

RECOMENDACIÓN UIT-R BS.1114-3

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 107/10)

(1994-1995-2001-2002)

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 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;»

- h) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) atribuyó la banda 1 452-1492 MHz al servicio de radiodifusión por satélite (SRS) (sonora) y al servicio de radiodifusión terrenal complementario para la transmisión de la radiodifusión sonora digital. Asimismo, se incluyeron atribuciones adicionales a países específicos en la banda 2310-2360 MHz y en la banda 2535-2655 MHz en los números 750B y 757A, respectivamente (actualmente, números 5.393 y 5.418) del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR). Además, la Resolución 527 (CAMR-92) aborda el tema de la radiodifusión sonora digital terrenal en ondas métricas;
- j) que el tren de transporte MPEG-2 (TS MPEG-2) se aplica ampliamente como contenedor de información codificada digitalmente;
- k) que un proceso de normalización en Europa ha dado lugar a la adopción del Sistema digital A (Eureka 147 como una Norma ETSI ETS 300 401) para el SRS (sonora)/radiodifusión sonora dirigida a receptores en vehículos, portátiles y fijos;
- l) 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;
- m) 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,

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, F y C se dan en los Anexos 2, 3 y 4 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 y/o C, descritos en los Anexos 2, 3 y 4, 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;
- 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 y C al seleccionar los sistemas.

CUADRO 1

Características de los Sistemas digitales A, F y C 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
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. El decodificador audio de Capa II MPEG-2 que funciona típicamente en 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 avanzada (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 48 kbit/s a 96 kbit/s utilizando el decodificador AAC (codificación de audio avanzada) MPEG-2.</p> <p>El sistema está destinado a la recepción en equipos de vehículo, portátiles y fijos</p>
Eficacia espectral superior a la de la MF	<p>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 multiplex por división en frecuencia ortogonal codificada (MDFOC), con codificación de corrección de errores convolucional</p>	<p>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)</p>	<p>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</p>

CUADRO 1 (Continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema digital A	Sistema digital F	Sistema digital C
Comportamiento en entornos multitrayecto y de ensombrecimiento	<p>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.</p> <p>Este aspecto permite utilizar repetidores en el canal para cubrir zonas de sombra en el terreno</p>	<p>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.</p> <p>Esta característica permite utilizar repetidores en el canal para cubrir zonas de sombra en el terreno</p>	<p>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.</p> <p>Esta característica permite la utilización de repetidores en el canal para cubrir zonas de sombra en el terreno</p>
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
Reconfiguración y calidad en función del número de programas	<p>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</p>	<p>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)</p>	<p>Los bits pueden reasignarse dinámicamente al audio o los datos utilizando las funcionalidades de transporte MPEG-2 a discreción del organismo de radiodifusión dentro de la gama de 48 a 96 kbit/s para el audio a fin de aumentar o disminuir la velocidad de transmisión de datos.</p> <p>El receptor se reconfigura de forma dinámica para adaptarse al modo de transmisión</p>

CUADRO 1 (Continuación)

<p>Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)</p>	<p>Sistema digital A</p>	<p>Sistema digital F</p>	<p>Sistema digital C</p>
<p>Amplitud de la cobertura en función del número de programas</p>	<p>Se dispone de cinco niveles de protección para el audio y de ocho niveles de protección para los servicios de datos 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)</p>	<p>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, 7/8)</p>	<p>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)</p>
<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</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</p>

CUADRO 1 (Continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema digital A	Sistema digital F	Sistema digital C
<p>Receptor común para las distintas formas de distribución de programas (Continuación)</p> <p>– Mixta/híbrida</p> <p>– Distribución 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>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>Capacidad de datos asociados al programa (PAD)</p>	<p>Se dispone de un canal de PAD que va desde 0,66 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, <i>video graphics array</i>) 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>

CUADRO 1 (Continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema digital A	Sistema digital F	Sistema digital C
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
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
Capacidad de datos de valor añadido	Todo subcanal (de los 64) no utilizado para audio puede utilizarse para servicios de datos independientes del programa. Los canales de paquetes de datos para servicios de gran prioridad, disponibles en todos los receptores sintonizados a cualquier servicio de múltiplex pueden cursarse por el canal de información rápida (FIC). La capacidad total llega hasta 16 kbit/s. Los receptores van equipados con una interfaz de datos radioeléctrica (RDI) para la transferencia de datos a un computador	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
Fabricación de bajo coste del receptor	Permite la fabricación en masa obteniendo un precio reducido para el consumidor de los receptores. Los receptores típicos se han integrado en dos microcircuitos. Un fabricante de microcircuitos ha integrado todos los circuitos del receptor en un solo microcircuito	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

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), 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 Sistema digital A permite la utilización complementaria de transmisores de radiodifusión por satélite y terrenales, lo que se traduce en una mejora de la eficacia espectral y en una mayor disponibilidad del servicio, en todas las situaciones de recepción. 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 que van 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 multimedios 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 BST (Transmisión segmentada de la banda) 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, DVB-T.

3 Resumen del Sistema digital C

El sistema está diseñado para proporcionar recepción en vehículos, portátil 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 («simulcasting») de señales analógicas y digitales en la actual banda de radiodifusión con MF. Esta característica del sistema permitiría a los actuales organismos de radiodifusión con MF hacer 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 de 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.

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, por satélite, híbrida (por satélite y 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.

La Fig. 1 muestra un diagrama conceptual de la parte de transmisión del Sistema A.

El Sistema digital A ha sido desarrollado por el Consorcio Eureka 147 DAB y es conocido con el nombre de Sistema Eureka DAB. Dicho Sistema ha recibido el pleno apoyo de la Unión Europea de Radiodifusión (UER) con vistas a introducir en Europa los servicios de radiodifusión sonora digital para 1995. Desde 1988 el sistema se ha venido probando con éxito en Europa, Canadá, Estados Unidos de América y en otros países de todo el mundo. 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 ETS 300 401 (véase la Nota 1).

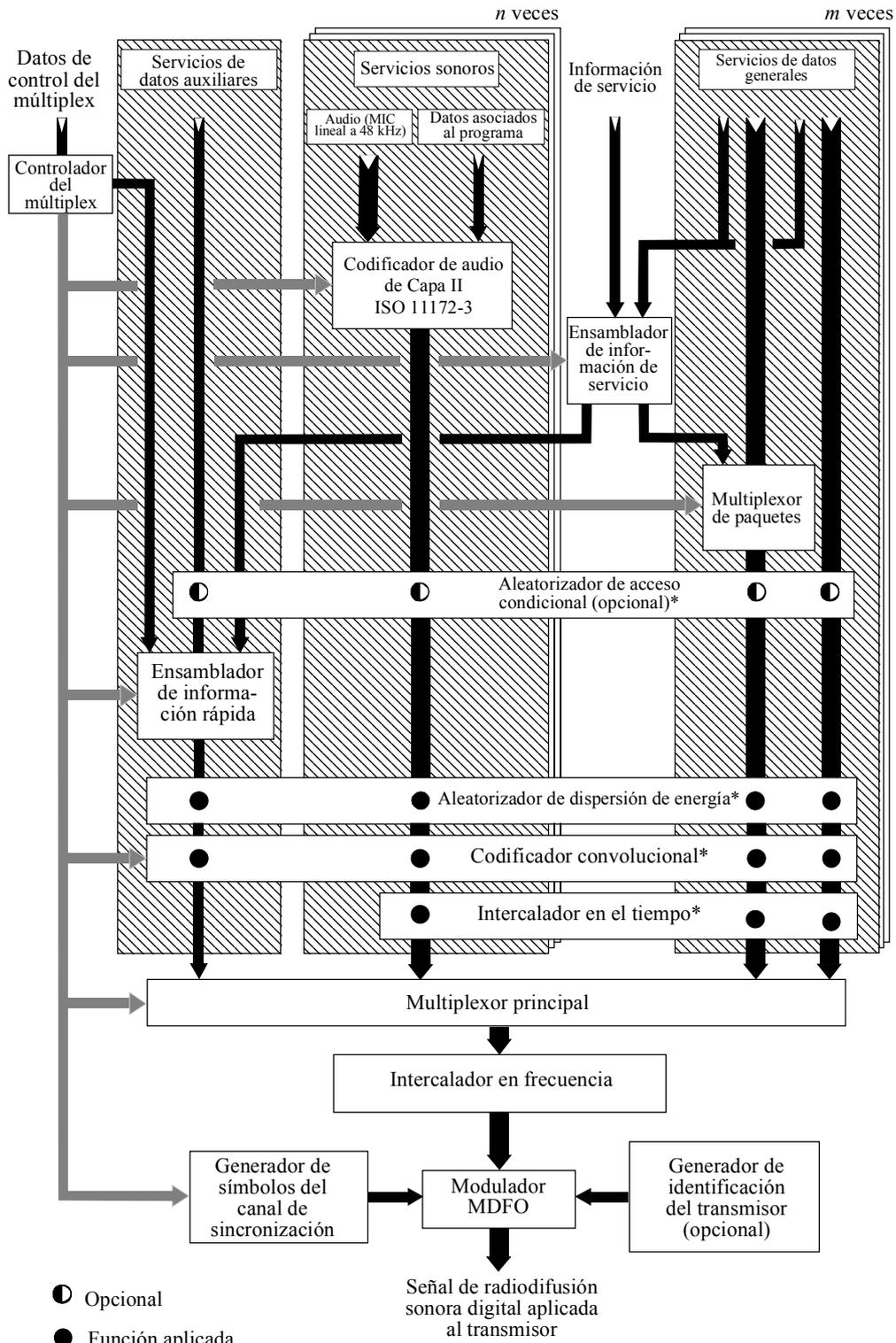
NOTA 1 – Se está considerando la conveniencia de la adición de un nuevo modo de transmisión, que llene el vacío entre los actuales Modos I y II, estimándolo como una mejora compatible con el Sistema A para permitir una mayor separación en distancia entre los retransmisores cocanal utilizados en una red de una sola frecuencia, o utilizados como ampliadores de la cobertura, lo que da lugar a una mayor flexibilidad y un menor coste en la implantación de la radiodifusión sonora digital terrenal en la banda 1 452-1 492 MHz.

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.

FIGURA 1
Diagrama conceptual de la parte de transmisión del Sistema A



- ◐ Opcional
- Función aplicada

* Estos procesadores funcionarán independientemente en cada canal de servicio.

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	Sincronización de tramas de transmisión
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.

3.3 Modos de transmisión

El Sistema A tiene cuatro modos alternativos de transmisión que permiten utilizar una amplia gama de frecuencias de transmisión de hasta 3 GHz. Estos modos de transmisión están concebidos a fin de compensar la dispersión Doppler y la dispersión por retardo, para la recepción móvil en presencia de ecos debidos a propagación por trayectos múltiples.

El Cuadro 3 da el retardo de eco acumulativo y la gama nominal de frecuencias para la recepción móvil. La degradación debida al ruido a la frecuencia máxima y en la condición más crítica de propagación multitrayecto, que se produce poco frecuentemente en la práctica, es de 1 dB a 100 km/h.

CUADRO 3

Parámetro	Modo I	Modo II	Modo III	Modo IV
Duración del intervalo de guarda (μs)	246	62	31	123
Retardo de eco acumulativo (μs)	300	75	37,5	150

Del Cuadro 3 puede deducirse que la utilización de frecuencias elevadas impone una mayor limitación al retardo de eco máximo. El Modo I es el más adecuado para una red terrenal con una sola frecuencia (SFN), porque permite las separaciones máximas entre transmisores. El Modo II es el más adecuado para las aplicaciones radioeléctricas locales que requieren un transmisor terrenal y para la transmisión híbrida satélite/terrenal hasta 1,5 GHz. No obstante, puede utilizarse también el Modo II para una SFN de escala mediana-grande en la banda de ondas decimétricas (por ejemplo, en 1,5 GHz), insertando, si es preciso, retardos artificiales en los transmisores y utilizando antenas transmisoras directivas. El Modo III es el más adecuado para la transmisión por satélite y complementaria terrenal para todas las frecuencias hasta 3 GHz.

El Modo III es también el preferido para la transmisión por cable hasta 3 GHz.

El Modo IV es el más adecuado para las SFN de escala mediana-grande en la banda de ondas decimétricas.

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

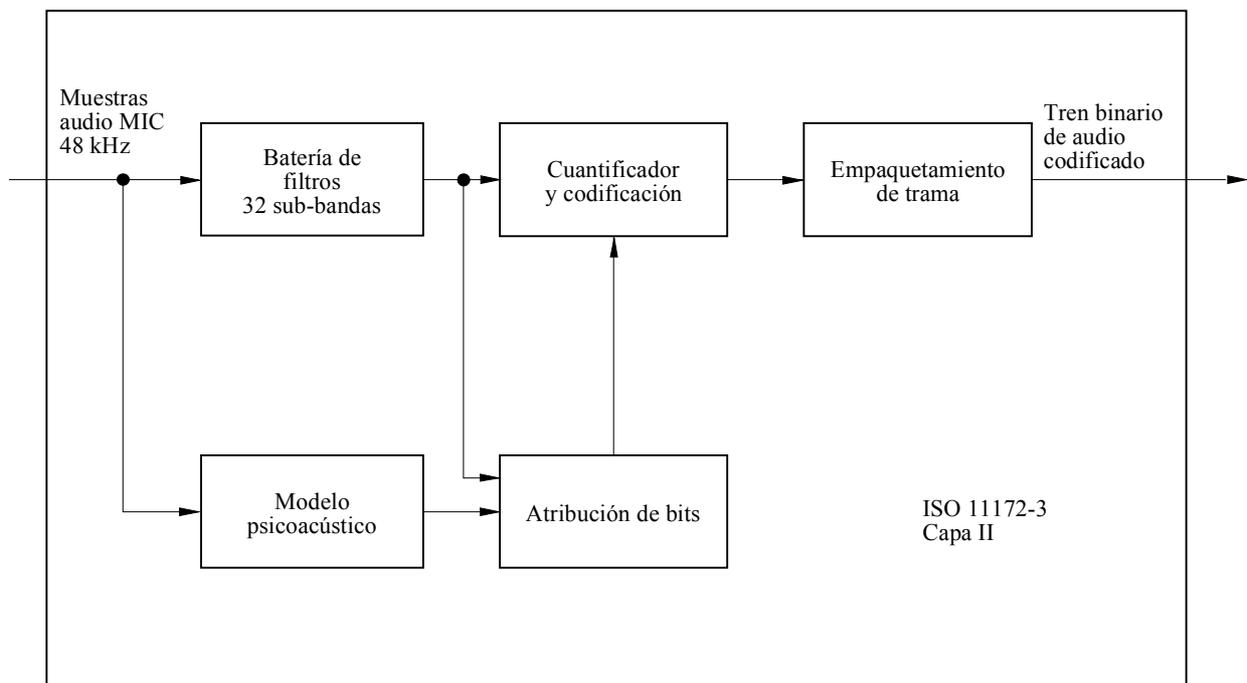
El método de codificación de audio en la fuente utilizado por el sistema es el Capa audio II-ISO/IEC MPEG, que figura en la Norma 11172-3 de la ISO. Este sistema de compresión de codificación sub-banda se conoce también como sistema MUSICAM.

