

RECOMENDACIÓN UIT-R BO.1130-2

SELECCIÓN DE UN SISTEMA DE RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL PARA LOS RECEPTORES INSTALADOS EN VEHÍCULOS, PORTÁTILES Y FIJOS DEL SERVICIO DE RADIODIFUSIÓN (SONORA) POR SATÉLITE EN LA GAMA DE FRECUENCIAS 1400-2700 MHz

(Cuestión UIT-R 93/10)

(1994-1995-1999)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que hay en todo el mundo un interés creciente por la radiodifusión sonora digital para receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos en las bandas del servicio de radiodifusión (sonora) por satélite (SRS (sonora)) atribuidas en la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) y que se están considerando diversos servicios de radiodifusión sonora digital por satélite para dar cobertura nacional y supranacional;
- b) que el UIT-R había ya adoptado las Recomendaciones UIT-R BS.774 y UIT-R BO.789 para indicar las características técnicas y operativas necesarias de los sistemas de radiodifusión sonora digital dirigida a receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos en aplicaciones terrenales y por satélite, respectivamente;
- c) que para cumplir los requisitos de la Resolución UIT-R 1, cuando las Recomendaciones proporcionen información sobre sistemas múltiples, debe realizarse una evaluación de dichos sistemas e incluirse los resultados de la citada evaluación en la Recomendación;
- d) que los tres sistemas recomendados (Sistemas digitales A, B y D) están suficientemente documentados en el UIT-R;
- e) que estos tres sistemas se han ensayado suficientemente en condiciones reales y que los resultados de dichas pruebas están documentados en el UIT-R;
- f) que el Sistema digital A descrito en el Anexo 1 constituye la norma recomendada para la radiodifusión sonora digital terrenal destinada a receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos en las zonas de frecuencia atribuidas a la radiodifusión sonora por encima de 30 MHz, como se especifica en la Recomendación UIT-R BS.1114;
- g) que como parte del proceso de normalización en Europa se ha adoptado el Sistema digital A (Eureka 147 como Norma ETS 300401 del Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI)) para el SRS/servicio de radiodifusión (sonora), dirigido a receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos;
- h) que la Resolución 1, Radiodifusión audiodigital, de la octava Conferencia Mundial de Uniones de Radiodifusión (Barbados, 24-25 de abril de 1995), indicaba que se debe continuar tratando de lograr una norma única mundial para la radiodifusión sonora digital y que si ello no es factible, se ha de tratar de lograr el máximo número de elementos comunes para la codificación en la fuente, la estructura de transporte, la codificación del canal y la banda de frecuencias,

observando

- a) que el Anexo 1 presenta resúmenes de los Sistemas digitales A, B y D;
- b) que los Anexos 2, 3 y 4 ofrecen, respectivamente, las descripciones completas de los Sistemas digitales A, B y D,

recomienda

- 1** que las administraciones que deseen poner en práctica SRS (sonora) que satisfagan algunas o todas las condiciones estipuladas en la Recomendación UIT-R BO.789, utilicen el Cuadro 1 para evaluar los Sistemas digitales A, B y D al seleccionar su sistema.

CUADRO 1

Características de los Sistemas digitales A, B y D evaluados sobre la base de las características técnicas y operativas enumeradas en la Recomendación UIT-R BO.789*, (1)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BO.789 (redacción abreviada)	Sistema digital A	Sistema digital B	Sistema digital D
1. 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⁽²⁾</p>	<p>La gama va de 16 a 320 kbit/s por canal audio en incrementos de 16 kbit/s. En la mayoría de las pruebas se utilizó un codificador en la fuente de código perceptivo de audio (PAC, perceptual audio códec).</p> <p>El sistema está destinado a la recepción en equipos de vehículo, portátiles y fijos^{(3), (4)}</p>	<p>La gama va desde 16 a 128 kbit/s por canal audio en incrementos de 16 kbit/s. Se utiliza la codificación audio de Capa III MPEG-2 y MPEG-2.5.</p> <p>El sistema se destina a la recepción portátil y fija^{(4), (5)}</p>
2. 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 (COFDM)</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 (MDP-4 con codificación de corrección de errores por bloques concatenados y 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 (MDP-4 con codificación de corrección de errores por bloques concatenados y convolucional)</p>
3. 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. Este aspecto permite utilizar repetidores en el canal para cubrir zonas ensombrecidas</p>	<p>El sistema está concebido para lograr el margen máximo de enlace por satélite⁽⁴⁾ y para la reducción de los efectos multitrayecto y de dispersión Doppler en el modo terrenal complementario.⁽³⁾</p> <p>El ensombrecimiento se aborda utilizando repetidores en el canal⁽³⁾</p>	<p>En su configuración básica, el sistema está concebido principalmente para la recepción directa por satélite y en este modo de recepción multitrayecto no se plantean dificultades.⁽¹⁾</p> <p>El margen del enlace de satélite se maximiza para mejorar el comportamiento en caso de recepción directa del satélite con un cierto grado de ensombrecimiento⁽⁴⁾</p>
4. Procesamiento de la señal del receptor común para la radiodifusión por satélite y terrenal	<p>Permite utilizar el mismo receptor, desde el paso de entrada de RF hasta la salida de audio y de datos. Pueden utilizarse antenas de recepción integradas o separadas para la recepción de la señal del satélite (polarización circular) y terrenal (polarización vertical)</p>	<p>Permite utilizar el mismo receptor básico para las transmisiones por satélite y terrenales, añadiendo un componente de igualación necesario para la distribución terrenal⁽³⁾</p>	<p>Para las aplicaciones fijas y portátiles en entornos rurales puede utilizarse el mismo receptor básico, siempre que el aumento terrenal (de la recepción en interiores) se limite a emisores de relleno de huecos con potencia mínima. Se están desarrollando receptores de segunda generación para la recepción en entornos urbanos, incluyendo las aplicaciones móviles⁽⁵⁾</p>

CUADRO 1 (Continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BO.789 (redacción abreviada)	Sistema digital A	Sistema digital B	Sistema digital D
5. Reconfiguración y calidad en función del número de programas	El múltiplex de servicio se basa en 64 subcanales cuya capacidad varía entre 8 kbit/s y 1 Mbit/s, aproximadamente, 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	Concebido en bloques modulares de 16 kbit/s para poder atender a este aspecto	Se emplea un múltiplex flexible de bloques modulares de 16 kbit/s para permitir el intercambio de la calidad de audio del programa por número de servicios (programas)
6. Amplitud de la cobertura en función del número de programas	Se dispone de 5 niveles de protección para el audio y de 8 niveles de protección para los servicios de datos utilizando la codificación convolucional con perforación en cada uno de los 64 subcanales (la FEC oscila entre 1/4 y 3/4)	La posibilidad de este compromiso se basa en una velocidad binaria de información que va en pasos de 32 kbit/s y en una proporción de FEC variable ⁽³⁾	El sistema está optimizado para la recepción directa por satélite. La implementación de este requisito sólo beneficia a la transmisión terrenal ⁽¹⁾
7. Receptor común para las distintas formas de distribución de programas <ul style="list-style-type: none"> - Zona de cobertura del satélite - Mixta/híbrida - Servicios terrenales - Distribución por cable 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite establecer servicios de satélite con distintos tamaños de la zona de cobertura (las limitaciones se deben a la potencia del satélite⁽⁴⁾ y al tamaño de la antena transmisora) - 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 - Permite establecer servicios terrenales subnacionales y nacionales con la misma modulación y transmisores únicos o múltiples que funcionan en una red de secuencia única, a fin de aprovechar un receptor común - La señal puede cursarse de forma transparente por cable 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite establecer servicios de satélite con distintos tamaños de la zona de cobertura (las limitaciones se deben a la potencia del satélite⁽⁴⁾ y al tamaño de la antena transmisora) - Utilización mixta e híbrida de servicios de satélite y terrenales complementarios en las bandas atribuidas al SRS (sonora) por la CAMR-92⁽³⁾ - Con transmisores terrenales en las bandas de frecuencias adecuadas⁽³⁾ - La señal puede cursarse de forma transparente por cable 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite establecer servicios de satélite con distintos tamaños de la zona de cobertura (las limitaciones se deben a la potencia del satélite⁽⁴⁾ y al tamaño de la antena transmisora) - Será posible con receptores de segunda generación⁽⁵⁾ - Será posible con receptores de segunda generación⁽⁵⁾ - La señal puede cursarse de forma transparente por cable

CUADRO 1 (Fin)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BO.789 (redacción abreviada)	Sistema digital A	Sistema digital B	Sistema digital D
8. Capacidad de datos asociados a los programas (PAD, <i>programme-associated data</i>)	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 en la pantalla alfanumérica del receptor. Los receptores con visualización gráfica (1/4 de VGA, <i>video graphics array</i>) disponen de decodificación básica HTML y de decodificación de imagen JPEG, etc.	Por determinar ⁽³⁾	Se pueden dar PAD que comprenden texto (letreros dinámicos) y gráficos con control de acceso condicional
9. 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 multiplex 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	Todo bloque de 32 kbit/s puede utilizarse para servicios de valor añadido; no ensayado ⁽³⁾	Puede asignarse capacidad en incrementos de 8 kbit/s hasta la capacidad total de 1 536 Mbit/s del multiplex a datos independientes para la distribución de datos empresariales, radiobúsqueda, gráficos en imagen estática, etc. con control de acceso condicional, si se desea. Los receptores llevan un conector de datos para la interfaz con las redes de tecnología de la información y con las redes de comunicaciones
10. Asignación flexible de servicios	El multiplex puede reconfigurarse dinámicamente en forma transparente para el usuario	Por determinar ⁽³⁾	El multiplex puede reconfigurarse dinámicamente en forma transparente para el usuario
11. Compatibilidad de la estructura del multiplex con el modelo ISA	La estructura del multiplex 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	Posibilidad conocida, aunque no ensayada ⁽³⁾	La estructura del multiplex del sistema se ha desarrollado en línea con el modelo por capas ISA
12. 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	Diseño extremadamente simple (complejidad reducida) con el que se prevé el desarrollo de receptores de consumo relativamente económicos	El sistema se optimizó específicamente para lograr el desarrollo inicial de un receptor portátil de complejidad reducida. Se están fabricando diversos modelos de receptores económicos basados en las técnicas de producción en masa de integración en gran escala (LSI, <i>large scale integration</i>)

