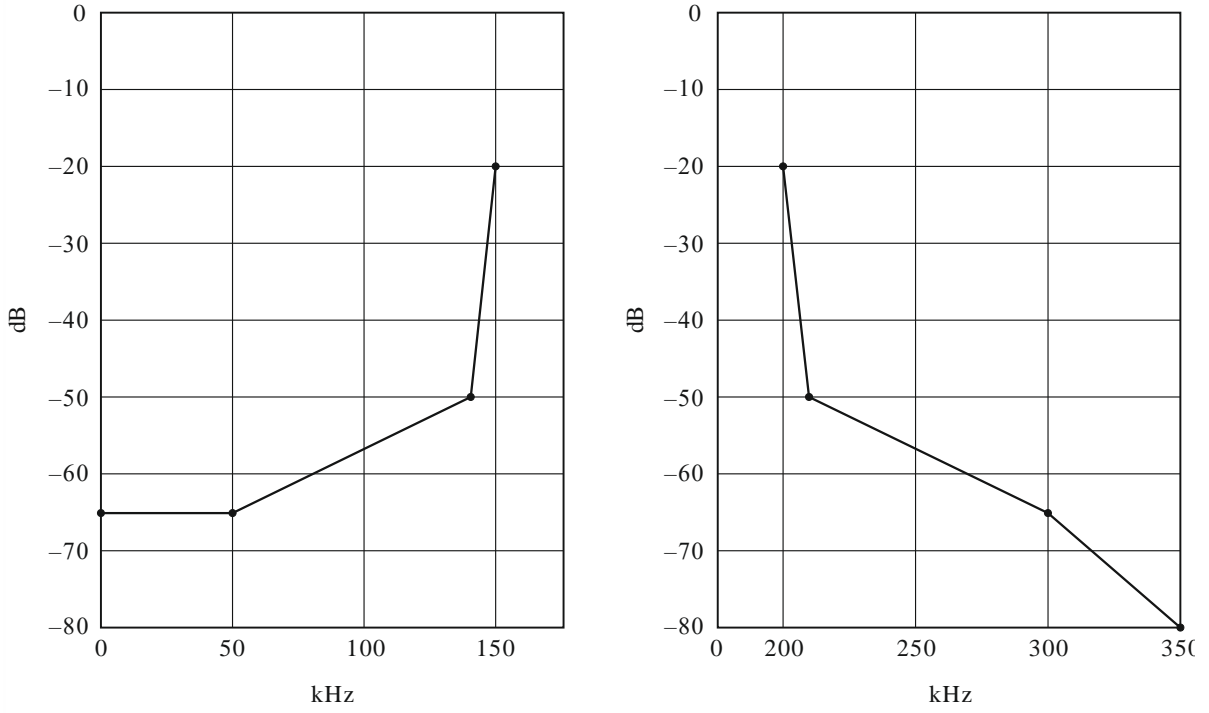
FIGURA 48

Curva espectral para el modo espectral B



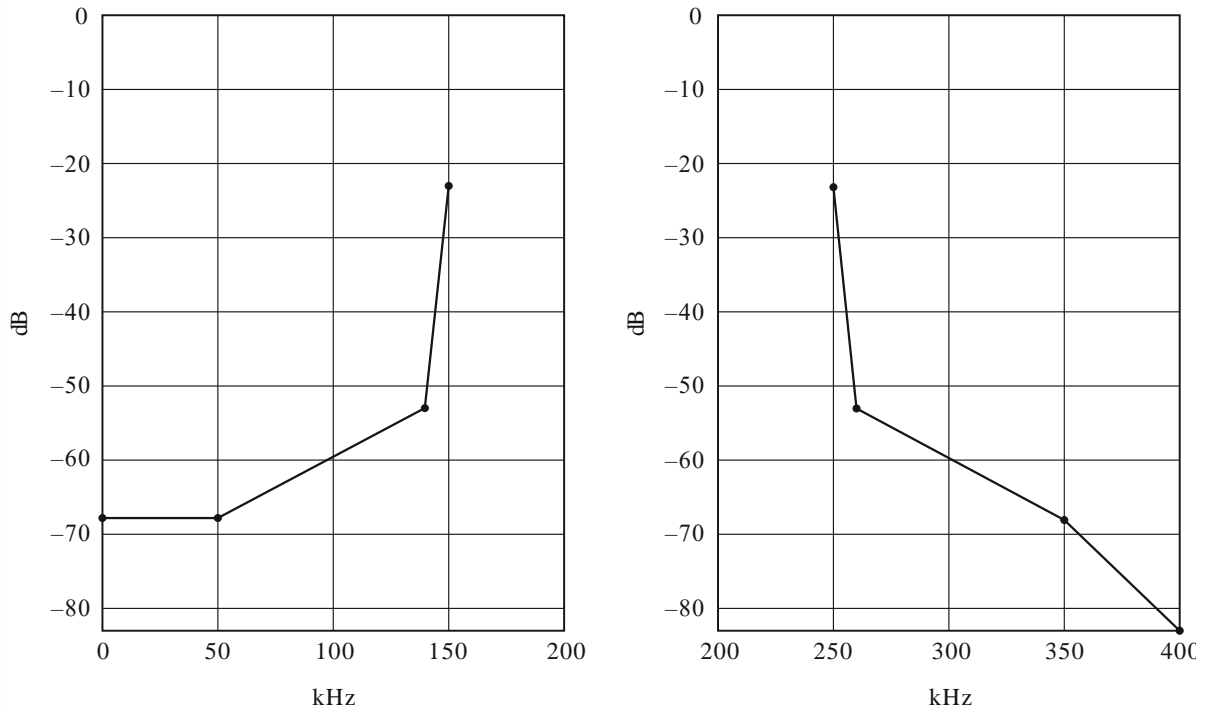
BS.1114-48

FIGURA 49
Curva espectral para el modo espectral C



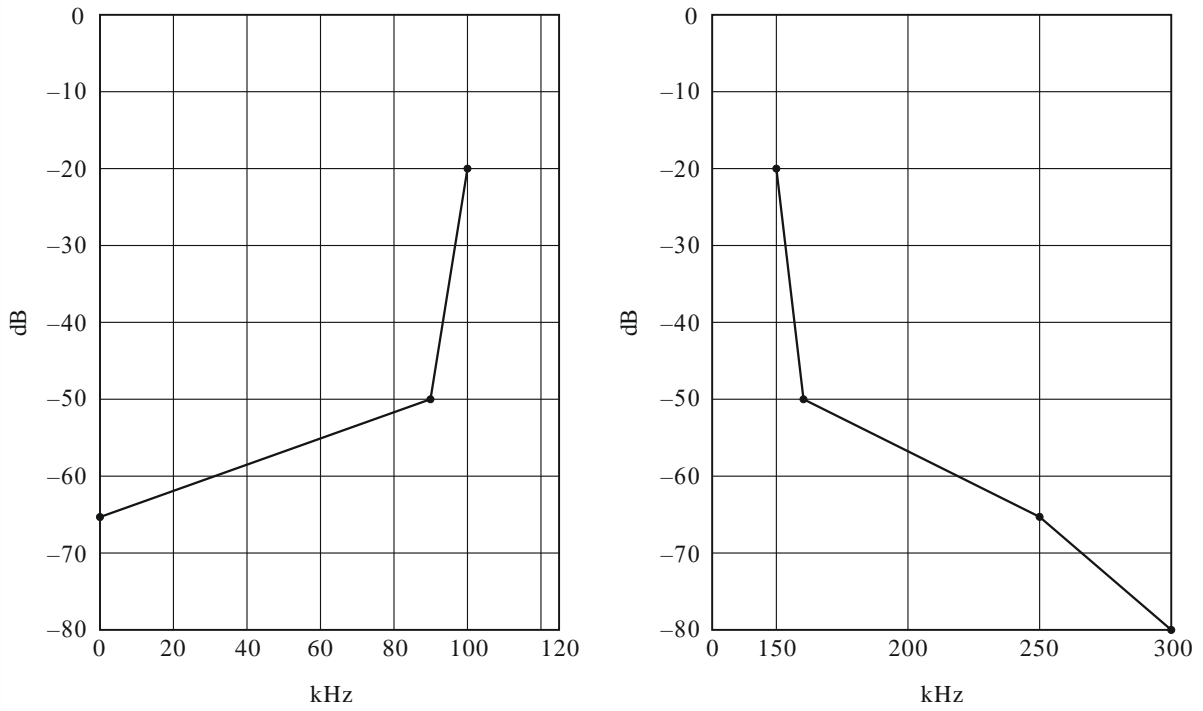
BS.1114-49

FIGURA 50
Curva espectral para el modo espectral D



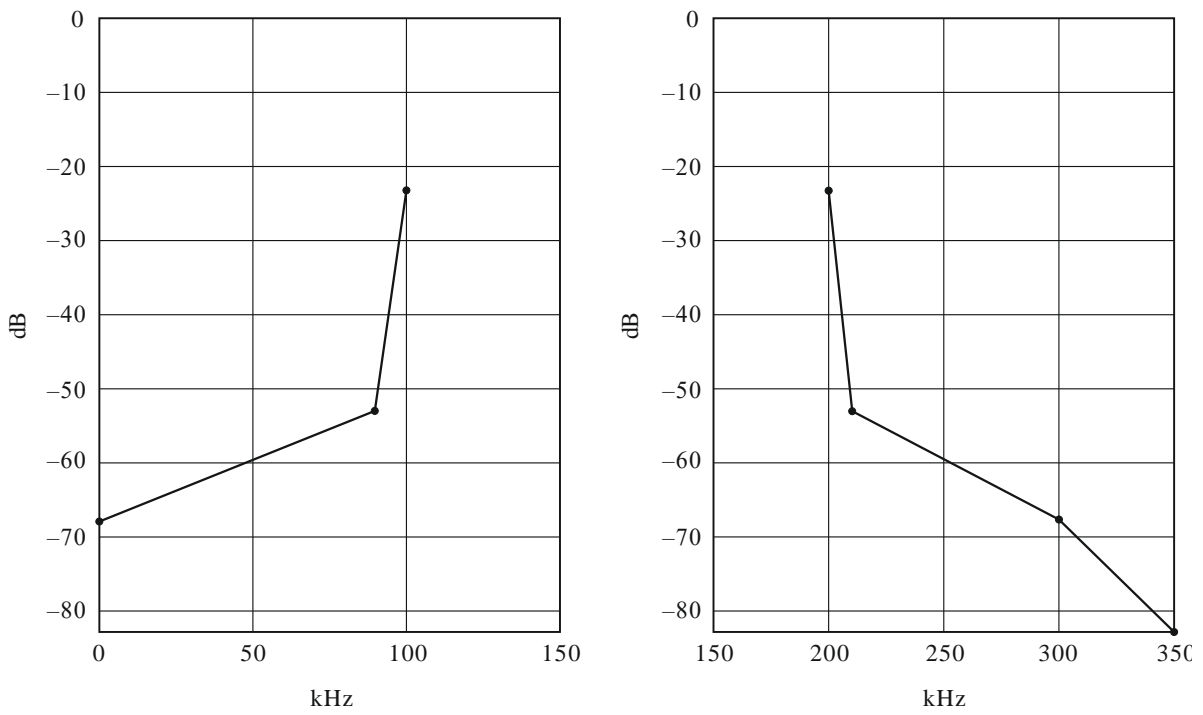
BS.1114-50

FIGURA 51
Curva espectral para el modo espectral E



BS.1114-51

FIGURA 52
Curva espectral para el modo espectral F



BS.1114-52

CUADRO 40

**Puntos de corte de la curva espectral cuando se define
la potencia dentro de la banda igual a 0 dB
(Modo espectral A)**

Desplazamiento respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
-200	-80
-150	-65
-60	-50
-50	-20
50	-20
60	-50
150	-65
200	-80

CUADRO 41

**Puntos de corte de la curva espectral cuando se define
la potencia dentro de la banda igual a 0 dB
(Modo espectral B)**

Desplazamiento respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