El Sistema A acepta una serie de señales audio MIC con una velocidad de muestreo de 48 kHz y PAD. El número de fuentes de audio posibles depende de la velocidad binaria y del perfil de protección contra errores. El codificador de audio puede funcionar a 32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160 ó 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.

Las entidades de radiodifusión pueden explotar las distintas alternativas de velocidad binaria, dependiendo de la calidad intrínseca requerida y/o del número de programas radiofónicos que se vayan a suministrar. Por ejemplo, el empleo de velocidades binarias mayores o iguales a 128 kbit/s para sonido monofónico, o superiores o iguales a 256 kbit/s para programa estereofónico, no sólo proporciona una calidad muy elevada, sino también cierto margen de tratamiento, suficiente para un nuevo proceso de codificación/decodificación múltiple, incluyendo el postprocesamiento de audio. En radiodifusión de alta calidad, se prefiere una velocidad binaria de 128 kbit/s para sonido monofónico o 256 kbit/s para estereofónico, obteniéndose una calidad de audio totalmente transparente. Incluso la velocidad binaria de 192 kbit/s para programa estereofónico satisface generalmente el requisito de la UER en cuanto a sistemas con reducción de velocidad binaria en audio digital. Una velocidad binaria de 96 kbit/s en sonido monofónico proporciona una buena calidad del sonido y con 48 kbit/s se puede obtener aproximadamente la misma calidad que la de las emisiones normales MA. Para algunos programas de conversación únicamente, puede ser suficiente una velocidad binaria de 32 kbit/s cuando se requiere un número máximo de servicios en el múltiplex del sistema.

La Fig. 2 muestra un diagrama de bloques de las unidades funcionales del codificador de audio. Las muestras de audio MIC de entrada se aplican al codificador de audio. Un codificador es capaz de procesar ambos canales de una señal estereofónica, aunque puede, alternativamente, tratar una señal monofónica. Una batería de filtros polifase divide la señal de audio digital en 32 señales sub-banda y crea una representación filtrada y submuestreada de la señal de audio de entrada. Las muestras filtradas se denominan muestras sub-banda. Un modelo de percepción del oído humano crea un conjunto de datos para controlar el cuantificador y la codificación. Estos datos pueden ser distintos, dependiendo de la realización real del codificador. Una posibilidad es utilizar una estimación del umbral de enmascaramiento para obtener estos datos de control del cuantificador. Las muestras sucesivas de cada señal sub-banda se agrupan en bloques y a continuación se determina, en cada bloque, la amplitud máxima alcanzada por cada señal sub-banda, indicándola por un factor de escala. El cuantificador y la unidad de control crean un conjunto de palabras de codificación a partir de las muestras sub-banda. Estos procesos se efectúan durante las tramas de audio ISO que se describirá en la capa de red.

FIGURA 2
Diagrama de bloques del sistema básico del codificador de audio



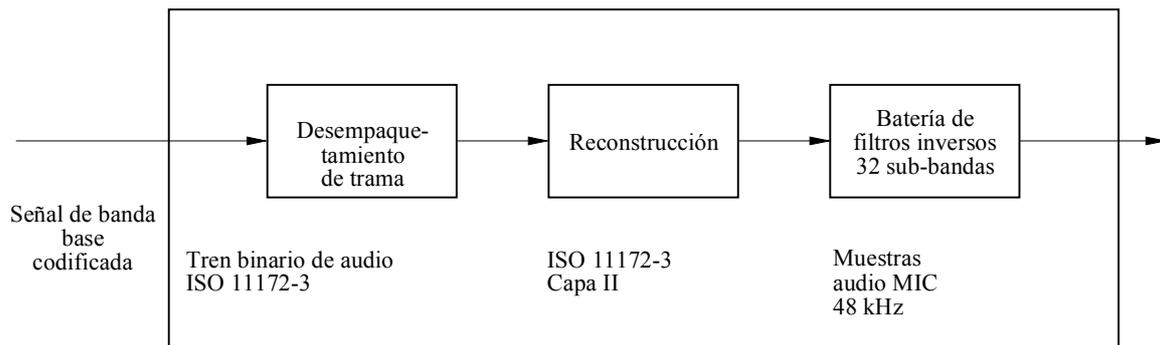
1114-02

4.2 Decodificación de audio

La decodificación en el receptor se efectúa directa y económicamente utilizando una técnica sencilla de procesamiento de señal, que requiere únicamente efectuar operaciones de demultiplexado, expansión y filtrado inverso. La Fig. 3 muestra un diagrama de bloques de las unidades funcionales del decodificador.

FIGURA 3

Diagrama de bloques del sistema básico del decodificador de audio



1114-03

La trama de audio ISO se aplica al decodificador Capa audio II-ISO/MPEG que desempaqueta los datos de la trama para recuperar los diversos elementos de información. La unidad de reconstrucción reconstruye las muestras sub-banda cuantificadas y una batería de filtros inversos transforma las muestras sub-banda, produciendo señales de audio MIC digitales uniformes a una velocidad de muestreo de 48 kHz.

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.),
- identificador del transmisor,
- canal del mensaje de tráfico (TMC, que puede utilizar un sintetizador vocal en el receptor).

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 (incorporado en el canal de servicio principal (MSC, *main service channel*) o en el FIC), 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, difundiendo cinco o seis programas radiofónicos de alta calidad), o puede estar dividida entre varios suministradores del servicio (por ejemplo, difundiendo de forma colectiva unos veinte programas radiofónicos de calidad media).

6.2 Múltiplex de servicio principal

En relación con la Fig. 1, 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 tres áreas en que pueden cursarse los datos auxiliares en el múltiplex del Sistema:

- el FIC que tiene una capacidad limitada, dependiendo del volumen de la MCI fundamental incluida,
- 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.

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 24 ms de duración. La atribución de bits, que varía de una trama a otra, y los factores de escala se codifican y multiplexan con las muestras sub-banda en cada trama de audio ISO. La unidad de empaquetamiento de trama (véase la Fig. 2) 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 (generalmente 2 kbit/s como mínimo) que puede utilizarse para llevar información íntimamente relacionada con el programa radiofónico. Ejemplos típicos son los textos, la indicación conversación/música y la información de DRC.

La trama de audio resultante cursa datos que representan 24 ms de duración de señal de audio estereofónica (o monofónica) más los PAD, para un solo programa que se ajusta al formato ISO 11172-3 Capa II, de forma que se la puede denominar una trama ISO. Ello permite utilizar en el receptor un decodificador Capa audio II-ISO/MPEG.

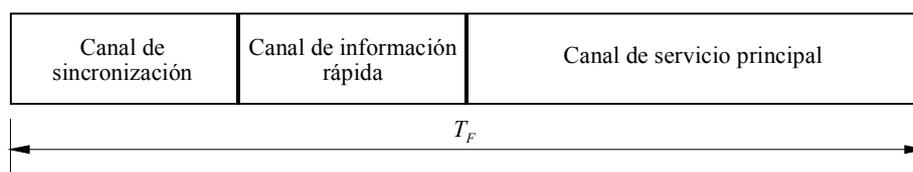
8 Capa de enlace de datos

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. 4). 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, 48 ms o 24 ms, dependiendo del modo de transmisión que se indica en el Cuadro 4.

FIGURA 4
Estructura de la trama múltiplex



CUADRO 4

Parámetros de transmisión del Sistema A

Parámetros	Modo I	Modo II	Modo III	Modo IV
Duración total de la trama, T_F	96 ms	24 ms	24 ms	48 ms
Duración del símbolo nulo, T_{NULL}	1,297 ms	324 μ s	168 μ s	648 μ s
Duración de los símbolos MDFO, T_s	1,246 ms	312 μ s	156 μ s	623 μ s
Inversa de la separación entre portadoras, T_u	1 ms	250 μ s	125 μ s	500 μ s
Duración del intervalo de guarda, Δ ($T_s = T_u + \Delta$)	246 μ s	62 μ s	31 μ s	123 μ s
Número de portadoras transmitidas, K	1 536	384	192	768

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, 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.

Los servicios de datos generales llevan codificación convolucional utilizando una velocidad seleccionada entre varias velocidades uniformes. 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

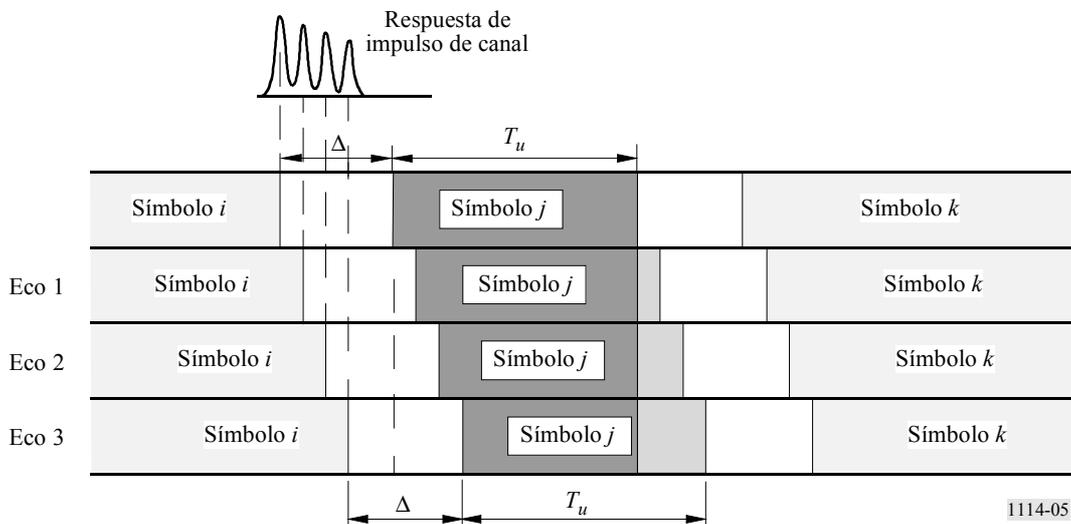
En presencia de propagación por trayectos múltiples, algunas portadoras aumentan su nivel debido a las señales constructivas y otras sufren interferencia destructiva (desvanecimiento selectivo en frecuencia). Por consiguiente, el Sistema proporciona un entrelazado de frecuencia reordenando el tren binario 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.

FIGURA 5
Contribución constructiva de ecos



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 para cada modo de transmisión.

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

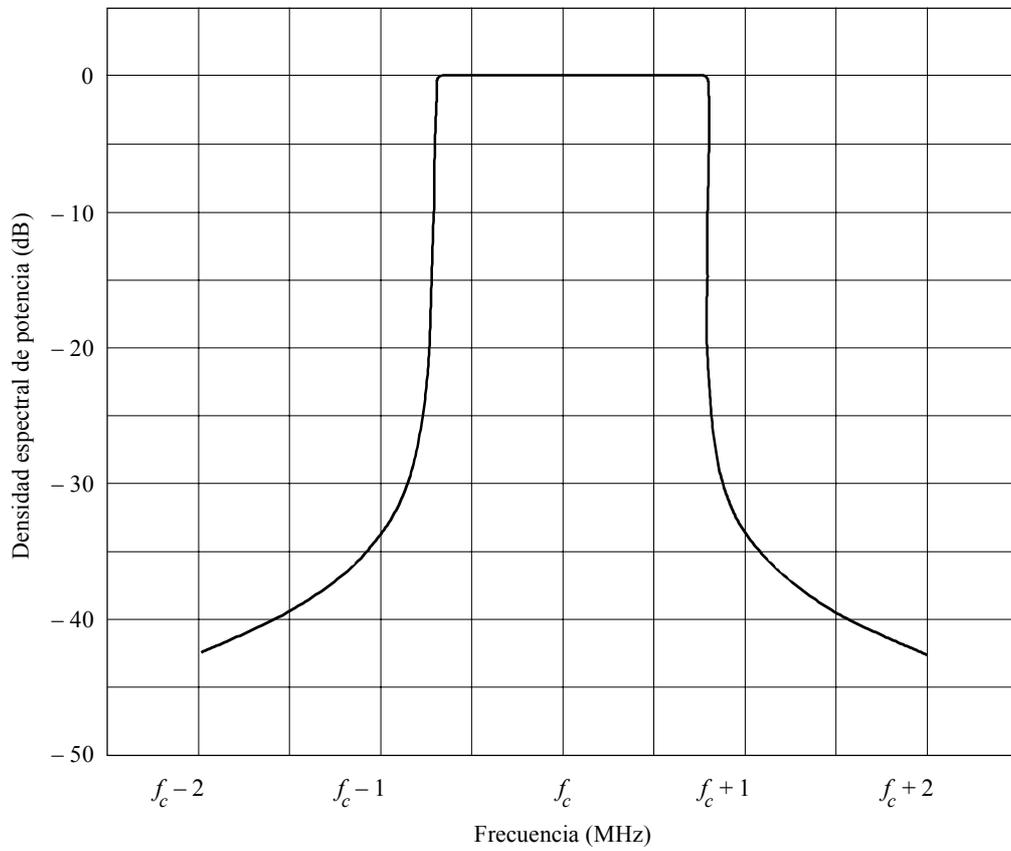
Como ejemplo, se representa en la Fig. 6 el espectro teórico del Sistema A para el Modo de transmisión II.