Notas relativas al Cuadro 1:

COFDM:	Multiplexión por división de frecuencia ortogonal codificada
FEC:	Corrección de errores en recepción sin canal de retorno
FIC:	Canal de información rápida
HTML:	Lenguaje de etiquetado hipertexto (<i>hypertext markup language</i>)
ISA:	Interconexión de sistemas abiertos
JPEG:	Grupo Mixto de Expertos en Fotografía
LSI:	Integración en gran escala
MDP-4:	Modulación por desplazamiento de fase diferencial cuadrivalente
MDT:	Múltiplex por división en el tiempo
MPEG:	Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento

- * Además de los Anexos a esta Recomendación, puede encontrarse información detallada adicional sobre estos sistemas en la publicación especial del UIT-R sobre radiodifusión sonora digital en las bandas de radiodifusión por encima de 30 MHz (Ginebra, 1995) y en sus versiones actualizadas. Además, tal como se señala en el *considerando g*), hay una norma ETSI para el Sistema digital A.
- (1) Se entiende que algunas administraciones puedan desear elaborar sistemas digitales del SRS (sonora) y del servicio de radiodifusión que no ofrezcan toda la gama de características enumeradas en la Recomendación UIT-R BO.789. Por ejemplo, una administración puede desear tener un servicio que ofrezca el equivalente del audio MF monofónico destinado principalmente a la recepción con equipos económicos fijos o portátiles, en vez de la de receptores de vehículo. No obstante, se entiende que dichas administraciones tratarán de desarrollar sistemas de radiodifusión sonora digital que se ajusten, en la medida de lo posible, a las características citadas en la Recomendación UIT-R BO.789. La tecnología en este área del SRS (sonora) digital se está desarrollando rápidamente. En consecuencia, si se desarrollan otros sistemas destinados a cumplir los requisitos de la Recomendación UIT-R BO.789, también puede considerarse su recomendación.
 - (2) La realización de la radiodifusión terrenal con el Sistema digital A, incluyendo los transmisores de relleno en el canal y los de ampliación de cobertura, es una operación que se desarrolla en varios países y ya se ha ensayado en condiciones reales con dos satélites en 1,5 GHz.
 - (3) La situación actual del Sistema digital B es la de modelo de ingeniería con prototipo de circuitos. La entidad que lo desarrolla y también una organización independiente de pruebas han ensayado el funcionamiento móvil por satélite en condiciones reales durante muchas horas con distintos satélites y diversas zonas de cobertura, así como en el laboratorio. Sin embargo, el prototipo de receptor ensayado no incluía la ecualización de canal. Dicha ecualización es necesaria para permitir el funcionamiento en el entorno multitrayecto creado por los repetidores terrenales en el canal necesarios para permitir la recepción móvil y portátil en zonas urbanas. No obstante, se ha informado de los resultados de pruebas de laboratorio efectuadas con un igualador de canal que funciona a 300 ksímbolos/s en condiciones de propagación simuladas en bandas 1 452-1 492 MHz y 2 310-2 360 MHz (incluyendo multitrayecto realista y dispersiones Doppler).
 - (4) En el caso de los sistemas de transmisión de portadora única, hay una ventaja de 7 dB (Sistema digital D) en el margen del enlace de satélite para una potencia de transpondedor determinada, en comparación con la de un sistema de transmisión multiportadora (Sistema digital A). Esta ventaja llega a 3,5 dB cuando se incluye un igualador de canal en el receptor que permite la recepción híbrida satélite/terrenal (Sistema digital B).
 - (5) Se ha efectuado una demostración del Sistema digital D por satélite y se ha ensayado en condiciones reales mediante pruebas con helicópteros, habiéndose informado sobre los resultados de pruebas de transmisión de extremo a extremo en laboratorios. Se están desarrollando y probando configuraciones adicionales del Sistema digital D. Estas configuraciones adicionales están diseñadas para mejorar la calidad de funcionamiento del sistema cuando se emplea el aumento terrenal y se prevén dificultades de recepción multitrayecto en condiciones de recepción móvil. Se están evaluando las técnicas de igualación adaptable y COFDM multiportadora.

ANEXO 1

Descripción de los sistemas digitales del SRS (sonora)**1 Resumen del Sistema digital A**

El Sistema digital A, conocido también como sistema Eureka 147 DAB (*digital audio broadcasting*) se ha desarrollado para las aplicaciones de radiodifusión por satélite y terrenal, de forma que permita la recepción con un equipo común económico. El Sistema se ha diseñado para la recepción en vehículos, portátiles y fijos utilizando antenas receptoras omnidireccionales de baja ganancia situadas a 1,5 m sobre el suelo. El 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 B

Como la potencia disponible en el transpondedor es un parámetro fundamental en los satélites de comunicaciones, el Sistema digital B, propuesto originalmente por Voice of America/Jet Propulsion Laboratory (VOA/JPL), fue concebido para lograr la máxima eficacia a bordo de un satélite de comunicaciones. Se utiliza la demodulación coherente MDP-4 y se incluyen niveles apropiados de corrección de errores. Como la utilización terrenal complementaria implica un rechazo significativo de las señales multitrayecto, se diseñó una técnica de igualador adaptable que convierte al Sistema digital B en una estructura completa de distribución de radiodifusión por satélite y terrenal. Se prevé mantener a un nivel relativamente bajo los costes de receptor, porque los métodos de modulación y otros aspectos del diseño general son relativamente simples. El sistema está actualmente en estado de modelo de ingeniería con prototipo de circuito.

3 Resumen del Sistema digital D

El Sistema digital D, conocido también como sistema WorldSpace, se ha diseñado principalmente para la radiodifusión digital de audio y datos por satélite destinada a receptores fijos y portátiles. Se ha diseñado para optimizar la calidad de distribución del servicio por satélite en la banda 1 452-1 492 MHz, lo cual se consigue mediante MDP-4 con codificación de errores por bloques y convolucional y amplificación lineal. La modulación MDT/MDP-4 permite ampliar la cobertura para una potencia determinada del transpondedor del satélite. El Sistema digital D permite la modulación de un múltiplex flexible de fuentes audio digitalizadas para componer una portadora MDT de enlace descendente. El receptor del Sistema digital D utiliza las técnicas más recientes de microondas y de circuitos integrados digitales de gran escala con el objetivo principal de lograr una producción económica y una gran calidad. También se por está trabajando en el desarrollo de técnicas que permitan llegar a sistemas de radiodifusión híbrida por satélite/terrenal utilizando el Sistema digital D.

ANEXO 2

Sistema digital A**1 Introducción**

El Sistema digital A se ha diseñado para proporcionar radiodifusión digital multiservicio de alta calidad destinada a receptores a bordo de vehículos, portátiles y fijos. Puede funcionar en cualquier banda de frecuencia hasta 3 000 MHz para distribución terrenal y por satélite, híbrida (satélite y terrenal) y por cable. Se trata de un sistema flexible y de aplicación general de radiodifusión digital de servicios integrados (RDDSI) que permite una amplia gama de opciones de codificación de fuente y canal, datos asociados con los programas sonoros y servicios de datos independientes, cumpliendo los requisitos flexibles y de amplio alcance en materia de servicio y sistemas establecidos en las Recomendaciones UIT-R BO.789 y UIT-R BS.774, complementadas por los Informes UIT-R BS.1203 y UIT-R BO.955.

El sistema es robusto y ofrece un gran aprovechamiento del espectro y la potencia en la radiodifusión sonora y de datos. Se utilizan técnicas digitales avanzadas para eliminar, en la señal fuente de audio, la redundancia y la información irrelevante desde el punto de vista de la percepción, y después se aplica una redundancia estrechamente controlada a la señal transmitida para la corrección de errores. La información transmitida se dispersa en los dominios de la frecuencia y del tiempo para obtener en el receptor, sea fijo o móvil, una señal de elevada calidad, aún en condiciones de propagación multitrayecto muy difíciles. La eficacia espectral se obtiene mediante la intercalación de varias señales radiofónicas, y una técnica especial de reutilización de frecuencias permite una ampliación casi sin límites de la red mediante transmisores adicionales que funcionan en las mismas frecuencias de emisión.

En la Fig. 1 se muestra un diagrama conceptual de la parte de transmisión del Sistema.

El Sistema digital A ha sido elaborado por el Consorcio Eureka 147 (DAB) y se conoce como Sistema DAB Eureka. Ha recibido el pleno apoyo de la Unión Europea de Radiodifusión (UER), con miras a introducir en 1995 servicios de radiodifusión sonora digital en Europa. Desde 1988 ha sido objeto de demostraciones y amplias pruebas en Europa, Canadá, Estados Unidos de América y otros países. En el presente Anexo, el Sistema digital A se denomina «el Sistema». Su especificación completa figurará en la Norma Europea de Telecomunicaciones ETS 300 401 (véase la Nota 1).

NOTA 1 – Se ha considerado conveniente la adición de un nuevo modo de transmisión, que se está estudiando como una mejora compatible al Sistema digital A; ello permitiría utilizar retransmisores terrenales cocanal de mayor potencia, con el consiguiente aumento de la capacidad de relleno y, de este modo, una mayor flexibilidad y disminución de los precios de implementación del SRS (sonora) híbrido en la banda 1 452-1 492 MHz.

2 Utilización de un modelo estratificado

El Sistema puede cumplir los requisitos del modelo de referencia básico de interconexión de sistemas abiertos (ISA) de la Organización Internacional de Normalización (ISO) descrito en la Norma ISO 7498 (1984). Se aconseja la utilización de este modelo en la Recomendación UIT-R BT.807 y en el Informe UIT-R BT.1207, y en la Recomendación se presenta además una interpretación adecuada para su utilización en sistemas de radiodifusión estructurados en capas. De acuerdo con estas directrices, el Sistema se describirá en relación con las capas del modelo, y la interpretación que aquí se aplica se ilustra en el Cuadro 2.

Las descripciones de muchas técnicas que intervienen vienen dadas más fácilmente 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.