-250	-83
-200	-68
-110	-53
-100	-23
100	-23
110	-53
200	-68
250	-83

CUADRO 42

**Puntos de corte de la curva espectral cuando se define
la potencia dentro de la banda igual a 0 dB
(Modo espectral C)**

Desplazamiento respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
0	-65
50	-65
140	-50
150	-20
200	-20
210	-50
300	-65
350	-80

CUADRO 43

**Puntos de corte de la curva espectral cuando se define
la potencia dentro de la banda igual a 0 dB
(Modo espectral D)**

Desplazamiento respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
0	-68
50	-68
140	-53
150	-23
250	-23
260	-53
350	-68
400	-83

CUADRO 44

**Puntos de corte de la curva espectral cuando se define
la potencia dentro de la banda igual a 0 dB
(Modo espectral E)**

Desplazamiento respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
0	-65
90	-50
100	-20
150	-20
160	-50
250	-65
300	-80

CUADRO 45

**Puntos de corte de la curva espectral cuando se define
la potencia dentro de la banda igual a 0 dB
(Modo espectral F)**

Desplazamiento respecto a la frecuencia central (kHz)	Nivel relativo (dB)
0	-68
90	-53
100	-23
200	-23
210	-53
300	-68
350	-83

8 Resumen de los resultados de la prueba de laboratorio

Se han realizado pruebas de laboratorio en el Sistema Digital H para diversas condiciones de transmisión que se resumen a continuación. Las pruebas de laboratorio se realizaron en un entorno de ruido aleatorio y desvanecimiento por trayectos múltiples. Los perfiles de desvanecimiento utilizados son entorno urbano a 60 km/h, rural a 150 km/h y se aplicaron separadamente a la señal deseada. Se evaluó el rendimiento mediante C/N de la transmisión para lograr una tasas $BER = 1 \times 10^{-4}$ después del decodificador del canal para MSC.

8.1 BER respecto de C/N en un canal gaussiano

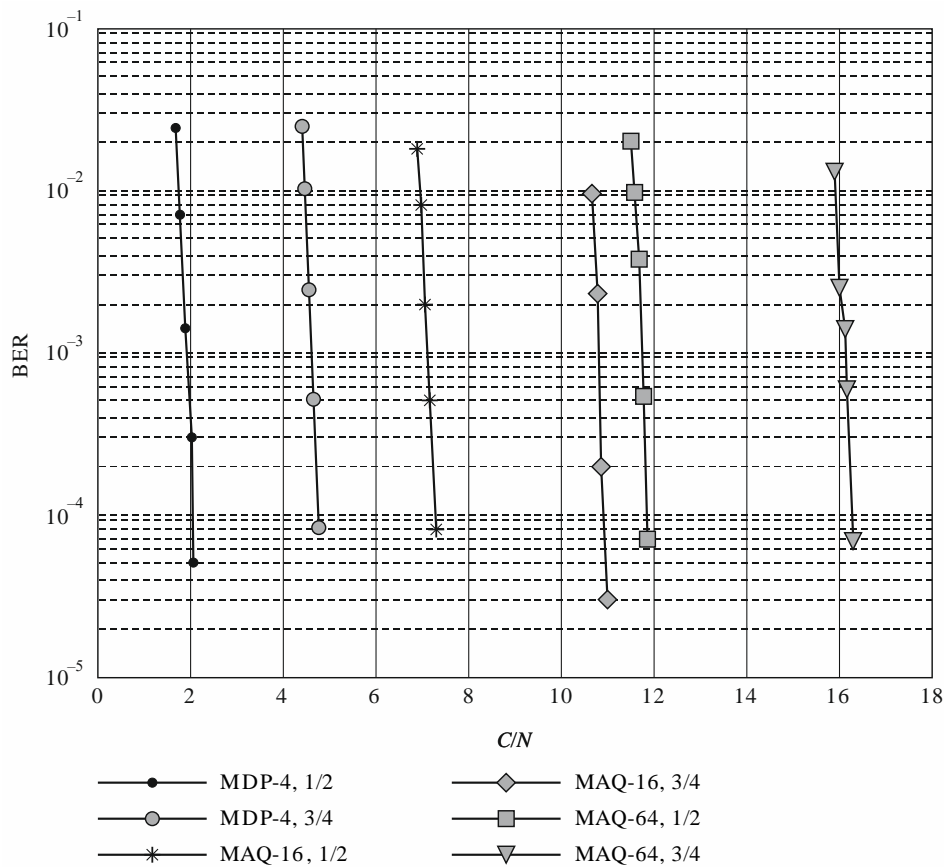
Se añadió ruido blanco gaussiano para establecer la relación C/N a la entrada del receptor. Los resultados medidos se muestran en la Fig. 53.