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. 7.

La plantilla de línea continua debe aplicarse a los transmisores en la banda de ondas métricas en zonas críticas para la interferencia de canal adyacente. La plantilla de línea de puntos debe aplicarse a transmisores en la banda de ondas métricas en otras circunstancias y a los transmisores en la banda de ondas decimétricas en casos críticos para la interferencia de canal adyacente.

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.

FIGURA 6
 Espectro teórico de la señal de transmisión del Sistema A en Modo II

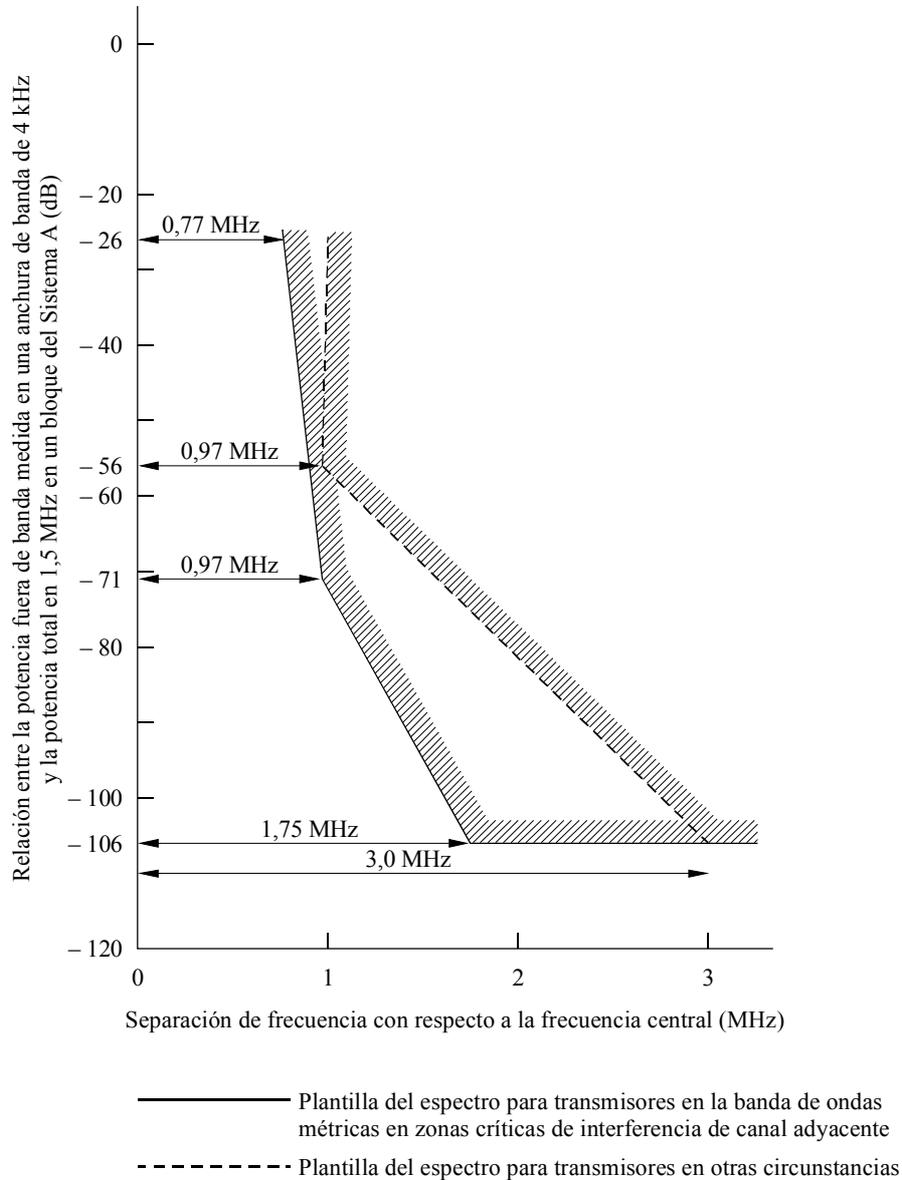


f_c : frecuencia central del canal

1114-06

FIGURA 7

Plantilla del espectro fuera de banda para una señal de transmisión del Sistema A
(todos los modos de transmisión)



1114-07

10 Características del comportamiento en radiofrecuencia del Sistema A

Se han realizado pruebas de evaluación en radiofrecuencia del Sistema A utilizando el Modo I en 226 MHz y el Modo II 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 las Figs. 8 y 9. Como ejemplo, para $R = 0,5$, los resultados medidos que aparecen en la Fig. 8 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.

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. 5 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 las Figs. 10 y 11.

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. 4 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 las Figs. 12 y 13.

FIGURA 8
BER en función de la relación S/N para el Sistema A
(Modo de transmisión I): canal gaussiano

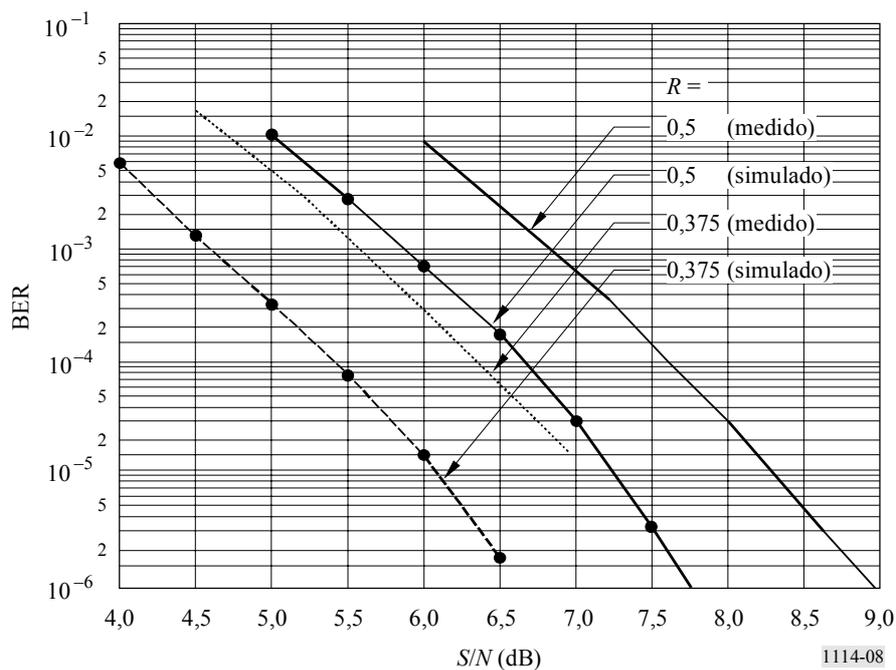


FIGURA 9

BER en función de la relación S/N para el Sistema A
(Modo de transmisión II ó III): canal gaussiano

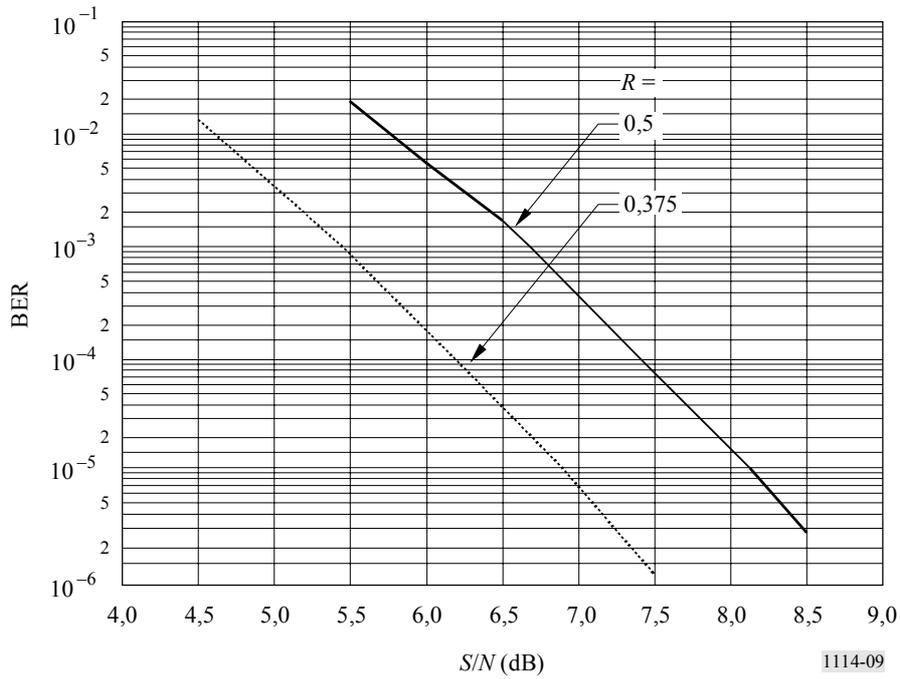


FIGURA 10

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

Canal de Rayleigh simulado (entorno urbano, desplazamiento a 15 km/h)

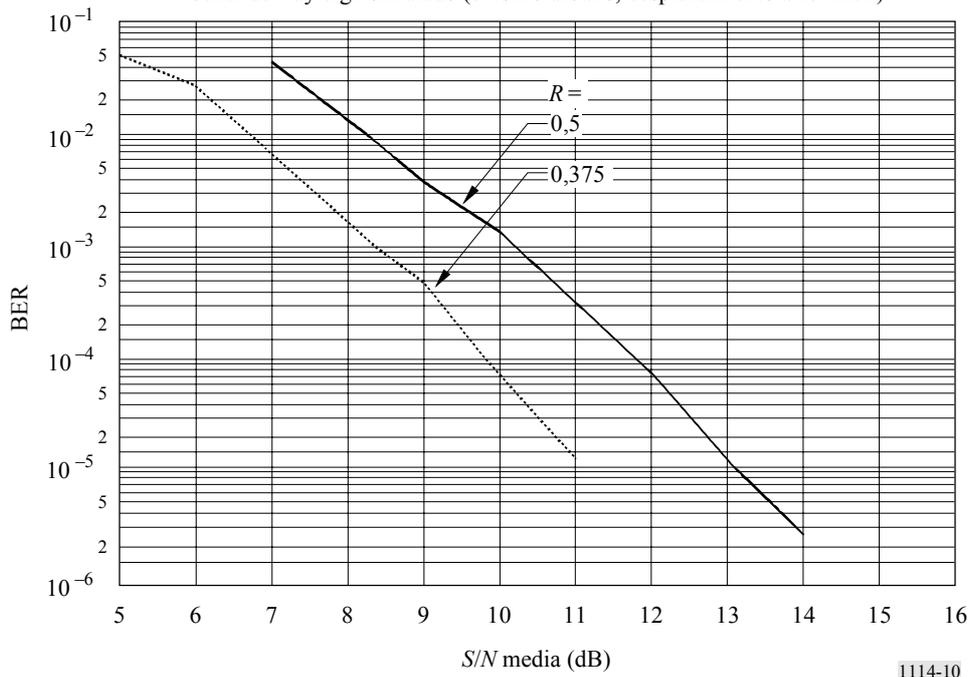


FIGURA 11
BER en función de la relación S/N para el Sistema A
(Modo de transmisión II, 1 480 MHz)

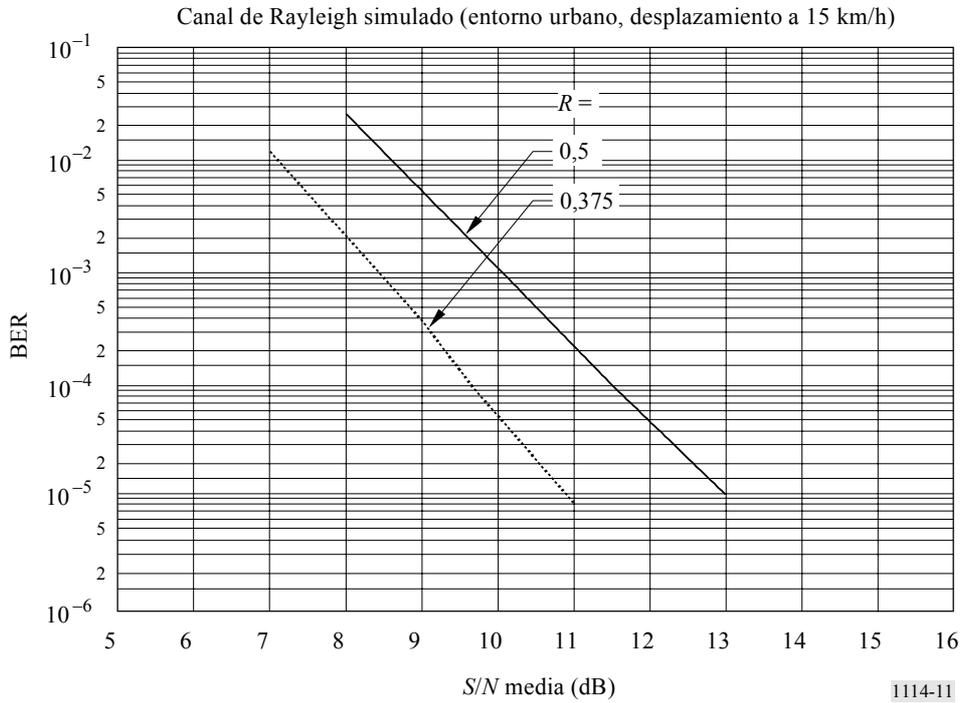


FIGURA 12
BER en función de la relación S/N para el Sistema A
(Modo de transmisión I, 226 MHz)