Como el propósito fundamental del Sistema es la entrega de programas radiofónicos al oyente, la siguiente descripción comenzará con la capa de aplicación (empleo de la información de radiodifusión) y procederá en sentido descendente hasta la capa física (medio de transmisión radioeléctrica).

3 Capa de aplicación

Esta capa concierne al uso del Sistema en el nivel de aplicación. Considera las facilidades y la calidad audio que proporciona el Sistema y las que los organismos de radiodifusión pueden ofrecer a sus oyentes, así como los diferentes modos de transmisión.

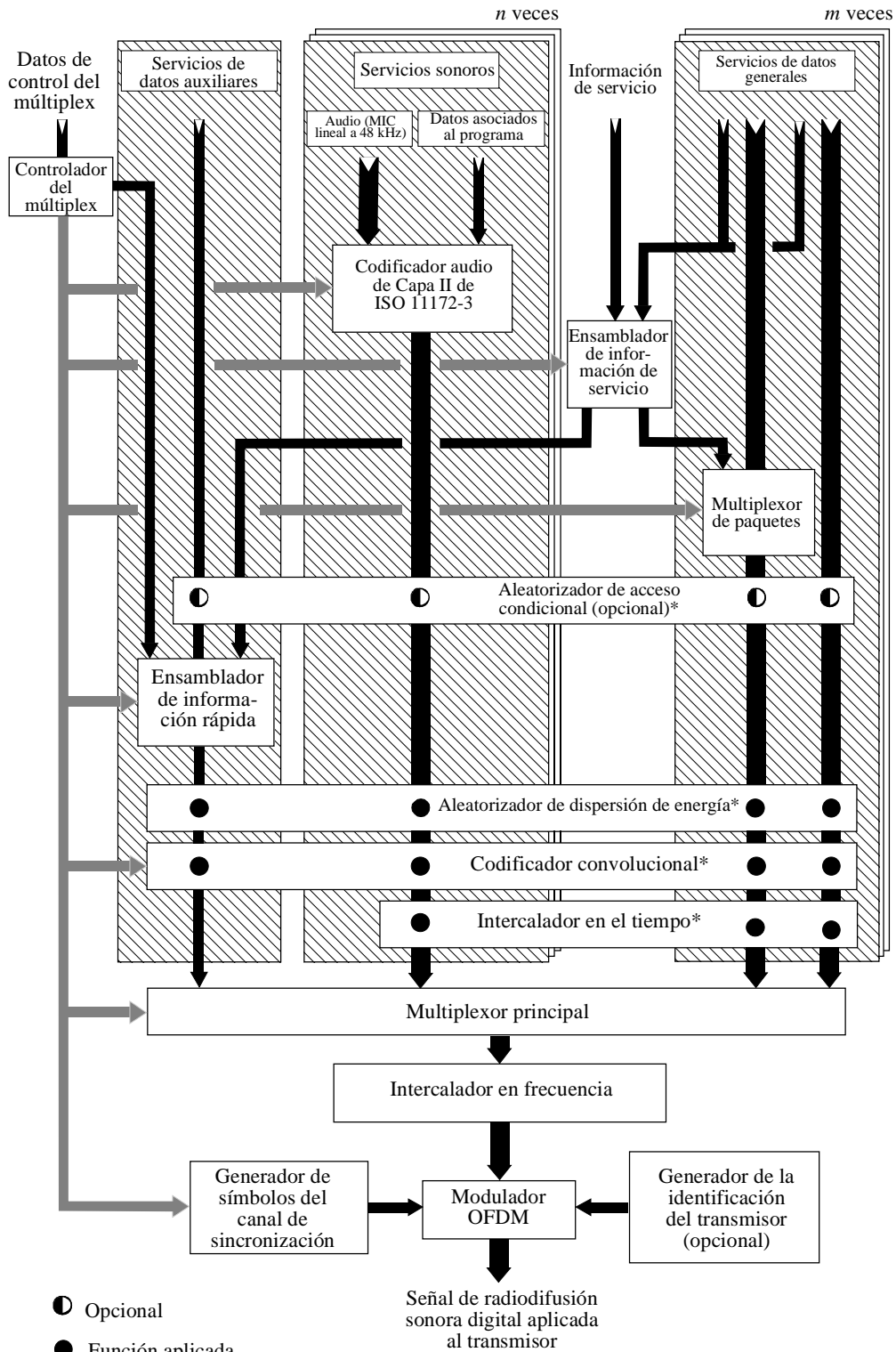
3.1 Facilidades ofrecidas por el Sistema

El Sistema proporciona una señal múltiplex de datos digitales que transporta varios programas al mismo tiempo. El múltiplex contiene datos de programas audio y datos auxiliares que comprenden PAD, información de configuración del múltiplex (MCI, *multiplex configuration information*) e información de servicio (SI, *service information*). El múltiplex también puede transportar servicios de datos generales, que no necesitan estar relacionados con la transmisión de programas sonoros.

En particular, los usuarios del Sistema disponen de las siguientes facilidades:

- señal audio (es decir, el programa) del servicio seleccionado;
- aplicación opcional de funciones del receptor, por ejemplo, control de la gama dinámica, que puede utilizar datos auxiliares transportados con el programa;
- presentación visual de texto de información seleccionada, transportada por la SI. Puede tratarse de información relativa al programa seleccionado o a otros programas seleccionables;
- opciones para la selección de otros programas, otras funciones del receptor y otra SI;
- uno o más servicios de datos generales, por ejemplo, un canal de mensaje de tráfico (TMC, *traffic message channel*).

FIGURA 1
Diagrama conceptual de la parte de transmisión del Sistema



- Opcional
- Función aplicada

* Estos procesadores funcionarán independientemente en cada canal de servicio.

OFDM: Multiplexión por división de frecuencia ortogonal

CUADRO 2

Interpretación del modelo estratificado ISA

Nombre de la capa	Descripción	Características específicas del sistema
Capa de aplicación	Utilización práctica del Sistema	Facilidades del Sistema Calidad audio Modos de transmisión
Capa de presentación	Conversión para la presentación	Codificación y decodificación audio Presentación audio Información de servicio
Capa de sesión	Selección de datos	Selección de programas Acceso condicional
Capa de transporte	Agrupación de datos	Servicios radiofónicos Múltiplex de servicio principal Datos auxiliares Asociación de datos
Capa de red	Canal lógico	Tramas audio ISO Datos asociados con el programa radiofónico
Capa de enlace de datos	Formato de la señal transmitida	Tramas de transmisión Sincronización
Capa física	Transmisión (radioeléctrica) física	Dispersión de energía Codificación convolucional Entrelazado en el tiempo Entrelazado de frecuencia Modulación OFDM/MDPD-4 Transmisión radioeléctrica

MDPD: MDP diferencial

El Sistema posee medios de acceso condicional, y el receptor puede estar equipado con salidas digitales para señales audio y de datos.

3.2 Calidad audio

Dentro de la capacidad del múltiplex es posible elegir la cantidad de servicios radiofónicos y, para cada uno, el formato de presentación (por ejemplo, estereofónico, monofónico, sonido periférico, etc.), la calidad audio y el grado de protección contra errores (y por tanto su robustez) de acuerdo con las necesidades del organismo de radiodifusión.

Se dispone de la siguiente gama de opciones de calidad audio:

- muy alta calidad, con margen para el tratamiento de audio;
- calidad subjetivamente transparente, suficiente para radiodifusión de máxima calidad;
- alta calidad, equivalente a una buena calidad de servicio MF;
- calidad media, equivalente a una buena calidad de servicio MA;
- calidad para señal vocal solamente.

El Sistema permite la recepción con plena calidad dentro de los límites de cobertura del transmisor; más allá de esos límites la recepción se degrada de una manera subjetivamente tolerable.

3.3 Modos de transmisión

El Sistema posee tres modos de transmisión que permiten utilizar una amplia gama de frecuencia de transmisión hasta 3 GHz. Estos modos de transmisión compensan la dispersión debida al efecto Doppler y la dispersión del retardo de propagación en la recepción móvil en presencia de ecos multitrayecto.

En el Cuadro 3 se indica el retardo de eco constructivo y la gama de frecuencias nominal para la recepción móvil. La degradación debida al ruido a la frecuencia más elevada y en la condición multitrayecto más crítica, que en la práctica ocurre con poca frecuencia, es igual a 1 dB a 100 km/h.

CUADRO 3

Modos de transmisión

Parámetro	Modo I	Modo II	Modo III
Duración del intervalo de guarda (μ s)	246	62	31
Retardo del eco constructivo hasta (μ s)	300	75	37,5
Gama de frecuencias nominal (para recepción móvil) hasta	375 MHz	1,5 GHz	3 GHz

Este Cuadro permite observar que la utilización de frecuencias más elevadas impone una mayor limitación al retardo de eco máximo. El Modo I es más adecuado para una red terrenal de una sola frecuencia pues permite las mayores separaciones entre transmisores. El Modo II es más adecuado para aplicaciones de radiodifusión locales que requieren un transmisor terrenal y transmisión híbrida satélite/terrenal hasta 1,5 GHz. No obstante, el Modo II también puede utilizarse para una red de una sola frecuencia de media a gran escala (por ejemplo, a 1,5 GHz) insertando, si fuera necesario, retardos artificiales en los transmisores y/o utilizando antenas de transmisión directivas. El Modo III es más apropiado para la transmisión por satélite y terrenal complementaria en todas las frecuencias hasta 3 GHz.

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

4 Capa de presentación

Esta capa atañe a la conversión y presentación de la información de radiodifusión.