CUADRO 46

Parámetros de transmisión para pruebas de laboratorio en el canal gaussiano

Modo espectral	B (ancho de banda: 200 kHz)
Modo de transmisión	1
Modulación de la portadora	MDP-4, MAQ-16 y MAQ-64
Velocidad de codificación del código interno	1/2, 3/4

FIGURA 53

BER respecto de C/N en el canal gaussiano

BS.1114-53

8.2 BER respecto de C/N en un canal multitrayecto

En las Figs. 54 y 55 se dan los resultados medidos para entorno urbano a 60 km/h y rural a 150 km/h, respectivamente, que representan diferentes casos de recepción, con los modos de robustez indicados en el Cuadro 47.

CUADRO 47

Parámetros de transmisión para pruebas de laboratorio en el canal multitrayecto

Modo espectral	A	C
Modo de transmisión	1,2	1,2
Modulación de la portadora	MDP-4	MAQ-16
Velocidad de codificación del código interno	3/4	1/2
Modo de atribución de subtramas	1	

FIGURA 54
BER respecto de C/N en el canal multitrayecto

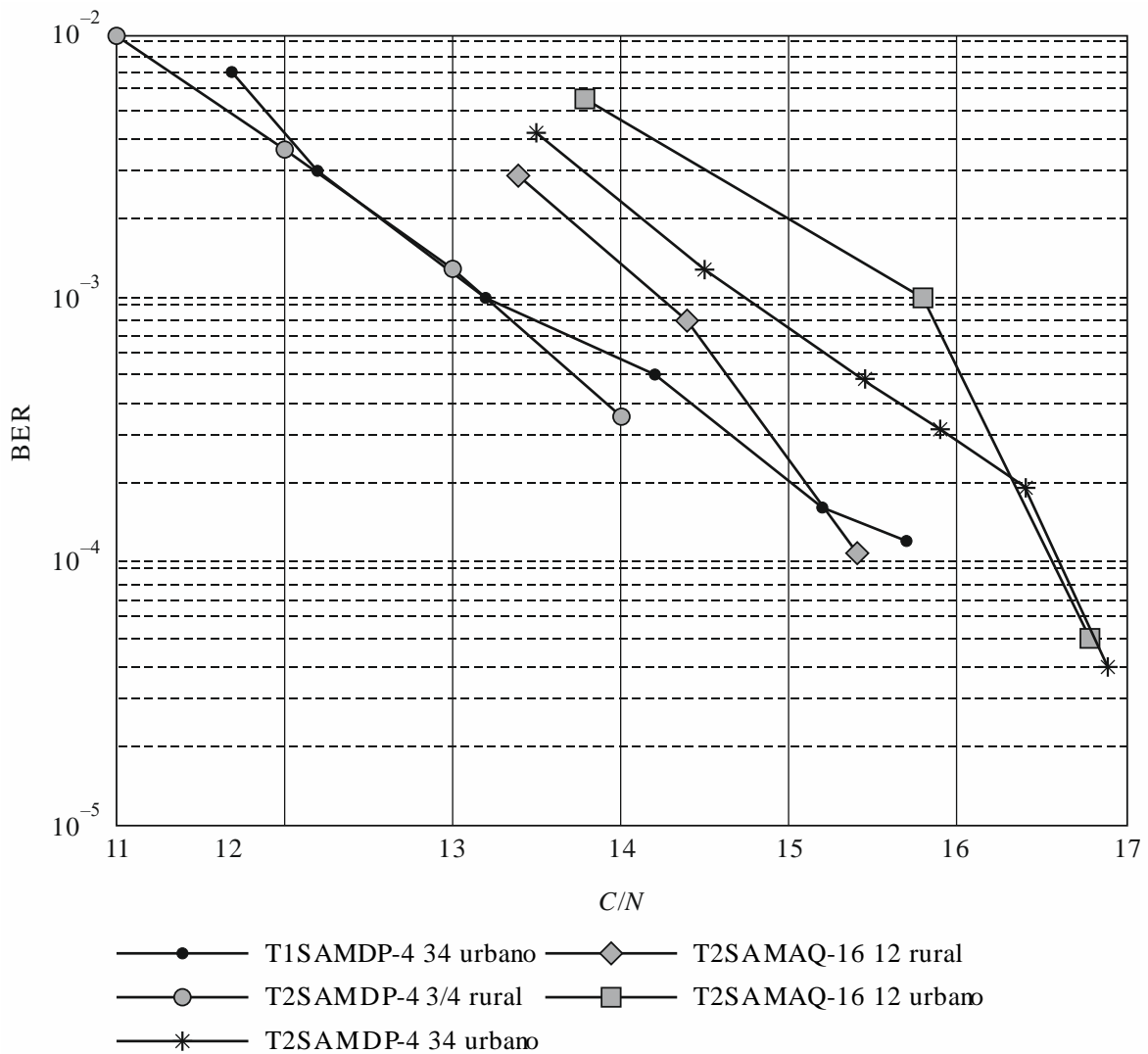
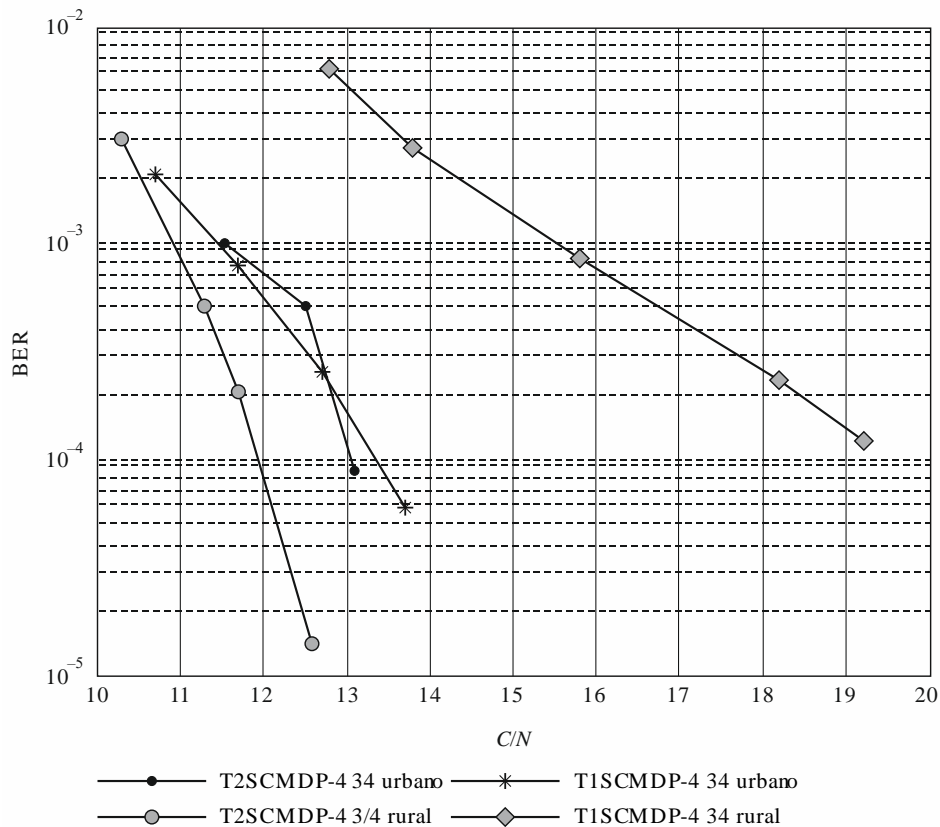