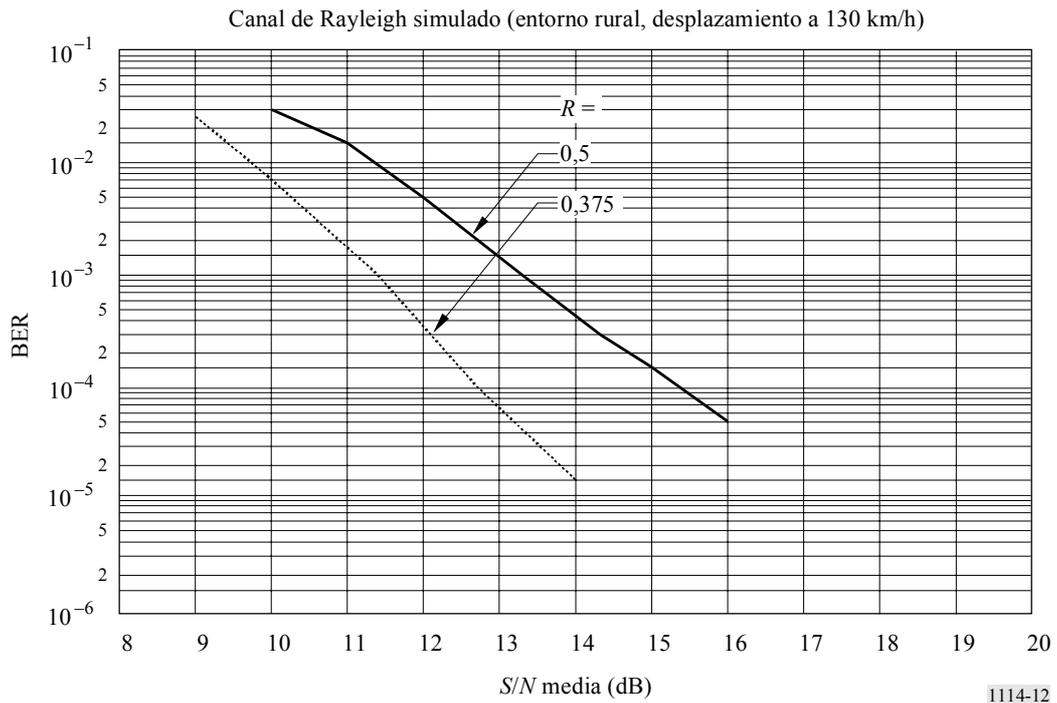
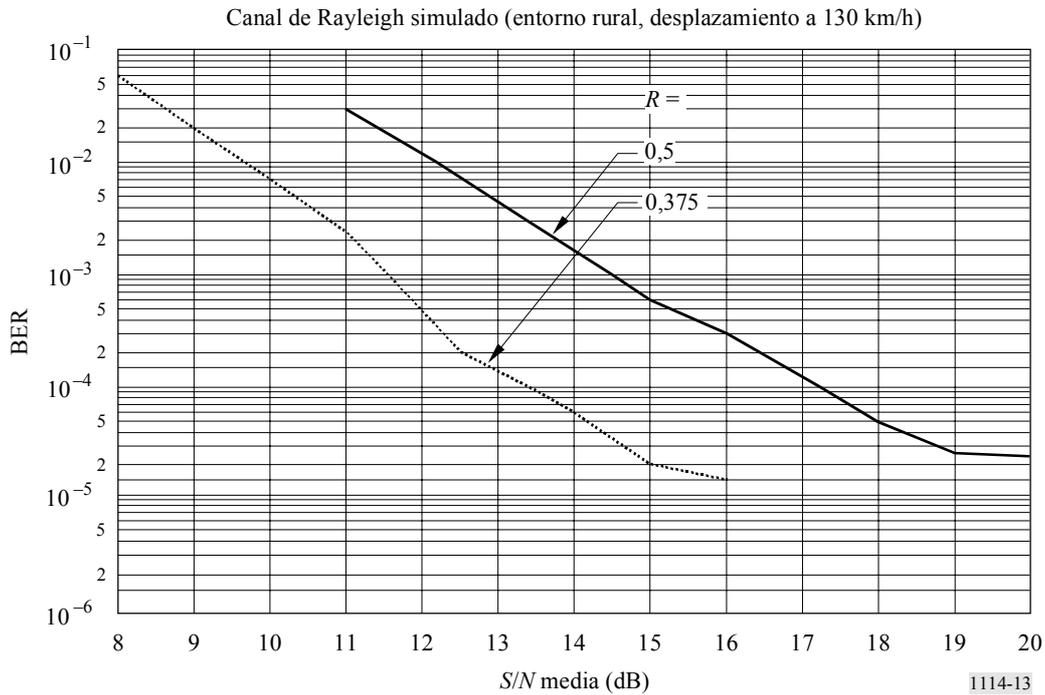


FIGURA 13

**BER en función de la relación S/N para el Sistema A
(Modo de transmisión II, 1 480 MHz)**



10.4 Calidad del sonido en función de la relación S/N en radiofrecuencia

Se han llevado a cabo una serie de evaluaciones subjetivas para determinar la calidad del sonido en función de la relación S/N . El trayecto de transmisión incluía equipos para establecer el valor de S/N en un canal gaussiano y, utilizando un simulador de canal con desvanecimiento, en un canal de Rayleigh. Se utilizaron dos «modelos» de simulación distintos en el caso de un canal de Rayleigh, los mismos descritos en los § 10.2 y 10.3.

En cada caso se realizó una prueba de escucha en la que se redujo el valor medio de la relación S/N en pasos de 0,5 dB para establecer, de forma secuencial, las dos condiciones siguientes:

- El principio de la degradación, que es el punto en el cual los efectos de los errores empiezan a ser apreciables. Se ha definido como el punto en el que pueden escucharse los efectos de tres o cuatro sucesos relacionados con los errores durante un periodo de unos 30 s.
- El punto de fallo, que es el punto en el cual un oyente probablemente dejaría de oír el programa debido a que es ininteligible o porque ya no experimenta ningún placer escuchándolo. Se ha definido como el punto en que aparecen de forma virtualmente continua los efectos de los sucesos relacionados con los errores y se produce silenciamiento dos o tres veces durante un periodo de unos 30 s.

En cada prueba se registraron dos valores de la relación S/N , para representar la opinión general del conjunto de ingenieros de audio. Los resultados aquí indicados son los valores medios de varias pruebas realizadas empleando distinto material de programa.

CUADRO 5

**Calidad del sonido en función de la relación S/N para el Sistema A
(Modo de transmisión I): canal gaussiano**

Codificación de fuente		Velocidad media de la codificación de canal	Principio de la degradación S/N (dB)	Punto de fallo S/N (dB)
Velocidad binaria (kbit/s)	Modo			
256	Estéreo	0,6	7,6	5,5
224	Estéreo	0,6	8,3	5,9
224	Estéreo	0,5	7,0	4,8
224	Estéreo conjunto	0,5	6,8	4,5
192	Estéreo conjunto	0,5	7,2	4,7
64	Mono	0,5	6,8	4,5

CUADRO 6

**Calidad del sonido en función de la relación S/N para el Sistema A
(Modo de transmisión II ó III): canal gaussiano**

Codificación de fuente		Velocidad media de la codificación de canal	Principio de la degradación S/N (dB)	Punto de fallo S/N (dB)
Velocidad binaria (kbit/s)	Modo			
256	Estéreo	0,6	7,7	5,7
224	Estéreo	0,6	8,2	5,8
224	Estéreo	0,5	6,7	4,9
224	Estéreo conjunto	0,5	6,6	4,6
192	Estéreo conjunto	0,5	7,2	4,6
64	Mono	0,5	6,9	4,5

CUADRO 7

**Calidad del sonido en función de la relación S/N para el Sistema A
canales de Rayleigh simulados (estéreo a 224 kbit/s,
velocidad media de codificación de canal 0,5)**

Modo	Frecuencia (MHz)	Modo de canal	Velocidad (km/h)	Principio de la degradación S/N (dB)	Punto de fallo S/N (dB)
I	226	Urbano	15	16,0	9,0
II	1 500	Urbano	15	13,0	7,0
I	226	Rural	130	17,6	10,0
II	1 500	Rural	130	18,0	10,0

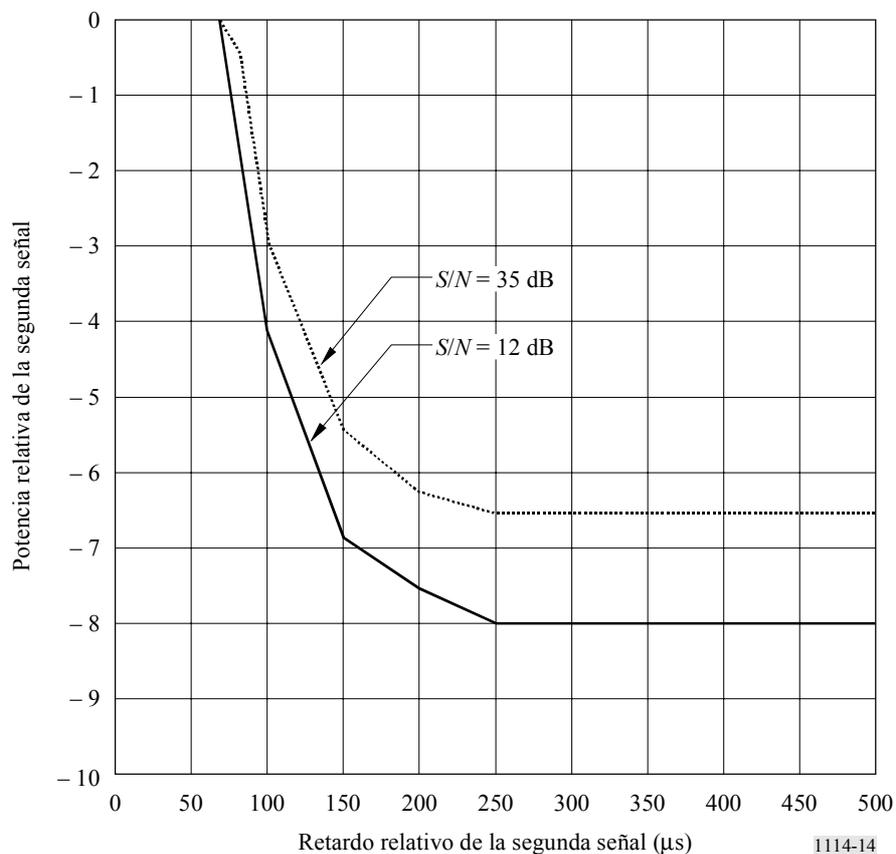
10.5 Capacidad de funcionamiento en redes de una sola frecuencia

Se procesó una señal de «Sistema A» (Modo de transmisión II) mediante un simulador de canal para producir dos versiones de la señal; una de ellas representando la señal recibida a través de una referencia consistente en un trayecto de transmisión sin retardo con potencia constante, y la otra representando una señal con retardo procedente de un segundo transmisor en una red de una sola frecuencia (o algunos ecos con gran retardo). El desplazamiento por efecto Doppler aplicado a la segunda señal era compatible con el límite de la capacidad del Sistema A. Se realizaron dos conjuntos de mediciones ajustando la relación S/N de la señal recibida total a 12 dB y 35 dB. La potencia relativa de la segunda señal, con retardo, se midió para una BER de 1×10^{-4} en el canal de datos a 64 kbit/s, y una velocidad media de codificación de canal de 0,5, a medida que aumentaba el retardo. Los resultados se representan en la Fig. 14.

En el Modo de transmisión II la magnitud del intervalo de guarda es de $64 \mu\text{s}$ de forma que los resultados indican que no se produce ninguna degradación siempre que la segunda señal caiga dentro del intervalo de guarda.

FIGURA 14

Ejemplo de la capacidad de la red de una sola frecuencia para el Sistema A (Modo de transmisión II)



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-T 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, DVB-T.

En la Fig. 15 se muestra el concepto de transmisión ISDB-T_{SB} e ISDB-T de banda completa, y su recepción.

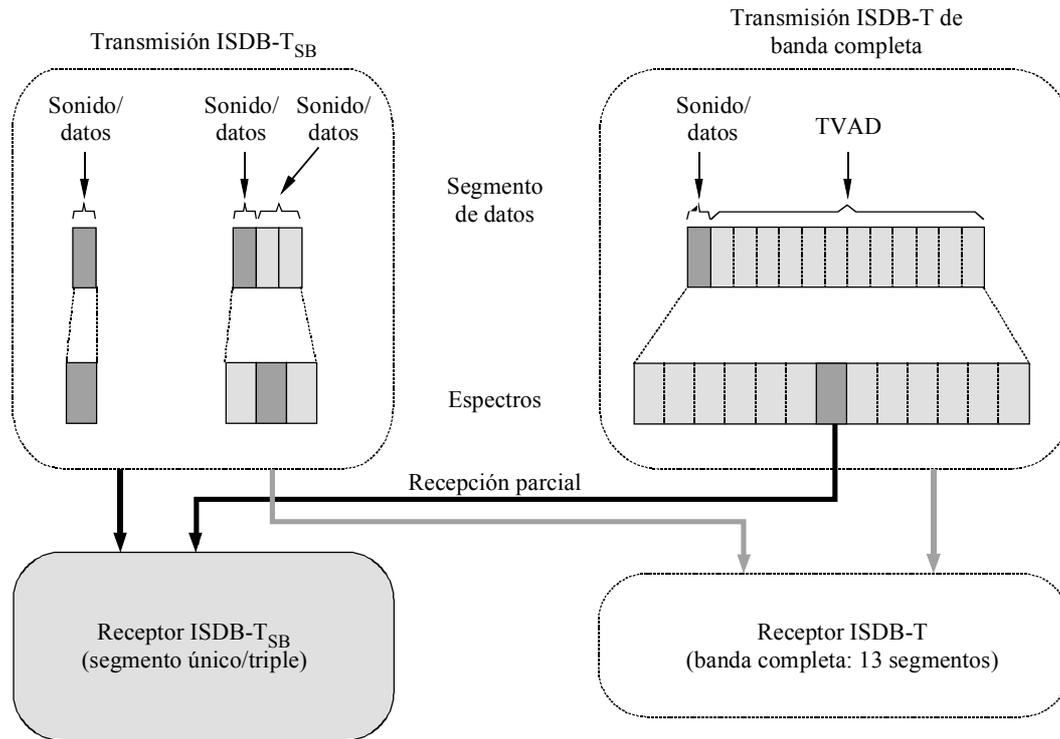
2 Características del Sistema F

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.