4.1 Codificación de la fuente audio

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

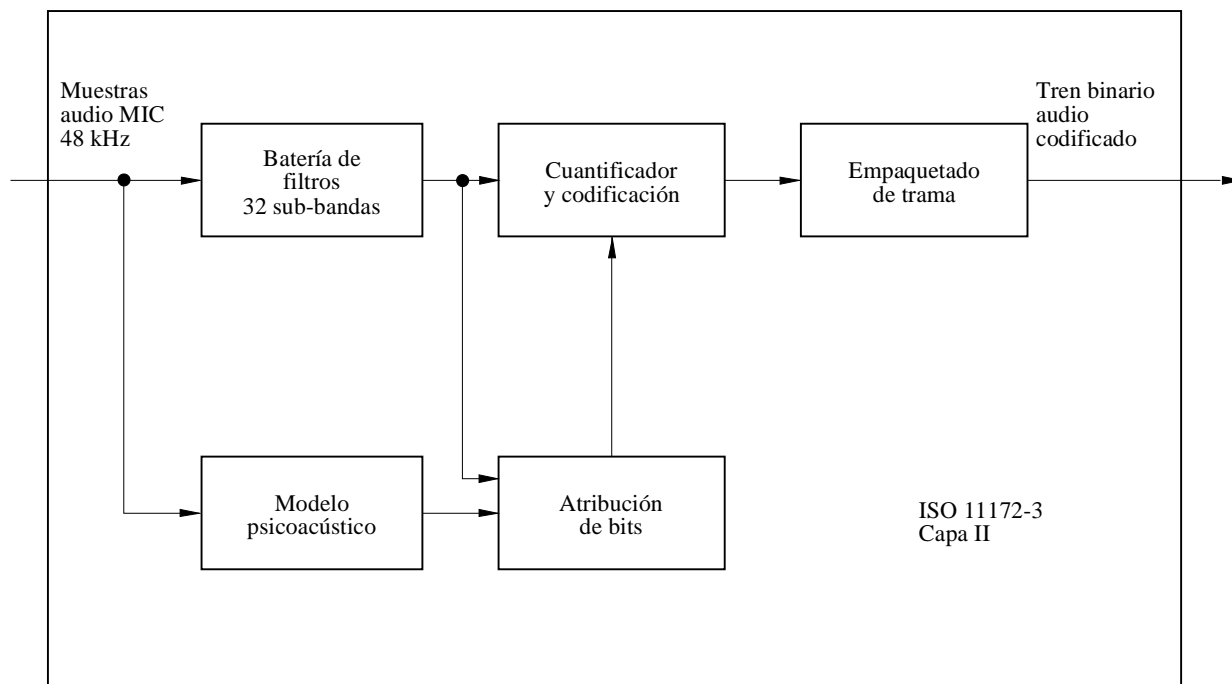
El Sistema acepta varias señales audio de modulación por impulsos codificados (MIC) a la velocidad de muestreo de 48 kHz con PAD. El número de fuentes audio posibles depende de la velocidad binaria y del perfil de protección contra errores. El codificador de audio puede funcionar a 32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160 ó 192 kbit/s por canal monofónico. En estereofonía o en el modo de canal doble, el codificador produce el doble de la velocidad binaria de un canal monofónico.

Los organismos de radiodifusión pueden explotar las diferentes opciones de velocidad binaria en función de la calidad intrínseca requerida y/o del número de programas sonoros que se han de proporcionar. Por ejemplo, la utilización de velocidades binarias iguales o superiores a 128 kbit/s para monofonía o a 256 kbit/s para estereofonía, no sólo proporciona una calidad muy elevada sino también un margen de procesamiento suficiente para ulteriores procesos de codificación/decodificación múltiples, incluido el post-tratamiento de audio. Para radiodifusión de alta calidad, se prefiere una velocidad binaria de 128 kbit/s para programas monofónicos o 256 kbit/s para programas estereofónicos, que aseguran una calidad audio totalmente transparente. Aunque la velocidad binaria de 192 kbit/s para programas estereofónicos satisface generalmente los requisitos de la UER para sistemas audio digitales con reducción de la velocidad binaria. Una velocidad binaria de 96 kbit/s para programas monofónicos presenta buena calidad sonora, y una velocidad de 48 kbit/s puede proporcionar aproximadamente la misma calidad que la radiodifusión MA normal. Para algunos programas que sólo contengan señales vocales, puede ser suficiente una velocidad binaria de 32 kbit/s cuando es necesario incluir el mayor número posible de servicios dentro del múltiplex del sistema.

En la Fig. 2 se muestra un diagrama en bloques de las unidades funcionales en el codificador audio. Las muestras de audio MIC de entrada se aplican al codificador audio. Un codificador puede procesar ambos canales de una señal estereofónica, aunque, opcionalmente, se le puede aplicar una señal monofónica. Una batería de filtros polifásicos divide la señal audio digital en 32 señales de sub-banda, y crea una representación filtrada y submuestreada de la señal audio entrada. Las muestras filtradas se denominan muestras de sub-banda. Un modelo perceptual del oído humano crea un conjunto de datos para controlar el cuantificador y la codificación. Estos datos pueden ser diferentes según la

implementación real del codificador. Una posibilidad es utilizar una estimación del umbral de enmascaramiento para obtener esos datos de control del cuantificador. Las muestras sucesivas de cada señal de sub-banda se agrupan en bloques; luego, en cada bloque, se determina la amplitud máxima alcanzada por cada señal de sub-banda y se indica por un factor de escala. El cuantificador y la unidad de codificación crean un conjunto de palabras de codificación a partir de las muestras de sub-banda. Estos procesos se llevan a cabo durante las tramas de audio ISO, que se describirán en la capa de red.

FIGURA 2
Diagrama de bloques del codificador audio básico del Sistema

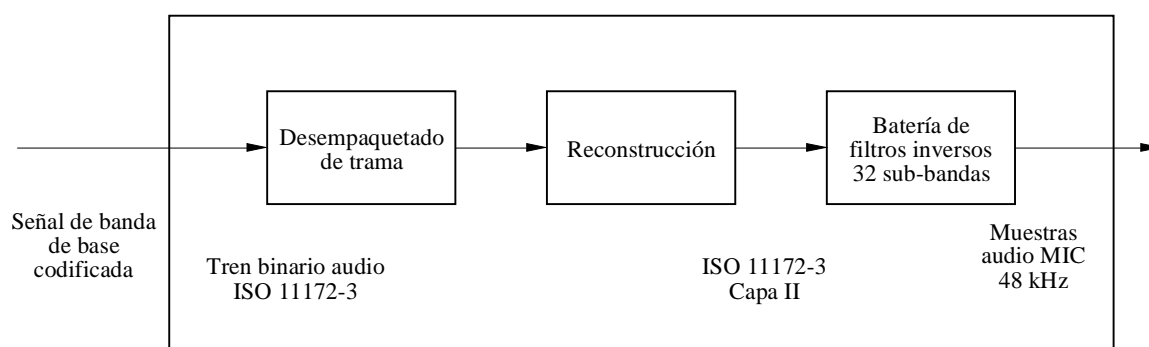


1130-02

4.2 Decodificación audio

La decodificación en el receptor es directa y económica. Utiliza una técnica simple de tratamiento de señales que sólo requiere operaciones de demultiplexación, expansión y filtrado inverso. En la Fig. 3 se muestra un diagrama en bloques de las unidades funcionales del decodificador.

FIGURA 3
Diagrama de bloques del decodificador audio básico del Sistema



1130-03

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

4.3 Presentación de audio

Las señales audio pueden ser monofónicas o estereofónicas, o se puede agrupar canales audio para obtener sonido periférico. Los programas se pueden vincular entre sí para presentar simultáneamente el mismo programa en diferentes idiomas. A fin de satisfacer a los oyentes tanto en ambientes de alta fidelidad como en ambientes ruidosos, el organismo de radiodifusión puede transmitir opcionalmente una señal de control de gama dinámica (DRC, *dynamic range control*) que se puede utilizar en el receptor en un ambiente ruidoso para comprimir la gama dinámica de la señal audio reproducida. Cabe señalar que esta técnica también puede ser beneficiosa para oyentes con deficiencias auditivas.

4.4 Presentación de la información de servicio

Para cada programa transmitido por el Sistema se puede disponer de los siguientes elementos de SI para indicación en el receptor:

- etiqueta de programa básica (es decir, nombre del programa);
- hora y fecha;
- referencia recíproca del 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 ampliada para los servicios relacionados con el programa;
- información del programa (por ejemplo, los nombres de los actores o ejecutantes);
- idioma;
- tipo de programa (por ejemplo, noticias, deportes, musical, etc.);
- identificador del transmisor;
- TMC (que puede utilizar un sintetizador de señales vocales en el receptor).

Pueden incluirse también datos de la red de transmisores para uso interno de los organismos de radiodifusión.

5 Capa de sesión

Esta capa concierne a la selección de la información de difusión y al acceso a la misma.

5.1 Selección de programas

Para que el receptor pueda tener acceso a alguno o todos los servicios individuales con un mínimo de retardo global, la información acerca del contenido actual y futuro del múltiplex se transmite por el FIC. Esta información es la MCI, que contiene datos de lectura automática. Los datos del FIC no están entrelazados en el tiempo, de modo que la MCI no está sujeta al retardo del proceso de entrelazado en el tiempo aplicado a los servicios de audio y de datos generales. No obstante, estos datos se repiten frecuentemente para más seguridad. Cuando la configuración múltiplex está a punto de cambiar, la nueva información, junto con la temporización del cambio, es enviada a la MCI por anticipado.

El usuario del receptor puede seleccionar los programas, mediante la información textual transportada en la SI, utilizando el nombre del servicio radiofónico, la identidad del tipo de programa o el idioma. La selección se ejecuta entonces en el receptor utilizando los elementos correspondientes de la MCI.

Si se dispone de fuentes alternativas para un servicio radiofónico elegido y un servicio digital original es de calidad inaceptable, se pueden utilizar los datos de vinculación transportados en la SI (es decir, la «referencia recíproca») para identificar una fuente alternativa (por ejemplo, en un servicio MF) y conmutar a ella. Sin embargo, en tal caso el receptor volverá al servicio original tan pronto como la recepción sea posible.

5.2 Acceso condicional

Existe una sincronización y control del acceso condicional.

El acceso condicional se puede aplicar independientemente a las componentes del servicio (transportados por el canal de servicio principal (MSC) o FIC), a los servicios o al múltiplex total.

6 Capa de transporte

Esta capa se relaciona con la identificación de grupos de datos como servicios radiofónicos, la multiplexión de los datos de esos servicios y la asociación de los elementos de los datos multiplexados.

6.1 Servicios radiofónicos

Un servicio radiofónico comprende generalmente una componente de servicio audio y (opcionalmente) componentes de servicio audio y/o de datos adicionales, proporcionados por un proveedor de servicios. La capacidad total del múltiplex puede ser atribuida a un sólo proveedor de servicio (por ejemplo, que difunda cinco o seis servicios radiofónicos de alta calidad) o se puede dividir entre diversos proveedores de servicios (por ejemplo, que difundan colectivamente unos veinte servicios radiofónicos de calidad media).