FIGURA 55

BER respecto de C/N en el canal multitrayecto

BS.1114-55

Anexo 7

Sistema Digital I

1 Introducción

El Sistema Digital I, también denominado RAVIS (sistema de información audiovisual en tiempo real), se concibió para la radiodifusión de audio multiservicio y multimedios de alta calidad para receptores móviles, portátiles y fijos en bandas de ondas métricas (47-68/74 MHz y 87,5-108 MHz). Se dispone de varios modos de transmisión en función del caso de aplicación. Cada modo de transmisión se define con arreglo a las dos categorías de parámetros siguientes:

- parámetros relacionados con el ancho de banda de la señal;
- parámetros relacionados con la eficiencia de la transmisión.

La primera categoría de parámetros establece la anchura de banda de la frecuencia utilizada para la transmisión, y la segunda facilita una solución de compromiso entre la velocidad binaria de transmisión de datos y la robustez frente a varios tipos de interferencia, en particular ruido gaussiano, propagación por trayectos múltiples y dispersión Doppler.

El Sistema Digital I se ajusta a la norma nacional GOST R 54309-2011 de la Federación de Rusia «Sistema de información audiovisual en tiempo real (RAVIS). Procesos de formación de la estructura de trama, codificación de canal y modulación para el sistema de radiodifusión digital terrenal de banda estrecha en la banda de ondas métricas. Especificaciones técnicas».

2 Modelo de arquitectura y pila de protocolo

A continuación se enumeran los requisitos de servicio fundamentales de un sistema RAVIS:

- elevada eficiencia espectral del sistema;
- recepción móvil eficaz de servicios de vídeo y audio, entre otros, a velocidades de hasta 200 km/h;
- breve retardo en el inicio o la recuperación de la recepción tras una interrupción de la señal en condiciones complejas (por ejemplo, a la salida de un túnel tras interrumpirse la recepción de la señal);
- radiodifusión de vídeo de alta calidad con tamaño de trama de hasta 720×576 , velocidad de trama de hasta 25 fps y múltiples canales de acompañamiento de sonido;
- radiodifusión de audio de alta calidad, incluido sonido estereofónico de calidad CD y multicanal 5.1;
- prestación de servicios de datos suplementarios relacionados, o no, con programas de vídeo o audio, tales como:
 - mensajes de texto;
 - imágenes;
 - presentación de diapositivas;
 - información sobre tráfico o meteorología, noticias locales, etc.;
 - guías electrónicas de programas;
- suministro de acceso condicional a servicios;
- servicios de alerta de emergencia eficaces;
- funcionamiento en redes de frecuencia única, incluidas las implantadas en carreteras y ferrocarriles.

El receptor del sistema debería facilitar la recepción de nuevos programas digitales y programas de estaciones de radiodifusión analógica MF con detección automática del tipo de programa.