FIGURA 15

Concepto de transmisión ISDB-T_{SB} e ISDB-T de banda completa, y su recepción



TVAD: Televisión de alta definición

1114-15

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) y 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 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

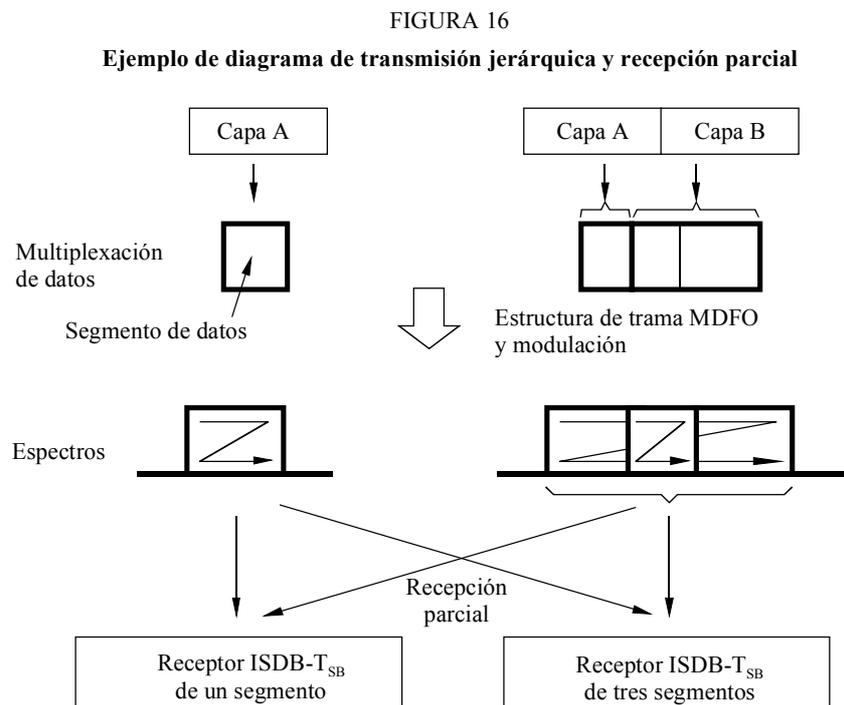
Casi todos los dispositivos se pueden fabricar en tamaño pequeño y con poco peso mediante el desarrollo de microcircuitos de integración en gran escala. El aspecto más importante para la reducción del tamaño de la batería es que el consumo de potencia del dispositivo sea bajo. Cuanto más lento sea el 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. 16 se presenta un ejemplo de transmisión jerárquica y recepción parcial.



1114-16

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 8.

CUADRO 8

Parámetros de transmisión para la ISDB-T_{SB}

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)		$BWf \times 1000/14$		
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)		$1000/C_s$		
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 ($N_s = 1$) 1024 ($N_s = 3$)	1024 ($N_s = 1$) 2048 ($N_s = 3$)
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. 17 se muestra el diagrama funcional de bloques de la codificación de canal del sistema ISDB-T_{SB}.

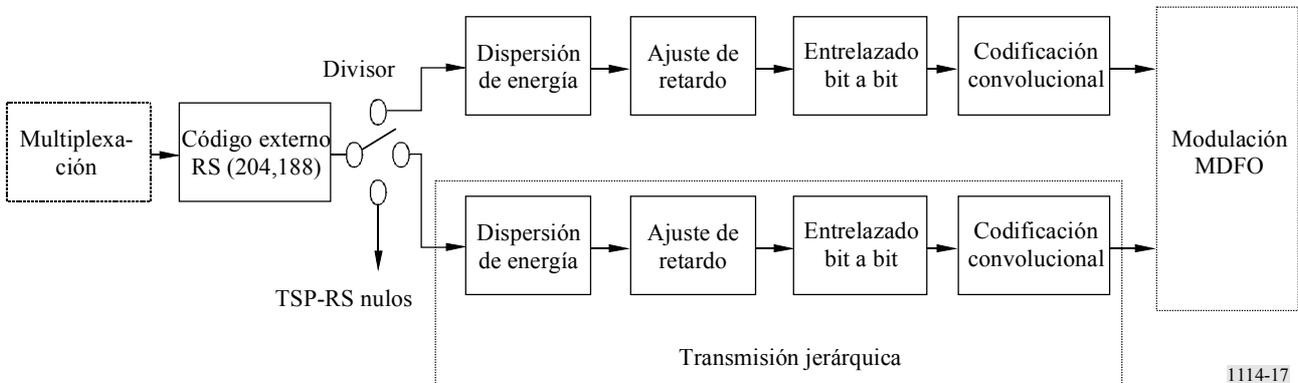
La duración de la trama múltiplex coincide con la trama MDFO mediante la cuenta de los bytes en la trama múltiplex utilizando un reloj más rápido que el reloj de muestreo IFFT que se describe en el punto anterior.

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 17

Diagrama de codificación de canal



1114-17

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.

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

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

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. 18. El TSP protegido contra errores RS se denomina también TSP de transmisión.

FIGURA 18
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) 1114-18

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. 19 y 20. Después del entrelazados 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.

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 la 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.

FIGURA 19
Diagrama de bloques de la modulación

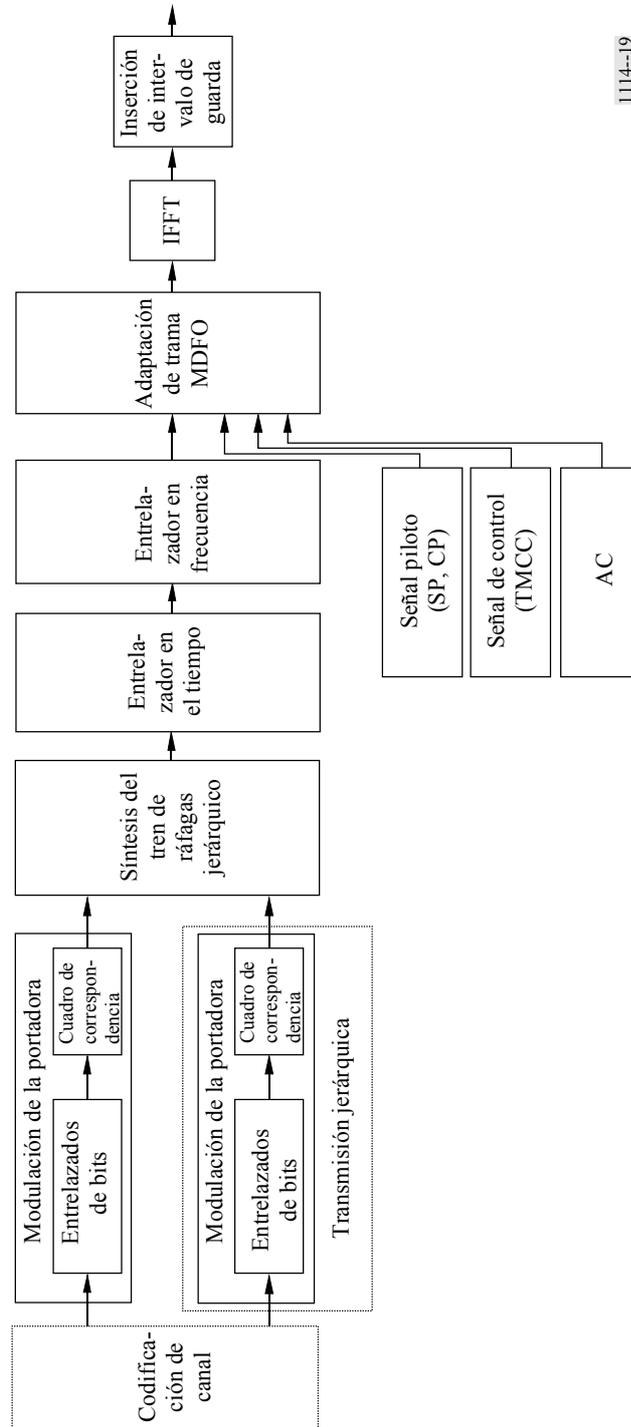
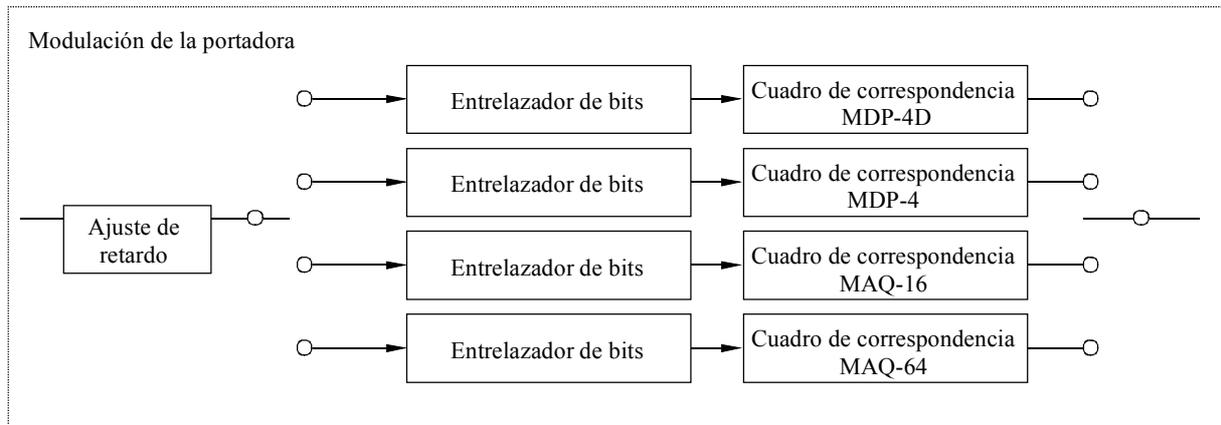


FIGURA 20
Configuración del bloque de modulación de la portadora



1114-20

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

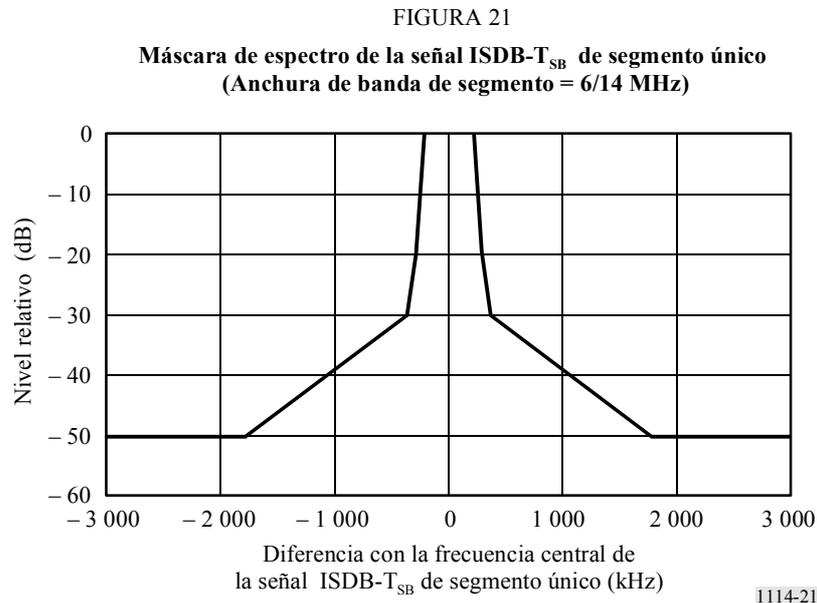
Los segmentos de datos se disponen en tramas de segmentos MDFO cada 204 símbolos añadiendo pilotos como CP, SP, TMCC y AC. La fase de modulación de CP es fija en cada símbolo MDFO. SP se inserta cada 12 portadoras y cada 4 símbolos MDFO en el caso del método de modulación coherente. La portadora TMCC 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. 21 y el Cuadro 9. 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.

En la Fig. 22 y el Cuadro 10 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.



CUADRO 9

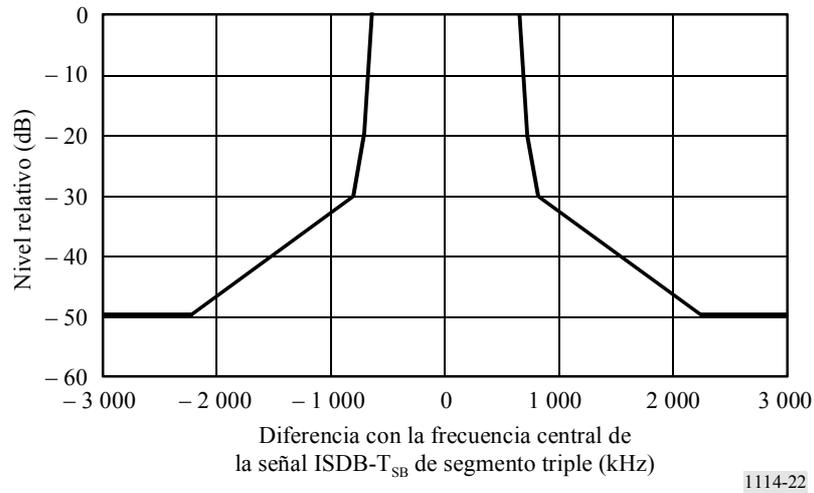
**Puntos de corte de la máscara de espectro para la
transmisión de segmento único (Anchura
de banda de segmento = 6/14 MHz)**

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 1 – 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 ó 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.

FIGURA 22

Máscara de espectro de la señal ISDB-T_{SB} de segmento triple
(Anchura de banda de segmento = 6/14 MHz)



CUADRO 10

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 multirrayecto. Las mediciones de la BER en función de C/N en el canal de transmisión se realizaron en las siguientes condiciones (véase el Cuadro 11).

CUADRO 11

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

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. 23, 24 y 25 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.

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. 26 se muestran los resultados.