6.2 Múltiplex del servicio principal

Con referencia a la Fig. 1, los datos que representan cada uno de los programas que se difunden (datos audio digitales con algunos datos auxiliares, y quizá también datos generales) se someten a una codificación convolucional (véase el § 9.2) y entrelazado en el tiempo, ambos para la protección contra errores. El entrelazado en el tiempo mejora la inmunidad de la transmisión de datos en un entorno variable (por ejemplo, recepción en 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 cual, cada 24 ms, los datos se agrupan secuencialmente para formar la trama múltiplex. La salida combinada del tren de bits del multiplexor se conoce como MSC que posee una capacidad bruta de 2,3 Mbit/s. Dependiendo de la velocidad de código elegida (que puede ser diferente de una componente de servicio a otro), esto arroja una velocidad binaria neta comprendida aproximadamente entre 0,8 y 1,7 Mbit/s, con una anchura de banda de 1,5 MHz. El multiplexor de servicio principal es el punto en el que se reúnen los datos sincronizados provenientes de todos los servicios radiofónicos que utilizan el múltiplex.

Los datos generales se pueden enviar en el MSC como un tren de impulsos no estructurado u organizado como un múltiplex de paquetes que combina diversas fuentes. La velocidad de datos puede ser cualquier múltiplo de 8 kbit/s sincronizado con el múltiplex del Sistema, a reserva de que la capacidad total disponible del múltiplex sea suficiente para atender la demanda de servicios audio.

El FIC es externo al MSC y no está entrelazado en el tiempo.

6.3 Datos auxiliares

Existen tres sectores en los que se puede transportar datos auxiliares dentro del múltiplex del Sistema:

- el FIC, que tiene una capacidad limitada, dependiendo de la MCI esencial que hay que transportar;
- se prevé el transporte de una cantidad moderada de PAD en cada canal de audio;
- todos los datos auxiliares restantes son tratados como un servicio separado dentro del MSC. La presencia de esta información se señala en la MCI.

6.4 Asociación de datos

En la MCI se proporciona una descripción precisa del contenido en curso y futuro del MSC, que se transporta por el FIC. Los ítems esenciales de SI que atañen al contenido del MSC (por ejemplo, para la selección de programas) también se deben transportar en el FIC. Los textos más extensos, tales como la lista de todos los programas del día, se deben transportar separadamente como un servicio de datos generales. Por consiguiente, la MCI y la SI contienen contribuciones de todos los programas que se han de difundir.

Los PAD, transportados en cada canal audio, comprenden principalmente la información íntimamente relacionada con el programa sonoro, que, por tanto, no puede ser enviada en un canal de datos diferente que puede estar sujeto a un retardo de transmisión distinto.

7 Capa de red

Esta capa se ocupa de la identificación de grupos de datos como programas.

7.1 Tramas audio ISO

Los procesos en el codificador de la fuente de audio se llevan a cabo durante las tramas de audio ISO de 24 ms de duración. Los datos de atribución de bits, que varía de una trama a otra, y los factores de escala se codifican y multiplexan con las muestras de sub-banda en cada trama audio ISO. La unidad de empaquetado de trama (véase la Fig. 2) ensambla el tren de bits real de los datos de salida del cuantificador y de la unidad de codificación y agrega otras informaciones, como la información de encabezamiento, palabras CRC para la detección de errores, y PAD, que se transmiten con la señal audio codificada. Cada canal audio contiene un canal PAD que tiene una capacidad variable (por lo general, 2 kbit/s como mínimo), que se puede utilizar para transmitir la información íntimamente relacionada con el programa sonoro. Ejemplos típicos de ello son el canto, la indicación de señales vocales/música y la información de DRC.

La trama audio resultante transporta datos que representan 24 ms de duración de audio estereofónico (o monofónico) más PAD para un solo programa y se ajusta al formato de Capa II de ISO 11172-3, de modo tal que puede denominarse trama ISO. Esto permite utilizar un decodificador audio de Capa II ISO/MPEG en el receptor.

8 Capa de enlace de datos

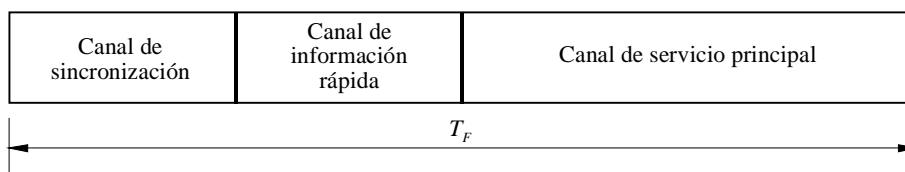
Esta capa proporciona los medios para la sincronización del receptor.

8.1 Trama de transmisión

Para facilitar la sincronización del receptor, la señal transmitida tiene una estructura de trama regular (véase la Fig. 4). La trama de transmisión comprende una secuencia de símbolos fija. El primer símbolo es nulo, para la sincronización gruesa (cuando no se transmite señal RF), y va seguido por un símbolo de referencia fijo para la sincronización fina y las funciones CAG, CAF y de referencia de fase en el receptor; estos símbolos integran el canal de sincronización. Los símbolos siguientes se reservan para el FIC, y los restantes proporcionan el MSC. La duración total de la trama, T_F , es de 96 ms o 24 ms, dependiendo del modo de transmisión, como se indica en el Cuadro 4.

Se atribuye un intervalo de tiempo fijo de la trama a cada servicio de audio dentro del MSC.

FIGURA 4
Estructura de la trama múltiplex



CUADRO 4

Parámetros de transmisión del Sistema

	Modo I	Modo II	Modo III
Duración total de la trama, T_F	96 ms	24 ms	24 ms
Duración del símbolo nulo, T_{NULL}	1,297 ms	324 μ s	168 μ s
Duración de símbolo global, T_s	1,246 ms	312 μ s	156 μ s
Duración de símbolo útil, t_s	1 ms	250 μ s	125 μ s
Duración del intervalo de guarda, Δ ($T_s = t_s + \Delta$)	246 μ s	62 μ s	31 μ s
Número de portadoras radiadas, N	1 536	384	192

9 Capa física

Esta capa se ocupa de los medios de transmisión radioeléctrica (por ejemplo, el esquema de modulación y la protección contra errores asociada).

9.1 Dispersión de energía

Para asegurar una dispersión de energía apropiada en la señal transmitida, las fuentes individuales que se aplican al múltiplex están aleatorizadas.

9.2 Codificación convolucional

Se aplica codificación convolucional a cada una de las fuentes de datos aplicadas al múltiplex para asegurar una recepción fiable. El proceso de codificación conlleva el agregado deliberado de redundancia a las ráfagas de datos fuente (utilizando una longitud de restricción de 7). Esto produce ráfagas de datos «brutas».

En el caso de una señal de audio, se da mayor protección a algunos bits codificados en la fuente que a otros, según un esquema preseleccionado conocido como perfil de protección contra errores desigual (UEP, *unequal error protection*). La relación de código media, definida como la relación entre el número de bits codificados en la fuente y el número de bits codificados después de una codificación convolucional, puede tomar un valor desde 1/3 (nivel de protección más elevado) a 3/4 (nivel de protección más bajo). Se pueden aplicar diferentes relaciones de código medias a fuentes de audio distintas, con arreglo al nivel de protección requerido y a la velocidad binaria de los datos codificados en la fuente. Por ejemplo, el nivel de protección de los servicios de audio transportados por redes de cable puede ser inferior que el de los servicios transmitidos por canales de radiofrecuencia.

Los servicios de datos generales se codifican de forma convolucional utilizando una de una selección de relaciones uniformes. Los datos del FIC se codifican con relación 1/3 constante.

9.3 Entrelazado en el tiempo

Se aplica entrelazado en el tiempo con una profundidad de entrelazado de 16 tramas a los datos codificados por convolución, a fin de mejorar las condiciones de los receptores móviles.

9.4 Entrelazado en frecuencia

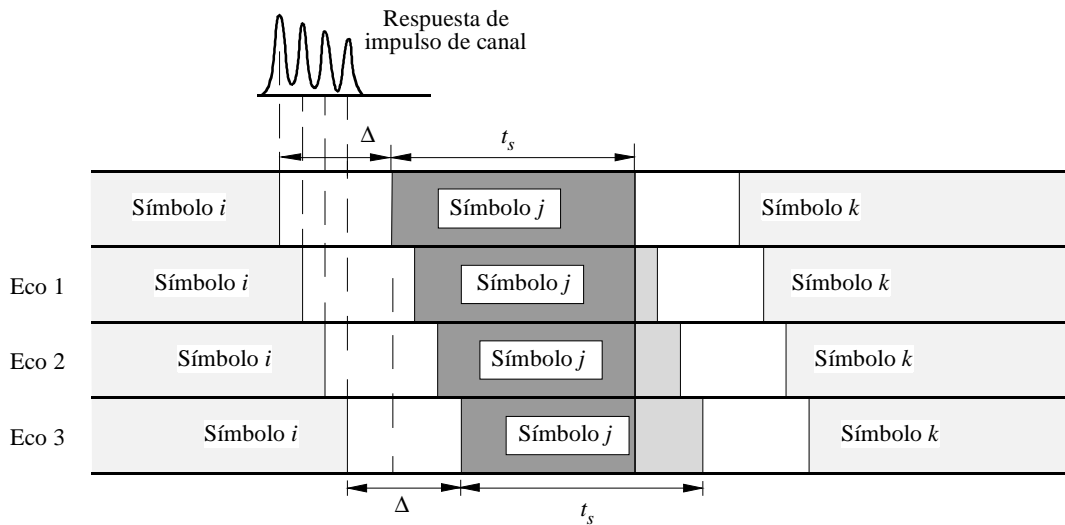
En presencia de propagación por trayectos múltiples, algunas portadoras mejoran debido a las señales constructivas mientras que otras sufren interferencia destructiva (desvanecimiento selectivo en frecuencia). Por tanto, el sistema proporciona entrelazado en frecuencia reordenando el tren de bits digital entre las portadoras, de modo tal que las muestras de fuente sucesivas no resulten afectadas por desvanecimiento selectivo. Cuando el receptor es estacionario, la diversidad en el dominio de la frecuencia es el medio principal para asegurar una recepción satisfactoria.