Para el sistema RAVIS cabe prever principalmente la utilización de códecs de audio HE-AAC (incluidas las técnicas SBR, PS y MPEG Surround) y códecs de vídeo H.264/AVC y H.265/HEVC. El codificador de audio HE-AAC proporciona sonido estereofónico de alta calidad a 32 kbit/s y los codificadores de vídeo H.264/AVC y H.265/HEVC proporcionan vídeo de alta calidad con definición de televisión convencional y velocidad de trama de 25 fps a velocidad binaria de alrededor de 500 kbit/s.

En el sistema de transmisión de RAVIS se definen la capa física y otros elementos de capas de protocolo inferiores utilizados relativos al modelo de interconexión de sistemas abiertos (OSI).

Los principales componentes de la capa de aplicación son aplicaciones audiovisuales y de audio en tiempo real y algunos servicios suplementarios, tales como guías electrónicas de programas. La capa de presentación incorpora codificación en la fuente. La multiplexación de audio, vídeo y datos suplementarios tiene lugar en la capa de enlace por medio de un tren de transporte MPEG-2 o un contenedor de transporte de RAVIS.

En la Fig. 56 se proporciona un ejemplo de pila de protocolo para el sistema RAVIS.

FIGURA 56

Pila de protocolo del sistema RAVIS

Capa de aplicación	Aplicación de audio y vídeo en tiempo real	Guía electrónica de programas
Capa de presentación	H.264/MPEG-4 AVC, H.265/MPEG-H HEVC (vídeo) HE-AAC (audio)	XML, HTML, JSON
Capa de enlace	Tren de transporte MPEG-2 TS, Contenedor de transporte RAVIS TC	
Capa física	Capa física del sistema RAVIS (BCH, LDPB, MDP-M, MDFO)	

BS.1114-56

3 Principales tecnologías

El sistema proporciona tres canales lógicos de transmisión de datos. Además del canal de servicio principal, el sistema RAVIS suministra canales de datos con mayor fiabilidad de transmisión, a saber, un canal de baja velocidad binaria (~12 kbit/s) y un canal de datos fiable (~5 kbit/s). Estos canales adicionales pueden utilizarse, por ejemplo, para transmitir alertas de emergencia.

El sistema RAVIS ofrece varios niveles de modulación MAQ y diversas velocidades de codificación de canal en el canal de servicio principal, que se utilizan para lograr un equilibrio idóneo entre velocidad binaria y fiabilidad (protección contra la interferencia).

El canal de servicio principal está concebido para la transmisión de datos de vídeo y audio. La velocidad binaria máxima de este canal lógico es de 900 kbit/s aproximadamente. El objetivo del canal de baja velocidad binaria es transmitir información con mayor fiabilidad, por ejemplo, para transmitir alertas orales de emergencia. Su velocidad binaria es de alrededor de 12 kbit/s. El canal de datos fiable está concebido para transmitir datos suplementarios de elevada fiabilidad. Su velocidad binaria es de 5 kbit/s aproximadamente. El canal de baja velocidad binaria y el canal de datos fiable brindan mayor protección contra la interferencia y, en consecuencia, un nivel más elevado de cobertura y estabilidad de recepción que el canal de servicio principal.

En el Cuadro 48 figuran las velocidades binarias de transmisión de datos digitales en un solo canal de radiofrecuencia para cada combinación de parámetros de modulación y velocidad FEC.

CUADRO 48

Velocidades binarias de transmisión de datos digitales en el sistema RAVIS

Constelación	Velocidad FEC	Velocidad binaria del tren de datos (kbit/s)		
		Canal de 100 kHz	Canal de 200 kHz	Canal de 250 kHz
MDP-4	1/2	80	160	200
	2/3	100	210	270
	3/4	120	240	300
MAQ-16	1/2	150	320	400
	2/3	210	420	530
	3/4	230	470	600
MAQ-64	1/2	230	470	600
	2/3	310	630	800
	3/4	350	710	900

El canal de servicio principal puede utilizar modulación MDP-4, MAQ-16 o MAQ-64, y velocidades de codificación FEC de $R = 1/2$, $2/3$ ó $3/4$. El canal de baja velocidad binaria utiliza modulación MDP-4 y una velocidad de codificación FEC de $R = 1/2$. El canal de datos fiable utiliza modulación MDP-4 y velocidad de codificación FEC $R = 1/2$.

Las portadoras piloto y las portadoras con parámetros de transmisión de señal (portadoras de servicio) se incorporan a un tren multiplexado de símbolos MDFO. Dichas portadoras facilitan a la parte receptora funciones de sincronización, corrección de la distorsión de canal y transmisión de información suplementaria (incluidos los parámetros de modulación y codificación de canal, disponibilidad de canales de datos lógicos, etc.).

Si bien no es obligatorio reducir la relación entre la potencia de cresta y la potencia promedio, ello es recomendable.

En la Fig. 57 se muestra el diagrama de bloques funcionales relativo a la parte transmisora de un sistema RAVIS, y en la Fig. 58 el diagrama de bloques funcionales de un receptor RAVIS.