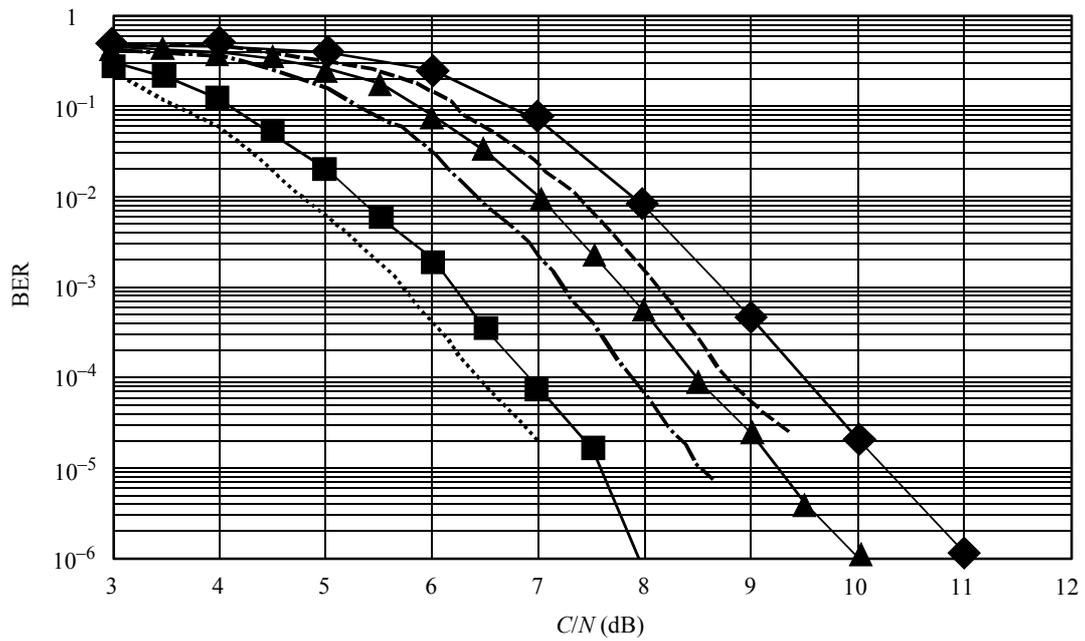
9.3 BER en función de C/N en un canal con desvanecimiento Rayleigh

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. 27 se presentan los resultados.

FIGURA 23

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

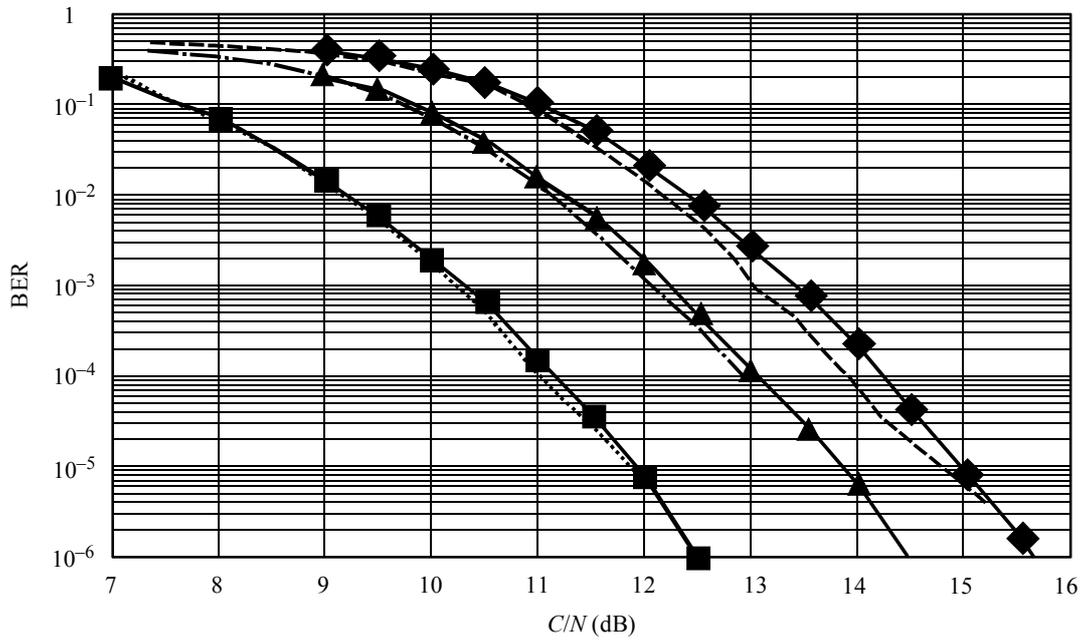


- Relación de codificación: 1/2 (medida)
- ▲— Relación de codificación: 2/3 (medida)
- ◆— Relación de codificación: 3/4 (medida)
- Relación de codificación: 1/2 (simulada)
- .-.- Relación de codificación: 2/3 (simulada)
- Relación de codificación: 3/4 (simulada)

FIGURA 24

BER antes de la decodificación RS en función de C/N

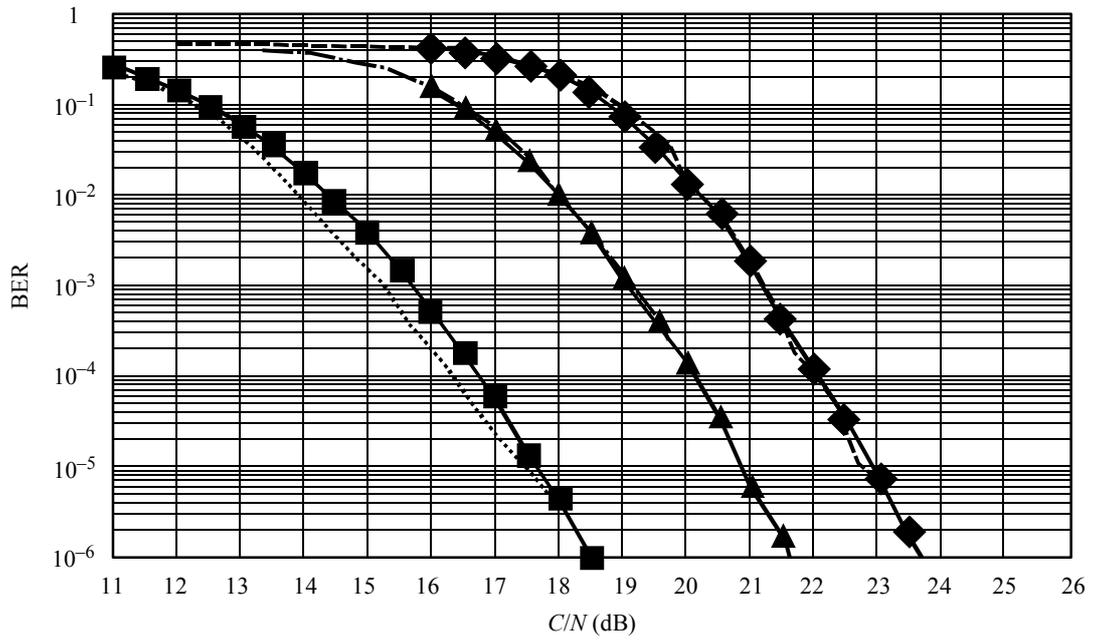
(Modo de transmisión: 3, modulación de la portadora: MAQ-16, entrelazado en el tiempo: 407 ms): canal gaussiano



- Relación de codificación: 1/2 (medida)
- ▲— Relación de codificación: 2/3 (medida)
- ◆— Relación de codificación: 3/4 (medida)
- Relación de codificación: 1/2 (simulada)
- .-.-.- Relación de codificación: 2/3 (simulada)
- - - - Relación de codificación: 3/4 (simulada)

FIGURA 25

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



- Relación de codificación: 1/2 (medida)
- ▲— Relación de codificación: 3/4 (medida)
- ◆— Relación de codificación: 7/8 (medida)
- Relación de codificación: 1/2 (simulada)
- .-.-.- Relación de codificación: 3/4 (simulada)
- - - - Relación de codificación: 7/8 (simulada)

FIGURA 26
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

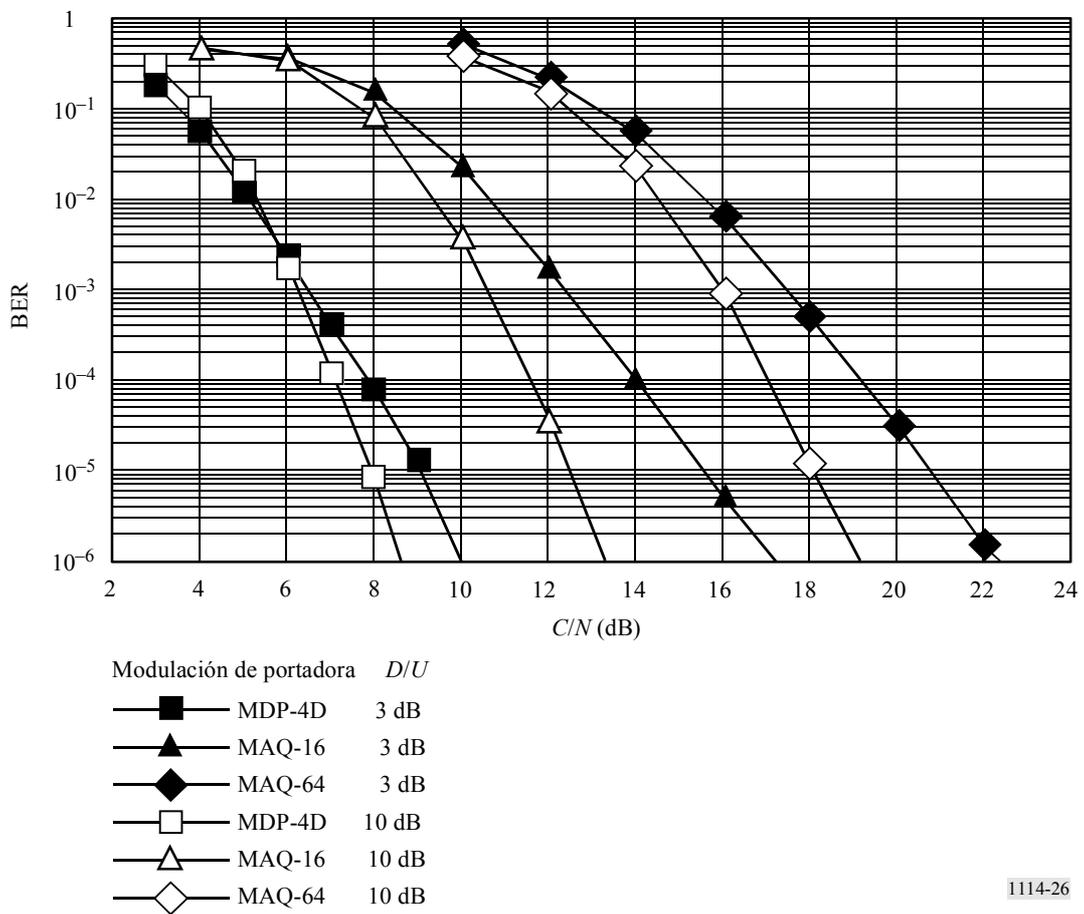
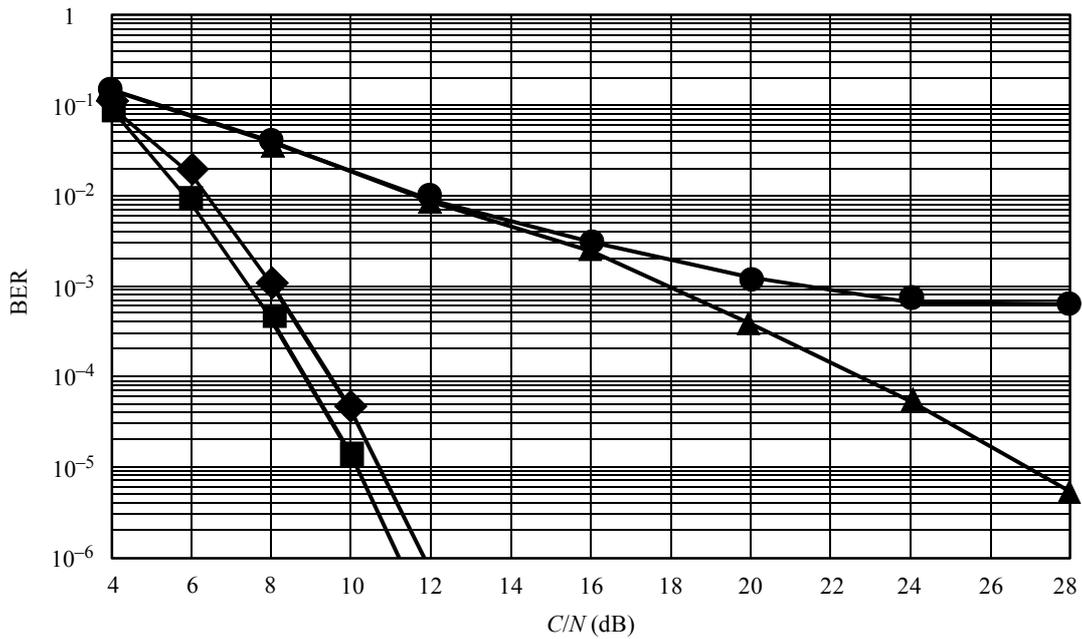


FIGURA 27

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



- Entrelazado en el tiempo: 407 ms
Frecuencia de desvanecimiento: 20 Hz
- ▲ Entrelazado en el tiempo: 0 ms
Frecuencia de desvanecimiento: 5 Hz
- ◆ Entrelazado en el tiempo: 407 ms
Frecuencia de desvanecimiento: 5 Hz
- Entrelazado en el tiempo: 0 ms
Frecuencia de desvanecimiento: 20 Hz

ANEXO 4

Sistema digital C**1 Consideraciones generales del sistema**

El Sistema digital C utiliza tecnología de funcionamiento en la banda y en el mismo canal (IBOC, *in-band-channel*) para facilitar la introducción de la radiodifusión sonora digital. La radiodifusión sonora digital proporciona a los organismos de radiodifusión la posibilidad de mejorar su servicio analógico ofreciendo una mayor fidelidad de audio, mejorando la robustez de la señal y ampliando los servicios auxiliares. La tecnología IBOC permite a los organismos de radiodifusión introducir estas mejoras sin necesidad de utilizar nuevas atribuciones de espectro para la señal digital ya que las estaciones existentes pueden 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.