9.5 Modulación OFDM/MDPD-4

El Sistema utiliza OFDM con MDPD-4. Este esquema satisface las elevadas exigencias de la radiodifusión digital de alta velocidad binaria para receptores móviles, portátiles y fijos, especialmente en condiciones de propagación multitrayecto.

El principio básico consiste en dividir la información por transmitir en un gran número de trenes de bits que poseen bajas velocidades binarias, y que se utilizan para modular distintas portadoras. La duración de símbolo correspondiente es así más larga que la dispersión de los tiempos de propagación del canal de transmisión. En el receptor, cualquier eco más corto que el intervalo de guarda no causará interferencia entre símbolos, sino que contribuirá positivamente a la potencia recibida (véase la Fig. 5). El elevado número, N , de portadoras se conoce colectivamente como «conjunto» («ensemble»).

FIGURA 5
Contribución constructiva de ecos



1130-05

En presencia de propagación por trayectos múltiples, algunas de las portadoras se intensifican debido a las señales constructivas, mientras otras sufren interferencia destructiva (desvanecimiento selectivo en frecuencia). Por tanto, el sistema incluye una redistribución de los elementos del tren de bits digital en el tiempo y en frecuencia, de modo tal que las muestras de fuente sucesivas estén afectadas por desvanecimientos independientes. Cuando el receptor es estacionario, la diversidad en el dominio de la frecuencia es el único medio para asegurar una recepción satisfactoria; la diversidad en el tiempo proporcionada por entrelazado en el tiempo no ayuda a un receptor estático. Para este sistema, la propagación por trayectos múltiples es una forma de diversidad en el espacio y se considera una ventaja significativa, en total contraste con la MF convencional o los sistemas digitales de banda estrecha donde dicha propagación puede anular completamente un servicio.

En todo sistema capaz de beneficiarse de la propagación por trayectos múltiples, cuanto mayor sea la anchura de banda del canal de transmisión, más resistente será el sistema. En este sistema se ha escogido una anchura de banda del conjunto de 1,5 MHz para asegurar las ventajas de una técnica de banda ancha, así como para permitir la flexibilidad en la planificación. El Cuadro 4 también indica el número de portadoras OFDM con esta anchura de banda para cada modo de transmisión.

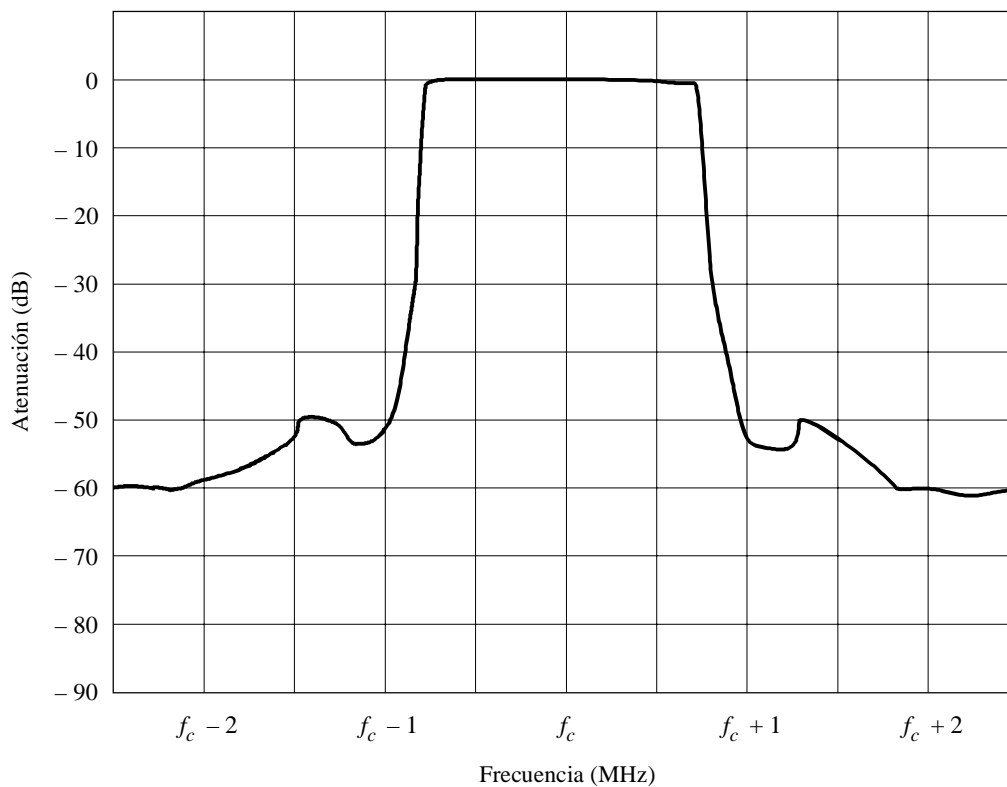
Otra ventaja del OFDM es que puede obtenerse un elevado aprovechamiento del espectro y la potencia en las redes de una sola frecuencia para cobertura de amplias zonas y también en las redes densas de zonas urbanas. Cualquier cantidad de transmisores que suministren los mismos programas pueden funcionar en la misma frecuencia, lo que también se traduce en una reducción global de las potencias de funcionamiento requeridas. Como consecuencia de ello, las distancias entre diferentes zonas de servicio se reducen considerablemente.

Teniendo en cuenta que el eco contribuye a la señal recibida, todos los tipos de receptores (es decir, portátiles, fijos y móviles) pueden utilizar antenas simples no directivas.

9.6 Espectro de la señal RF

En la Fig. 6 se ilustra el espectro del conjunto del Sistema.

FIGURA 6
Ejemplo de espectro de la señal de RF



f_c : frecuencia central del canal

1130-06

10 Características de RF del Sistema digital A

Se han efectuado pruebas de evaluación en RF del Sistema digital A en el Modo I a 226 MHz y en el Modo II a 1 500 MHz para una diversidad de condiciones que representan la recepción móvil y fija. Se efectuaron mediciones de la proporción de bits erróneos (BER) en función de la relación portadora/ruido (C/N) en un canal de datos utilizando las siguientes condiciones:

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

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

donde:

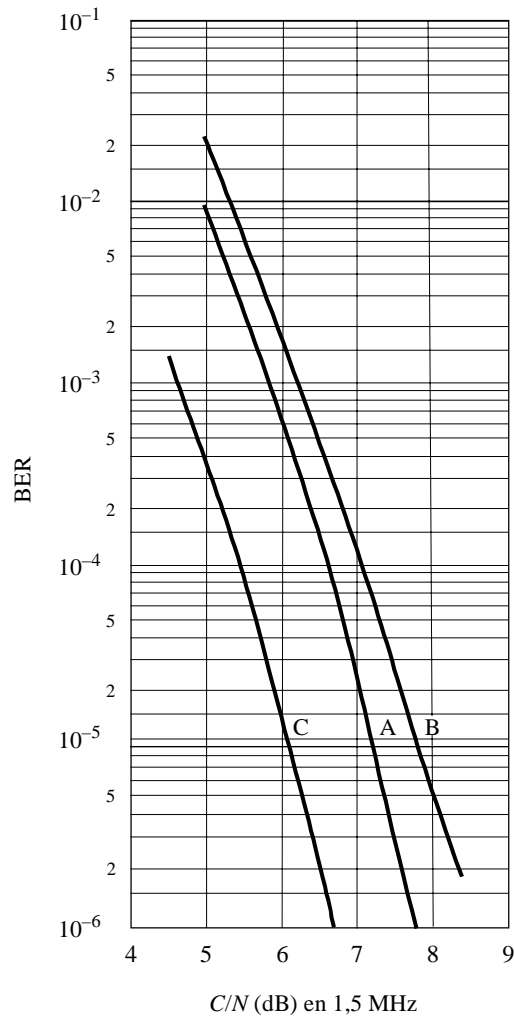
D : velocidad de datos en la fuente

R : relación de código media del canal.

10.1 BER en función de C/N (en 1,5 MHz) en un canal gaussiano a 226 MHz

Se agregó ruido blanco gaussiano aditivo para fijar la C/N a la entrada del receptor. Los resultados se muestran en la Fig. 7. Como ejemplo, para $R = 0,5$ se pueden comparar los resultados medidos con los de una simulación informática, para mostrar la calidad de funcionamiento propia del Sistema. Se puede observar que se obtiene un margen de realización menor que 0,5 dB con una BER de 1×10^{-4} .

FIGURA 7
BER en función de C/N (en 1,5 MHz)
en un canal gaussiano,
226 MHz, Modo I



Curvas A: $R = 0,5$ (simulación por soporte lógico)
 B: $R = 0,5$
 C: $R = 0,375$

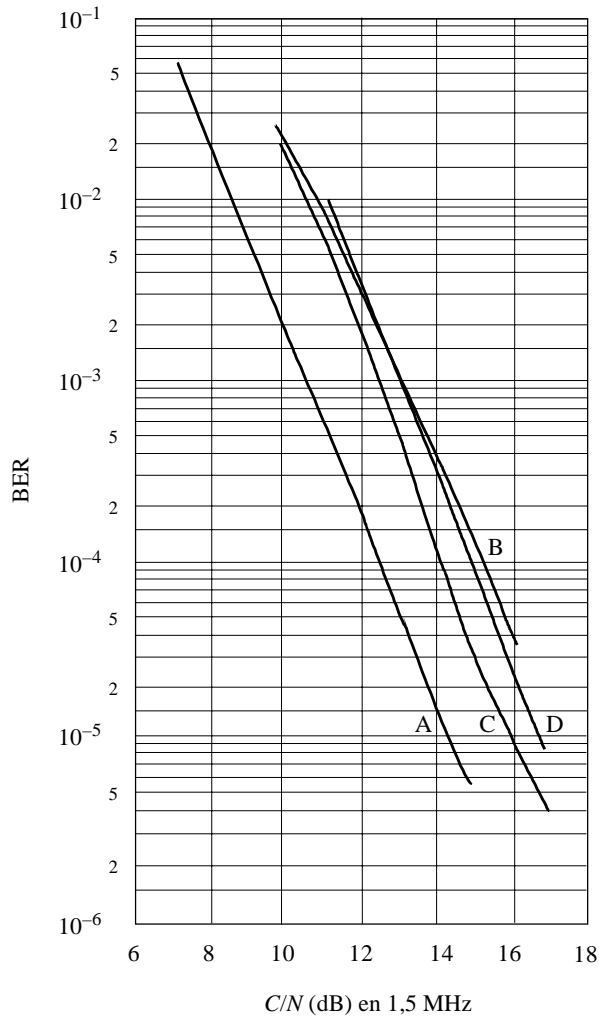
1130-07

10.2 BER en función de C/N (en 1,5 MHz) en un canal Rayleigh a 226 MHz

Se efectuaron mediciones de BER en función de C/N en un canal de datos ($D = 64$ kbit/s, $R = 0,5$), utilizando un simulador de canal con desvanecimiento.