FIGURA 57

Diagrama de bloques funcionales de un transmisor RAVIS

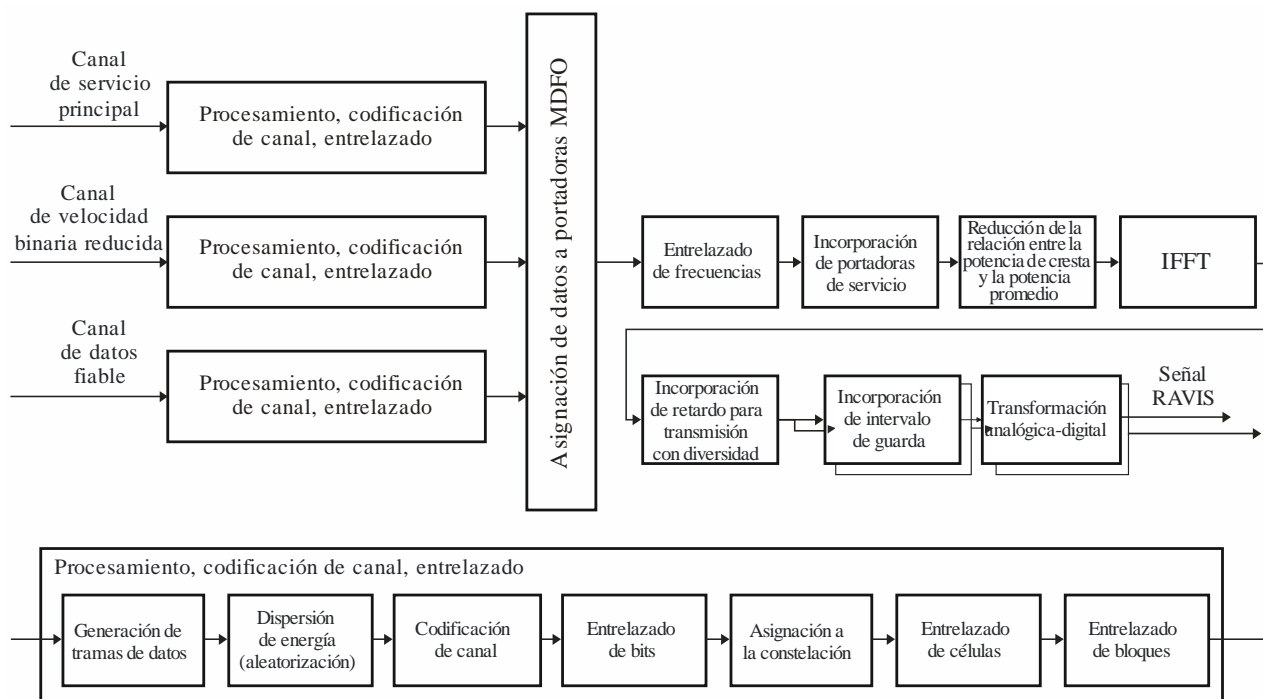
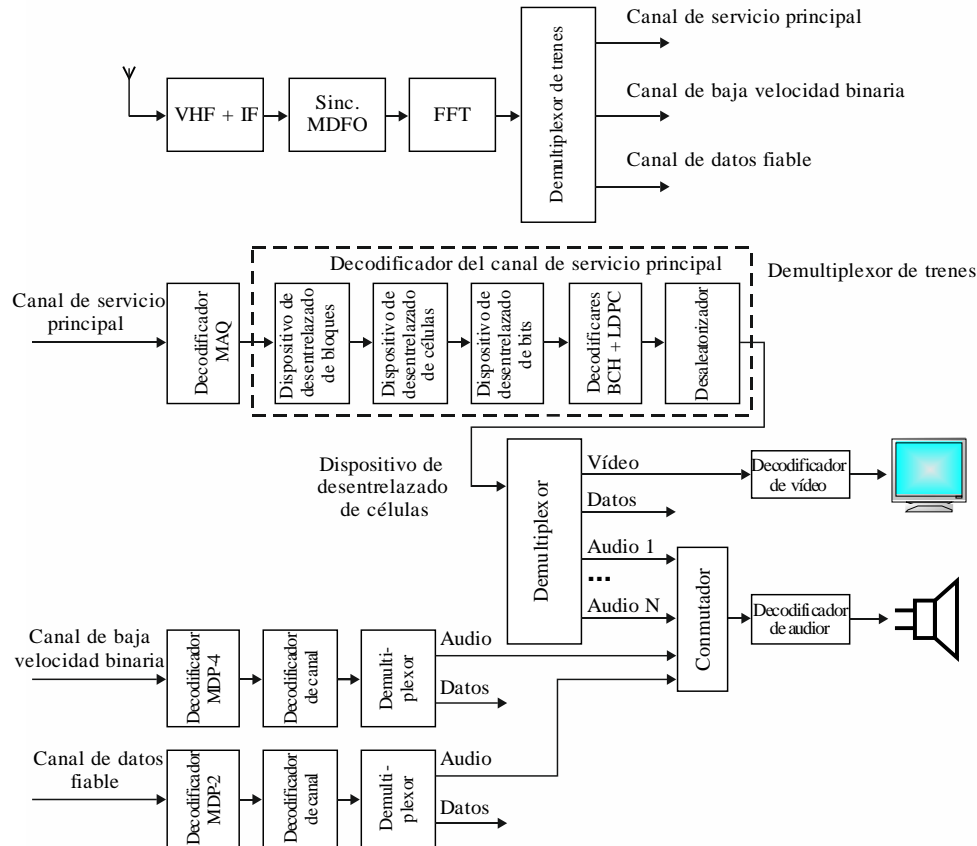


FIGURA 58

Diagrama de bloques funcionales de un receptor RAVIS



BS.1114-58

La banda de frecuencias y el método de radiodifusión escogidos presentan varias ventajas, en particular:

- utilización de redes de una sola frecuencia o multifrecuencia;
- radiodifusión de múltiples programas sonoros estereofónicos de alta calidad o de un tren de vídeo con acompañamiento sonoro estereofónico en una ciudad por medio de un solo transmisor;
- localización de la radiodifusión de un único programa, a saber, utilización de la misma frecuencia para la radiodifusión de varios programas en ciudades distintas.