2 Capas IBOC

Las especificaciones de comportamiento detalladas de IBOC se organizan en términos del modelo de capas de interconexión de sistemas abiertos (ISA) de la Organización Internacional de Normalización (ISO). Cada capa ISA del sistema de radiodifusión tiene su correspondiente capa par, en el sistema de recepción. 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 híbrida 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 reflejan 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.

En los puntos siguientes aparecen:

- Consideraciones generales sobre las formas de onda y los espectros.
- Consideraciones generales sobre el control del sistema, incluidos los modos de servicio disponibles.
- Consideraciones generales sobre los canales lógicos.
- Discusión de alto nivel de cada una de las componentes funcionales que forman parte de la interfaz aérea MF de la L1.

2.2 Formas de onda y espectros

El diseño proporciona un medio flexible de introducción a un sistema de radiodifusión digital proporcionando tres nuevos tipos de forma de onda: híbrida, híbrida ampliada y completamente digital. Los tipos híbrida e híbrida ampliada mantienen la señal MF analógica y el sistema completamente digital no. Las tres formas de ondas 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), que es un esquema de modulación paralelo en el cual el tren de datos modula un gran número de subportadoras ortogonales que se transmiten simultáneamente. 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 12 se definen los parámetros de temporización de símbolo:

CUADRO 12
Parámetros de temporización de símbolos

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 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

2.2.1 Forma de onda híbrida

La señal digital se transmite en bandas laterales principales primarias a cada lado de la señal MF analógica en la forma de onda híbrida. El nivel de potencia de cada banda lateral se encuentra aproximadamente a 23 dB por debajo de la potencia total de la señal MF analógica. La señal analógica puede ser monofónica o estereofónica y puede incluir canales de autorización de comunicaciones complementarias, (SCA, *subsidiary communications authorization*).

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 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.

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. 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. Existe un total de once 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 diez 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 cuatro canales lógicos primarios que se utilizan con las formas de onda híbrida y completamente digital. Se denominan P1, P2, P3 y servicio de datos IBOC primario (PIDS). En el Cuadro 13 se indica la velocidad de transmisión de la información teórica soportada por cada canal lógico primario en función del modo de servicio primario.

CUADRO 13

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	PIDS	
MP1	25	74	0	1	Híbrida
MP2	25	74	12	1	Híbrida ampliada
MP3	25	74	25	1	Híbrida ampliada
MP4	25	74	50	1	Híbrida ampliada
MP5	25	74	25	1	Híbrida ampliada, completamente digital
MP6	50	49	0	1	Híbrida ampliada, completamente digital
MP7	25	98	25	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 14 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 14

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	50	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 P3 se diseñan para transportar señales de audio y de datos. Los canales S1 a S5 pueden configurarse para cursar datos o señal de sonido ambiente. 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 Componentes funcionales

Este punto incluye una descripción de alto nivel de cada bloque funcional de L1 y el flujo de señal asociado. En la Fig. 28 aparece 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.

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.

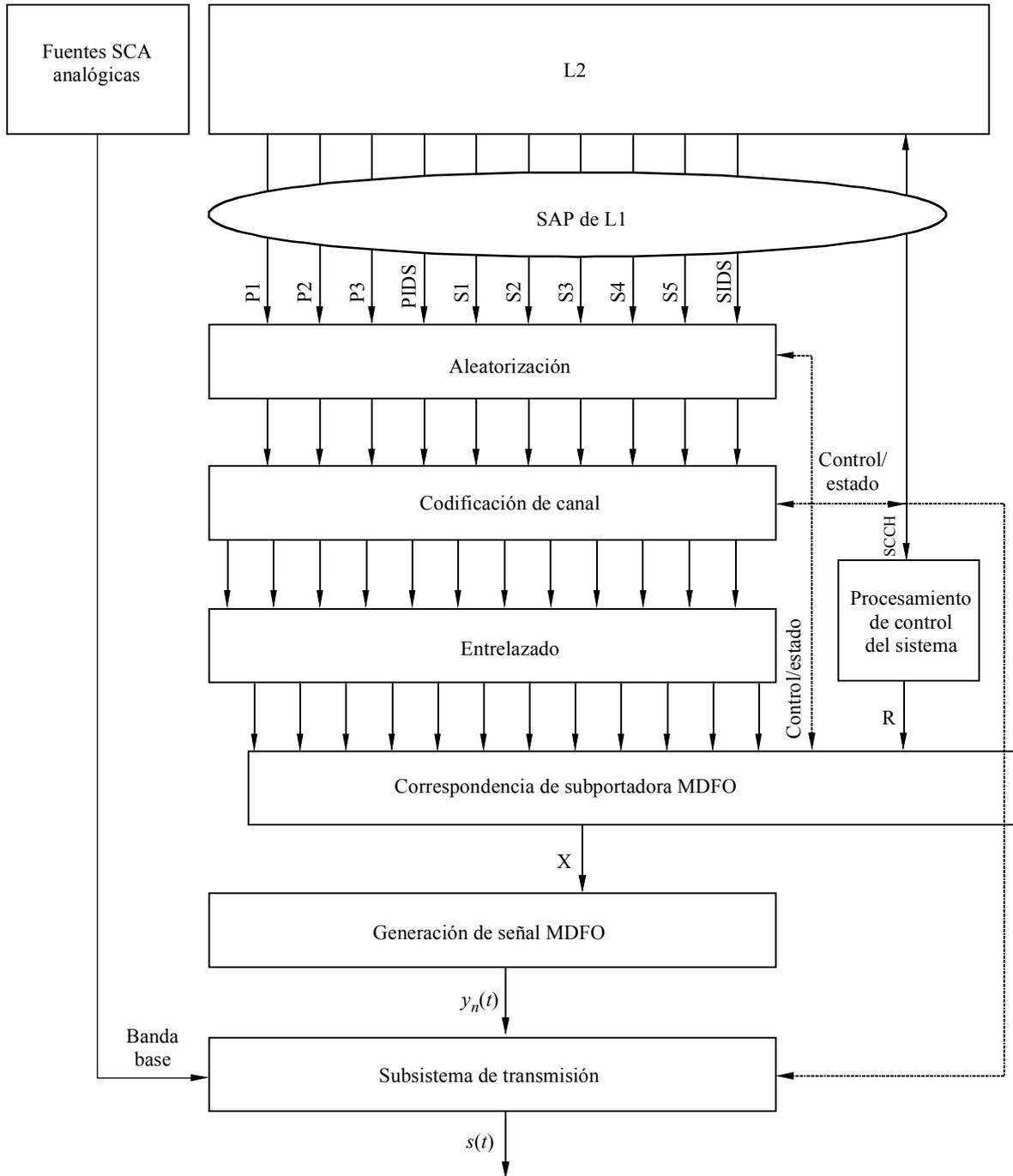
2.5.2 Aleatorización

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 C utiliza códigos convolucionales de Viterbi con índice de codificación efectivo de 2/5. 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.

FIGURA 28
 Diagrama de bloques funcional de L1 de la interfaz aérea de MF



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).

2.5.5 Procesamiento de control del sistema

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

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 \mathbf{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

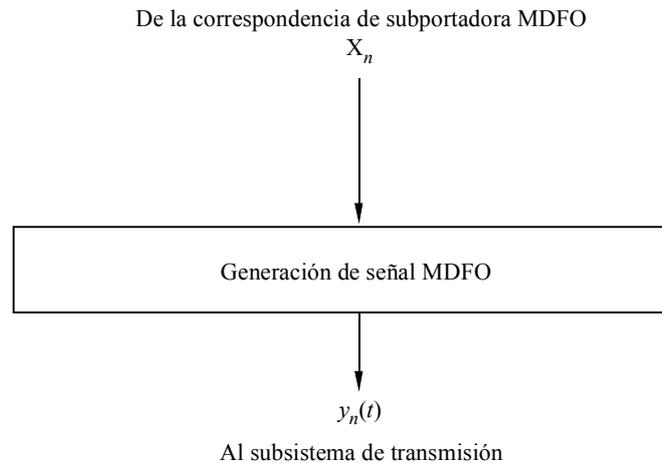
Esta función realiza el formateo de la forma de onda en banda base para la transmisión a través del canal en la banda de ondas métricas. Las subfunciones principales incluyen la concatenación de símbolo y la conversión ascendente de frecuencias. Además, cuando se transmite una forma de onda híbrida, esta función modula la fuente 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. 29 aparece un diagrama de bloques conceptual de la generación de señal MDFO.

FIGURA 29

Diagrama de bloques conceptual de la generación de señal MDFO

1114-29

La entrada a la generación de señal MDFO es un vector complejo 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 parte digital de la señal del Sistema digital C 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 30

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

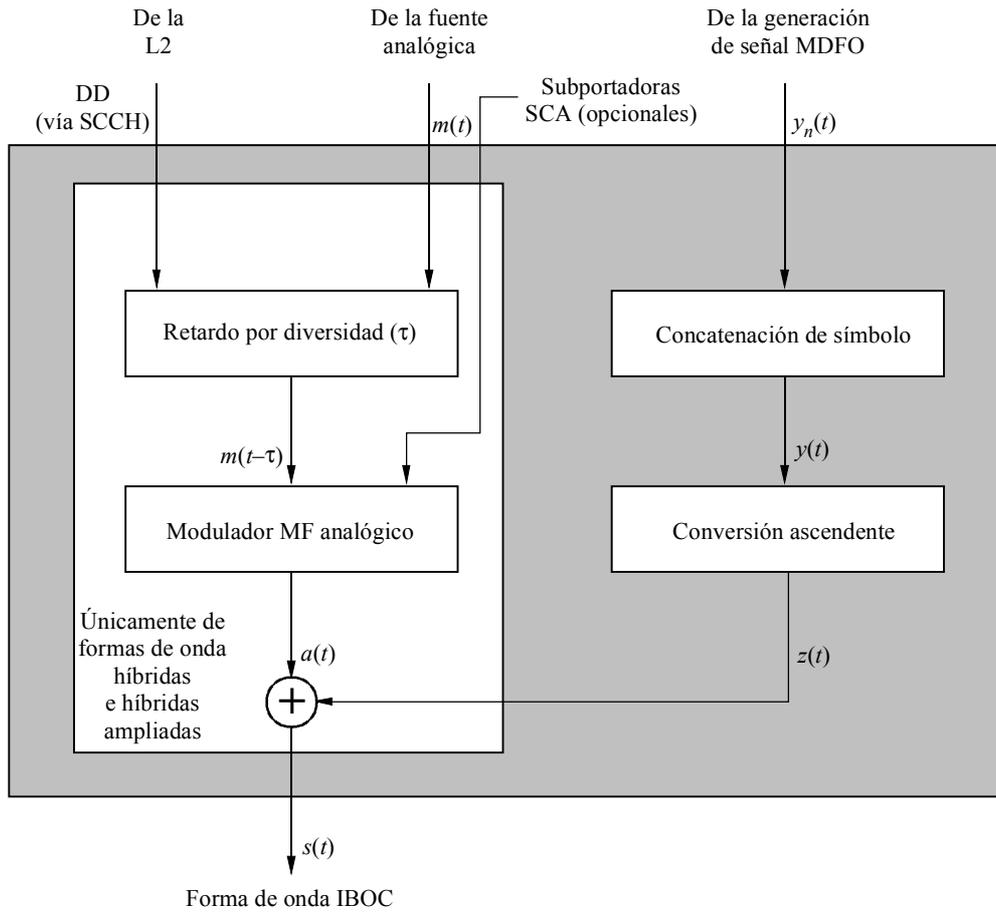
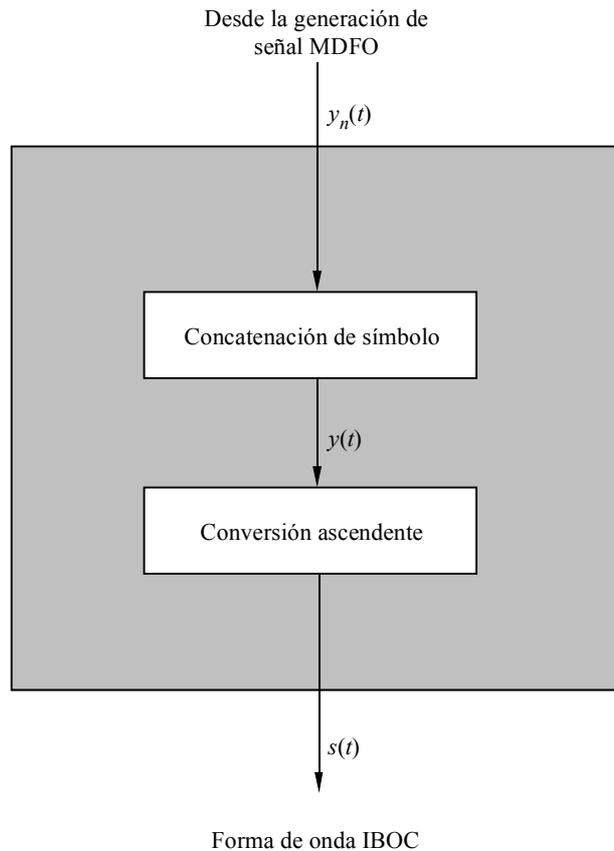


FIGURA 31

Diagrama de bloques funcional del subsistema de transmisión completamente digital



1114-31

3.2.2 Retardo por diversidad

Cuando se realiza la radiodifusión de formas de onda híbridas e híbridas ampliadas, $z(t)$ se combina con la señal MF analógica $a(t)$. El primer paso en la generación de $a(t)$ es la aplicación del DD a la señal analógica en banda base $m(t)$. El bit de control del DD, recibido de la L2 a través del SCCH, es utilizado por las capas de protocolo superiores para activar o desactivar el DD. Si DD es 0, se desactiva el DD; si DD es 1, se activa. En este último caso, 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} . En el Sistema digital C, las señales analógicas y digitales transportan el mismo programa de audio con el audio analógico retardado con respecto al audio digital correspondiente un intervalo T_{dd} a la salida del combinador analógico/digital. 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.

3.3 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 $150 \mu\text{s}$ ¹. 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 GPS². 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 estaciones³.