Los resultados se muestran en la Fig. 8. Para el ejemplo de un canal Rayleigh con perfil rural y el receptor desplazándose a una velocidad de 130 km/h, se pueden comparar los resultados medidos (Curva B) con los de una simulación informática (Curva A). La diferencia es menor que 3 dB con una BER de 10^{-4} . La Curva C ilustra la calidad de funcionamiento urbana típica a velocidad relativamente baja, pero en un canal altamente dispersivo en frecuencia. La Curva D ilustra el comportamiento en una red representativa de frecuencia única en malas condiciones, en las que las señales se reciben con retardos de hasta 600 μ s (correspondiente a una longitud de trayecto 180 km mayor).

FIGURA 8
BER en función de C/N (en 1,5 MHz)
en un canal de Rayleigh
226 MHz, Modo I



Curvas A: $R = 0,5$, rural, 130 km/h
 (simulación por soporte lógico)
 B: $R = 0,5$, rural, 130 km/h
 C: $R = 0,5$, urbano, 15 km/h
 D: $R = 0,5$, red de una sola frecuencia,
 130 km/h

1130-08

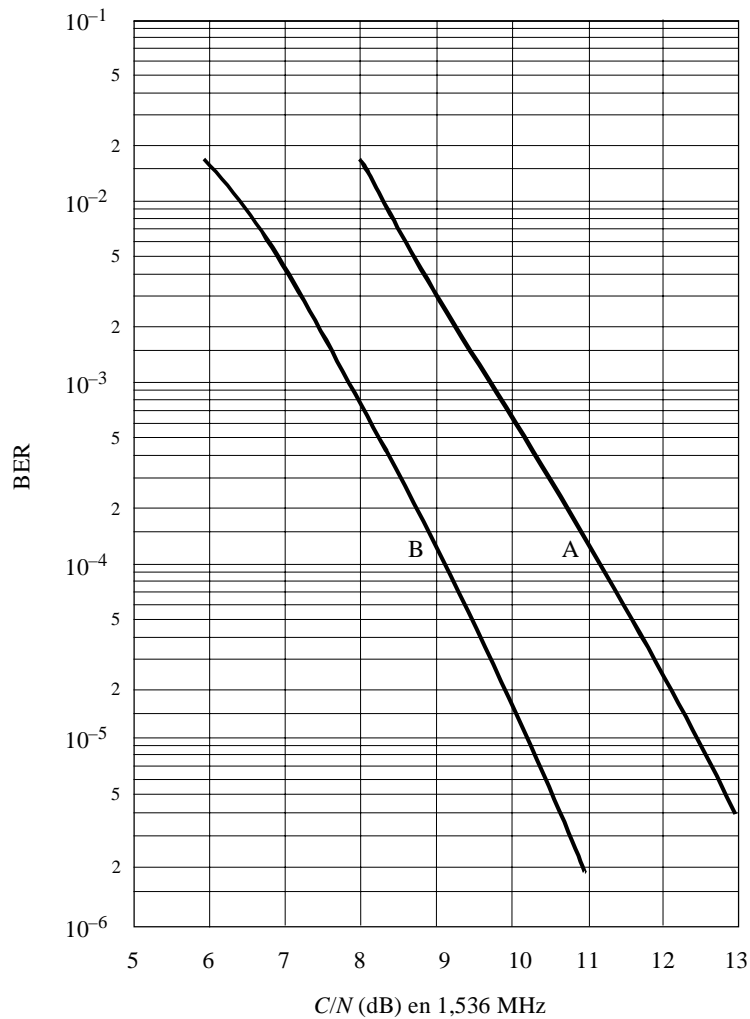
10.3 BER en función de C/N (en 1,5 MHz) en un canal Rayleigh a 1500 MHz

Se efectuaron mediciones de BER en función de C/N en un canal de datos utilizando un simulador de canal con desvanecimiento. Los resultados se muestran en la Fig. 9.

10.4 Disponibilidad del servicio audio

Las evaluaciones provisionales de la calidad del sonido indican que no hay degradación perceptible si la BER es menor que 1×10^{-4} .

FIGURA 9
BER en función de C/N (en 1,5 MHz) en un canal Rayleigh,
1 500 MHz, Modo II



Curvas A: $R = 0,5$, urbano, 15 km/h
B: $R = 0,375$, urbano, 15 km/h

1130-09

ANEXO 3

Sistema digital B

1 Introducción

El Sistema de radiodifusión sonora digital B es un sistema flexible, que utiliza eficazmente la anchura de banda y la potencia para la recepción de radiodifusión de audio y datos digitales por receptores fijos, portátiles y móviles en interiores y exteriores. El Sistema B está diseñado para sistemas de radiodifusión por satélite o terrenales e híbridos y también es adecuado para usarlo en cualquier banda atribuida al servicio de radiodifusión.

El Sistema B permite una multiplexación flexible de fuentes de audio y datos digitalizados que han de ser modulados en cada portadora. Esto, junto con una gama de posibles velocidades de transmisión, resulta en una adaptación eficaz entre los requisitos del proveedor del servicio y los recursos de potencia y anchura de banda del transmisor.

El diseño del receptor del Sistema B es modular. Un diseño de receptor básico normalizado proporciona la capacidad necesaria para la recepción fija y portátil. Este diseño se basa en técnicas de procesamiento de señales normalizadas comprobadas, para las cuales se han elaborado circuitos integrados de bajo costo. Las técnicas de mitigación, que se necesitan en general para la recepción móvil, se aplican como funciones de procesamiento incorporadas.

En la radiodifusión por satélites, la principal degradación es el bloqueo de las señales por edificios, árboles y otros obstáculos. Este bloqueo de las señales produce desvanecimientos de señal muy profundos y por lo general no es posible compensarlos completamente con el margen del enlace. Se han elaborado o adaptado varias técnicas de mitigación durante el diseño del receptor del Sistema B. Este receptor puede admitir las siguientes:

- Diversidad en el tiempo (retransmisión de datos): Una versión retardada del tren de datos se multiplexa junto con los datos originales y el transmisor en la misma portadora.
- Recepción por diversidad (diversidad de antena/receptor): Dos antenas/receptores separados físicamente reciben y procesan la misma señal.
- Diversidad de transmisión (diversidad de satélite/transmisor): El mismo tren de datos es transmitido por dos transmisores físicamente separados en frecuencias separadas; cada frecuencia es recibida por una antena, y después procesados independientemente.
- Amplificadores en el canal (red de una sola frecuencia): El mismo tren de datos es transmitido por dos o más transmisores separados físicamente en la misma frecuencia, y después la señal recibida compuesta es procesada por un igualador.

En un sistema terrenal, con varios transmisores en el canal, así como en un sistema de satélite con amplificadores terrenales en el canal, el Sistema B utilizará la igualación en el receptor. Ésta es la única vez que se afecta la configuración del receptor básico. Si un receptor no realiza la igualación, debe tener la capacidad de reconocer y descartar los símbolos de acondicionamiento que han sido insertados en el tren de datos.

2 Visión general del Sistema

Se puede obtener una visión general del diseño del Sistema B examinando el diagrama de bloques funcionales del receptor (que comienza en la frecuencia intermedia (FI)) y que se muestra en la Fig. 10. Las funciones del receptor básico se muestran en bloques de línea continua y las funciones facultativas para realizar la mitigación de los problemas de propagación se muestran en bloques de línea interrumpida.

Después que la portadora deseada es seleccionada por la sección de sintonía del receptor, la señal se traduce a una frecuencia intermedia fija.

En el receptor básico, la portadora se reconstruye en un bucle Costas con MDP-4, y los símbolos son detectados por un filtro adaptado con temporización proporcionada por un bucle de seguimiento de símbolos. Después de establecida la sincronización de trama, los símbolos recuperados son decodificados y demultiplexados. El decodificador Reed-Solomon (RS) realiza la función adicional de marcar los bloques de datos que no fueron decodificados satisfactoriamente. Esta información es utilizada por el decodificador de audio y puede ser utilizada por el combinador de diversidad de tiempo o de señal, si está incorporado en el receptor.

Los datos de fuente de audio digital seleccionados son enviados al decodificador de audio mientras que otros datos digitales son enviados a las interfaces de datos apropiadas. Cada decodificador de audio tendrá la capacidad de multiplexar datos asíncronos relacionados con el programa, con el tren de datos de audio mostrado en la Fig. 10.

En un receptor equipado con un igualador, la igualación puede ser inhabilitada en ausencia de propagación multitrayecto porque el igualador introducirá una cantidad nominal de degradación de la calidad de funcionamiento.