4 Capas física y de enlace

Con respecto a la capa física, la codificación de canal y el método de modulación MDFO en el sistema RAVIS se definen como un bloque funcional para adaptar los datos del codificador en la fuente a las características del canal de transmisión. Los trenes de datos de todos los canales lógicos están sujetos a las siguientes transformaciones:

- generación de tramas de datos;
- dispersión de energía de tramas de datos;
- codificación externa (código de bloques BCH);
- codificación interna (código de bloques LDPC);
- entrelazado de bits;
- asignación de bits a las células de la constelación de modulación;

- entrelazado de células;
- entrelazado de bloques;
- asignación de los datos de canales lógicos a las células MDFO;
- entrelazado de frecuencias e inserción de portadoras de servicio;
- disminución de la relación entre la potencia de cresta y la potencia promedio;
- IFFT;
- introducción de intervalos de guarda y generación de señal MDFO íntegra.

Para la capa de enlace, los datos codificados de la fuente pueden multiplexarse mediante diversos formatos, incluidos los paquetes de longitud fija (en particular MPEG-2 TS) y los paquetes de longitud variable (en particular los contenedores de transporte GSE o RAVIS), o un tren de datos no estructurado.

5 Calidad de funcionamiento del sistema

Se simularon modos de recepción fija, portátil y móvil de señales del sistema RAVIS por medio de modelos de canal ETSI ES 201 980 (Anexo B.2) con objeto de evaluar la relación mínima necesaria entre la señal de portadora y el nivel de ruido $(C/N)_{\min}$ (para un valor de BER = 10^{-4} después del decodificador de canal) con respecto a varios tipos de modulación y velocidades de codificación del canal de servicio principal. Al canal 7 (AWGN) se asignó un modo de recepción fija, al canal 8 (entorno urbano) un modo de recepción portátil y al canal 11 (terreno montañoso) un modo de recepción portátil. En el Cuadro 49 se muestran los resultados obtenidos para una anchura de banda de canal de 250 kHz.

CUADRO 49

Valores $(C/N)_{\min}$ de un sistema RAVIS para una anchura de banda de canal de 250 kHz en el canal de servicio principal

Modelo de canal/ modo de recepción	$(C/N)_{\min}$ (dB)								
	MDP-4			MAQ-16			MAQ-64		
	R = 1/2	R = 2/3	R = 3/4	R = 1/2	R = 2/3	R = 3/4	R = 1/2	R = 2/3	R = 3/4
Canal 7 (AWGN)/ recepción fija	1,1	3,3	4,2	6,4	9,1	10,2	10,8	14,0	15,4
Canal 8 (entorno urbano)/recepción portátil	6,4	9,4	11,5	12,5	14,9	17,0	16,2	19,4	22,0
Canal 11 (terreno montañoso)/ recepción móvil	5,5	8,6	9,8	10,4	13,2	15,6	14,7	17,9	20,5

6 Resumen de los parámetros del sistema

En el Cuadro 50 se definen las características del sistema RAVIS.

CUADRO 50

Resumen de los parámetros del sistema

Características	RAVIS
Modos de recepción: – fija – portátil – manual portátil – móvil	+ + + +
Velocidad de datos neta	Dependiente de la modulación y la velocidad de codificación para cada anchura de banda de canal: a) 100 kHz-75-341 kbit/s; b) 200 kHz-155-703 kbit/s; c) 250 kHz-196-888 kbit/s
Eficiencia espectral (bit/s/Hz)	0,77-3,64
Redes de frecuencia única	Compatible
Tipos de radiodifusión: – sonora – multimedios – televisión	+ +
Datos de transmisión/tipos de servicio	Vídeo, audio, imágenes, presentaciones, datos de tráfico, etc.
Bandas de frecuencias	Bandas I y II de ondas métricas
Anchura de banda de canal	a) 100 kHz; b) 200 kHz; c) 250 kHz
Anchura de banda utilizada	a) 96,0 kHz; b) 185,6 kHz; c) 246,2 kHz
Cantidad de segmentos	1
Cantidad de subportadoras por segmento	a) 215; b) 439; c) 553
Separación de subportadoras	4000/9 Hz
Duración del símbolo activo	2,25 ms
Duración/relación del intervalo de guarda	1/8
Duración de trama	103,78125 ms (41 símbolos MDFO)
Sincronización temporal/de frecuencia	Intervalo de guarda/Portadoras piloto
Métodos de modulación	MDP-4, MAQ-16, MAQ-64
FEC interna	Código LDPC con velocidades de código aproximadas 1/2, 2/3, 3/4
Entrelazado interno	Entrelazado de bits, células, tiempo y frecuencias
FEC externa	BCH (n, k, t); n y k dependientes de la anchura de banda de canal, velocidad de código LDPC; capacidad de corrección de errores t = 10 errores (para el canal de servicio principal)
Entrelazado externo	–
Aleatorización de datos/dispersión de energía	PRBS de 16 bits
Transmisión jerárquica	–
Señalización de parámetros de transmisión	Cuatro subportadoras por símbolo MDFO, 41 bits por trama MDFO