4 Niveles de banda lateral digital

La extrapolación de amplitud de las subportadoras MDFO dentro de cada banda lateral digital aparece en el Cuadro 15 para las formas de onda híbrida, híbrida ampliada y completamente digital. Los valores 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 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.

Para las formas de onda híbrida e híbrida ampliada, los valores se eligieron de forma que la potencia media total en una banda lateral digital primaria (superior o inferior) se encuentra 23 dB por debajo de la potencia total de la portadora MF analógica sin modular.

¹ $150 \mu\text{s}$ equivale a una distancia de propagación de 45 km.

² Las estaciones enganchadas al GPS se denominan estaciones de nivel I: instalaciones de transmisión enganchada al GPS.

³ Nivel II: Instalaciones de transmisión no enganchada al GPS.

Para la forma de onda completamente digital, los valores 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 20 dB por debajo de la potencia total de las bandas laterales digitales primarias completamente digitales.

CUADRO 15

Extrapolación de la subportadora MDFO

Forma de onda	Modo	Bandas laterales	Notación del factor de escala de amplitud	Factor de escala de amplitud ⁽¹⁾ (con respecto a la potencia de MF analógica total)	Factor de escala de amplitud ⁽²⁾ (con respecto a la potencia en MF analógica total) (dB)
Híbrida	MP1	Primaria	a_0	$5,123 \times 10^{-3}$	-41,39
Híbrida ampliada	MP2-MP7	Primaria	a_0	$5,123 \times 10^{-3}$	-41,39
Completamente digital	MP5-MP7	Primaria	a_2	$1,67 \times 10^{-2}$	-31,39
		Secundaria	a_4	$5,123 \times 10^{-3}$	-41,39
	MS1-MS4	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) Factor de escala de amplitud por gama de subportadora IBOC.

(2) Factor de escala de amplitud (dB) medido en una anchura de banda de 1 kHz.

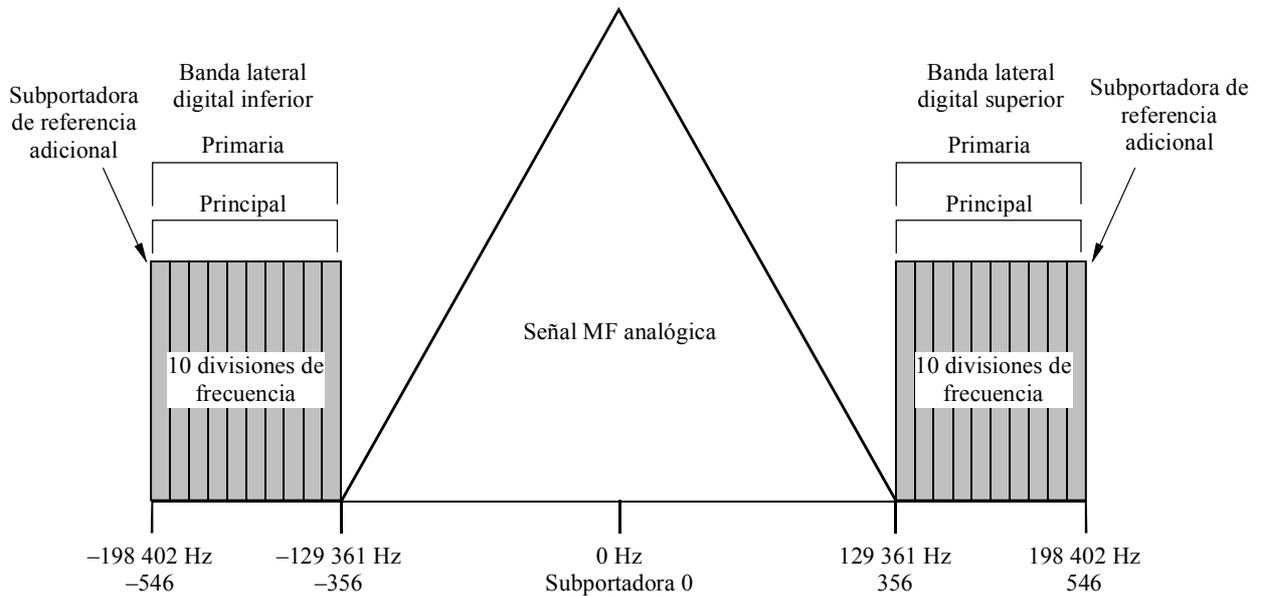
5 Espectro para el modo híbrido

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 ó -356 a -545 (véanse la Fig. 32 y el Cuadro 16). 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 las bandas laterales principales primarias se extrapola uniformemente mediante un factor de escala de amplitud.

FIGURA 32

Espectro de la forma de onda híbrida - Modo de servicio MP1

(El nivel de las subportadoras digitales es tal que la potencia total de estas portadoras se encuentra 20 dB por debajo de la potencia nominal de la portadora analógica con MF)



1114-32

CUADRO 16

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 subportadora	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_0	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional 546
Principal primaria inferior	10	B	-356 a -546	-129 361 a -198 402	a_0	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional -546

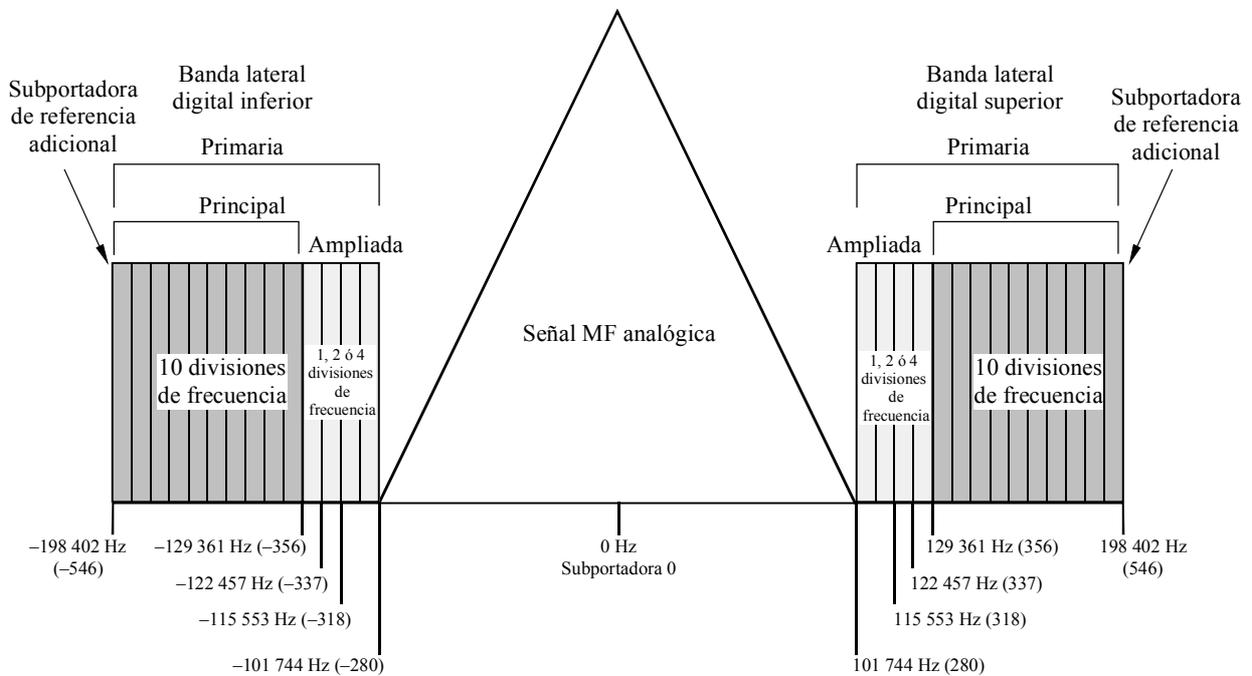
6 Espectro para el modo híbrido ampliado

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 ó -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), ó 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) ó -280 a -355 (cuatro divisiones de frecuencia). Las subportadoras en las bandas laterales ampliadas primarias se encuentran uniformemente extrapoladas por el mismo factor de escala de amplitud, a_0 , que las bandas laterales principales primarias (véanse la Fig. 33 y el Cuadro 17).

FIGURA 33

Espectro de la forma de onda híbrida ampliada - Modos de servicio MP2 a MP4

(El nivel de las subportadoras digitales es tal que la potencia total de estas portadoras se encuentra 20 dB por debajo de la potencia nominal de la portadora analógica con MF)



CUADRO 17

Resumen espectral de la forma de onda híbrida ampliada – Modos de servicio MP2 a MP4

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_0	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional 546
Principal primaria inferior	10	B	-356 a -546	-129 361 a -198 402	a_0	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_0	6 540	Ninguno
Ampliada primaria inferior (1 división de frecuencia)	1	B	-337 a -355	-122 457 a -128 997	a_0	6 540	Ninguno
Ampliada primaria superior (2 divisiones de frecuencia)	2	A	318 a 355	115 553 a 128 997	a_0	13 444	Ninguno
Ampliada primaria inferior (2 divisiones de frecuencia)	2	B	-318 a -355	-115 553 a -128 997	a_0	13 444	Ninguno
Ampliada primaria superior (4 divisiones de frecuencia)	4	A	280 a 355	101 744 a 128 997	a_0	27 253	Ninguno
Ampliada primaria inferior (4 divisiones de frecuencia)	4	B	-280 a -355	-101 744 a -128 997	a_0	27 253	Ninguno

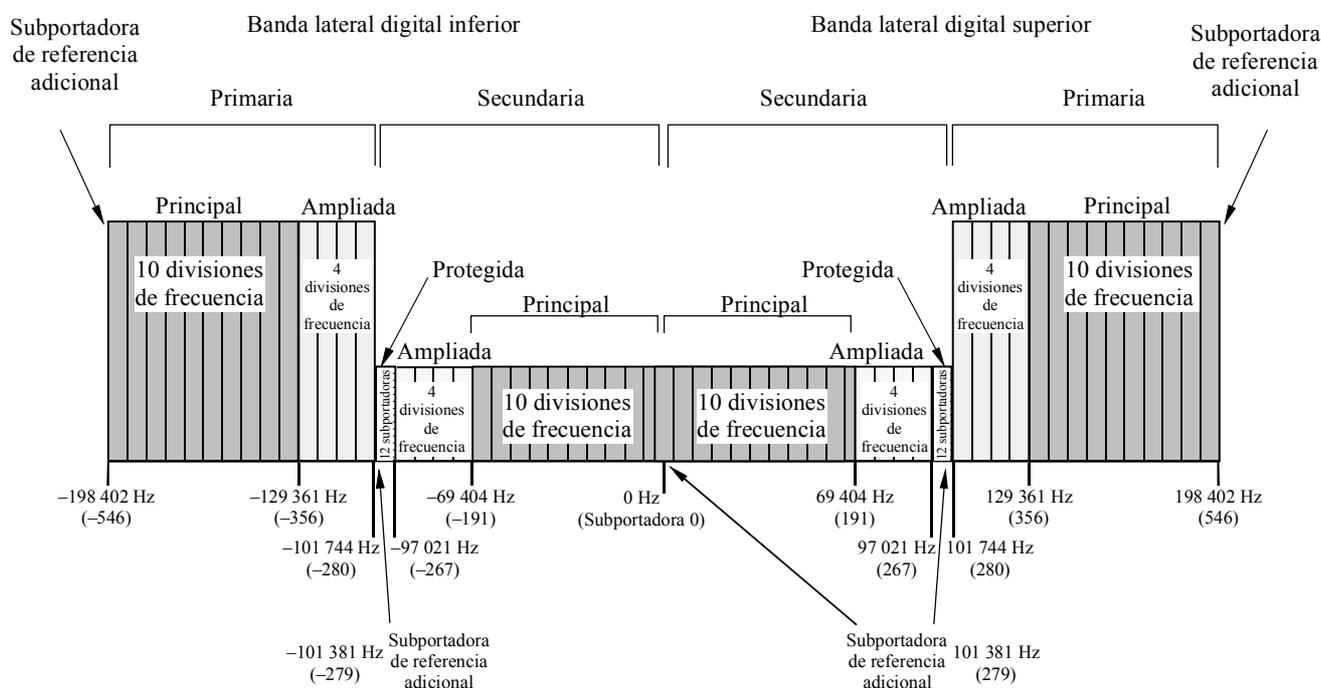
7 Espectro para el modo completamente digital

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. 34 se representa el espectro de la forma de onda completamente digital.

FIGURA 34

Espectro de la forma de onda completamente digital - Modos de servicio MP5 a MP7, MS1 a MS4

(El nivel de las subportadoras digitales es tal que la potencia total de estas portadoras no se encuentran más de 10 dB por debajo de la potencia nominal de la portadora analógica con MF que sustituye)



1114-34

Además de las diez divisiones de frecuencia principales, en cada banda lateral primaria de la forma de onda completamente digital existen cuatro divisiones de frecuencia ampliada. Cada banda lateral secundaria 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 ó -1 a -190. La banda lateral ampliada secundaria superior incluye la 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 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_2 . 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_4 - a_7 .

CUADRO 18

Resumen espectral de la forma de onda completamente digital – Modos de servicio MP5 a MP7, 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_2	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional 546
Principal primaria inferior	10	B	-356 a -546	-129 361 a -198 402	a_2	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional -546
Ampliada primaria superior	4	A	280 a 355	101 744 a 128 997	a_2	27 253	Ninguno
Ampliada primaria inferior	4	B	-280 a -355	-101 744 a -128 997	a_2	27 253	Ninguno
Principal secundaria superior	10	B	0 a 190	0 a 69 041	a_2	69 041	Incluye la subportadora de referencia adicional 0
Principal secundaria inferior	10	A	-1 a -190	-363 a -69 041	a_2	68 678	Ninguno
Ampliada secundaria superior	4	B	191 a 266	69 404 a 96 657	a_4 - a_7	27 253	Ninguno
Ampliada secundaria inferior	4	A	-191 a -266	-69 404 a -96 657	a_4 - a_7	27 253	Ninguno
Protegida secundaria superior	No aplicable	No aplicable	267 a 279	97 021 a 101 381	a_4 - a_7	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_4 - a_7	4 360	Incluye la subportadora de referencia adicional 279