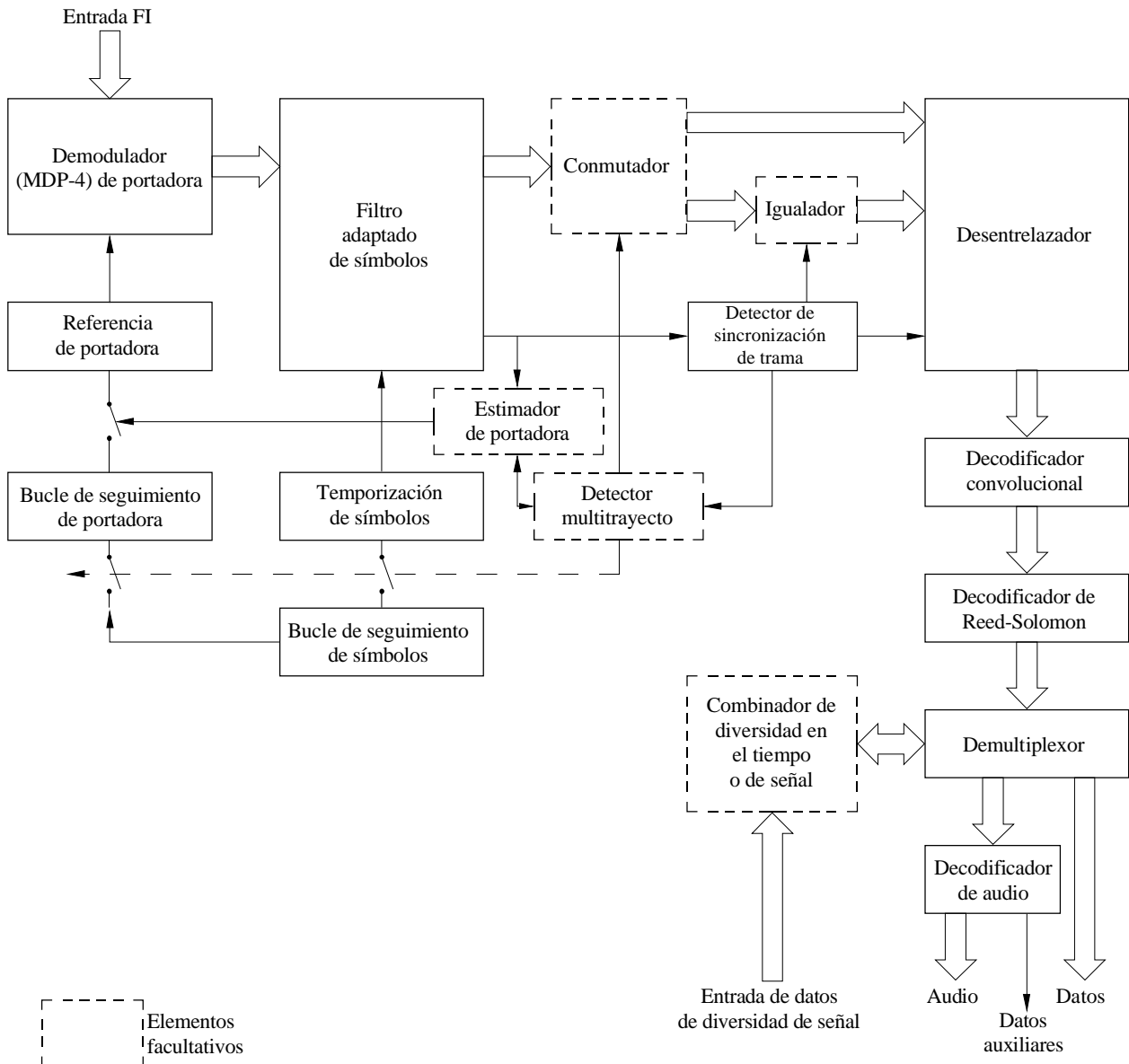
La presencia de la propagación multitrayecto puede ser detectada automáticamente o el igualador puede ser conmutado manualmente si el receptor ha de funcionar en una zona servida por transmisores terrenales. Cuando el igualador está funcionando, se abren los bucles de seguimiento de portadora y de símbolos.

La diversidad en el tiempo se aplica transmitiendo una versión retardada de un tren de datos multiplexados junto con el original. En el receptor, estos dos trenes de datos son demultiplexados y realineados temporalmente. Se selecciona para la salida el tren de datos con el menor número de errores.

La diversidad de señal requiere el procesamiento independiente de la señal, o de diferentes señales de frecuencia, hasta el combinador de diversidad. Este combinador de diversidad ejecuta las funciones de alineación temporal y selección del tren de datos con menos errores.

FIGURA 10

Diagrama de bloques funcionales del receptor



1130-10

3 Descripción del Sistema

Las capas de procesamiento del transmisor y del receptor del Sistema B se describen bloque por bloque, haciendo referencia al diagrama de la Fig. 11. Se definen especificaciones para cada bloque, según proceda.

3.1 Transmisor

El transmisor realiza todas las funciones de procesamiento necesarias para generar una sola portadora RF. El proceso incluye la multiplexación de todas las fuentes de audio analógico y de datos digitales que se han de combinar en una portadora, con codificación con corrección de errores hacia adelante y modulación MDP-4.

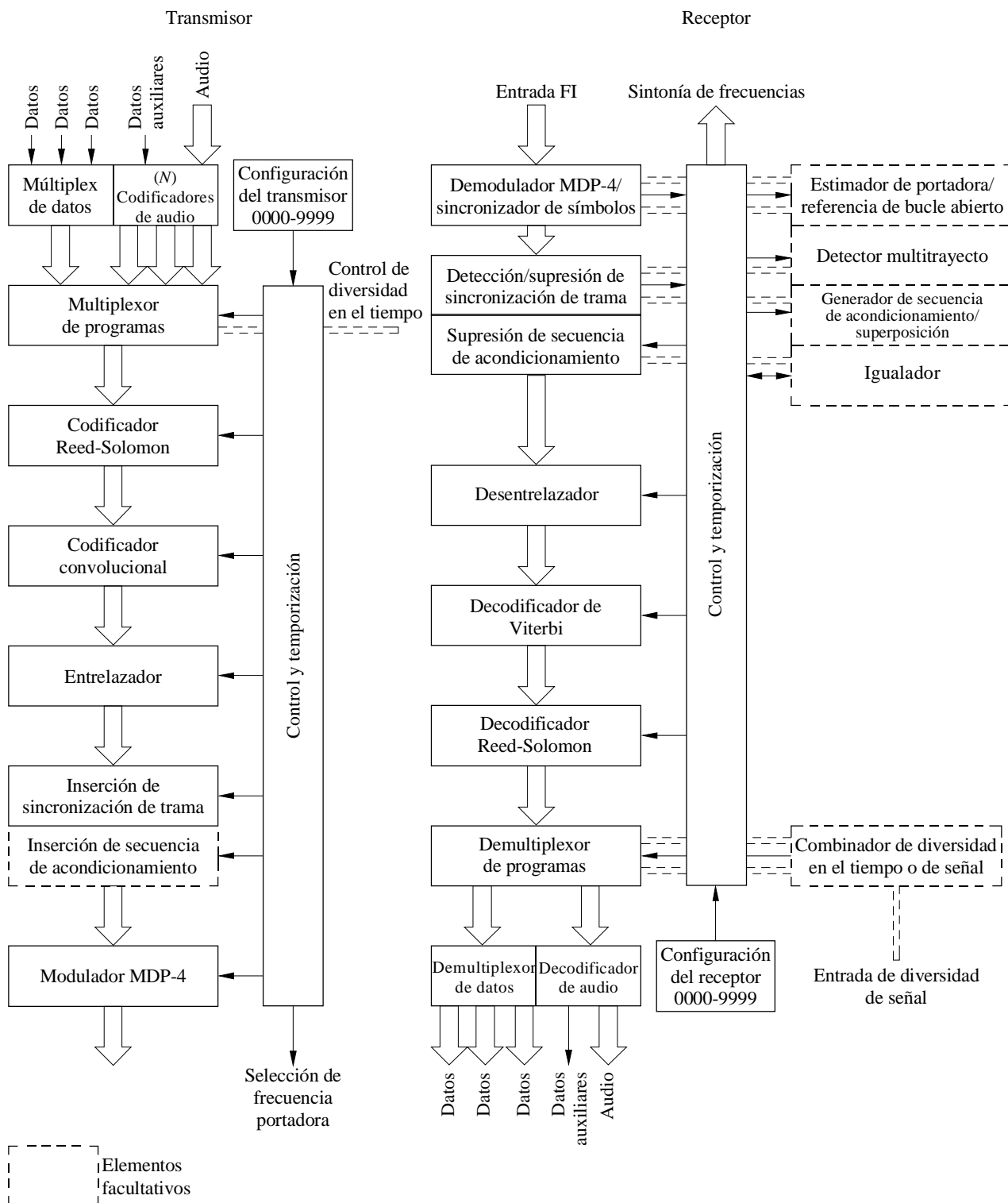
3.1.1 Interfaces de entrada

El transmisor acepta un conjunto de señales de audio analógicas muestreadas, un conjunto de fuentes de datos asíncronos asociados con cada fuente de audio y un conjunto de fuentes de datos síncronos independientes.

3.1.2 Codificación de audio

Se proporcionan varios codificadores de audio para tratar el número requerido de canales monoaurales con anchura de banda limitada, canales estéreo con anchura de banda limitada y completa y cinco canales sonoros ambiente con anchura de banda completa.

FIGURA 11
Diagrama de bloques del Sistema B



Cada codificador acepta también un canal de datos asíncrono, que se multiplexa con el tren de datos de audio. La velocidad de datos de estos canales varía dinámicamente de acuerdo con la capacidad no utilizada del canal de audio.

La salida de cada codificador de audio es un tren de datos síncrono con una velocidad de datos proporcional a la anchura de banda y a la calidad de audio. La velocidad varía de un mínimo de 16 kbit/s para canales monoaurales con anchura de banda limitada a 320 kbit/s aproximadamente para cinco canales (la velocidad exacta ha de ser determinada con referencia a las especificaciones MPEG-2). Las velocidades de datos del codificador de audio están limitadas a múltiplos de 16 kbit/s.

3.1.3 Multiplexación de programas

Todos los canales de audio y los canales de datos digitalizados son multiplexados en un tren de datos en serie compuesto. La velocidad de datos de salida variará de un mínimo de 32 kbit/s a un máximo determinado por los recursos de anchura de banda y potencia del sistema transmisor. Se prevé que este máximo esté comprendido entre 1 y 10 Mbit/s.

A cada combinación múltiplex autorizada de fuentes de audio y sus velocidades, así como de fuentes de datos y sus velocidades, se le asignará un número de identificador de transmisión único. Este número será utilizado por el receptor para establecer la velocidad de datos y la configuración de demultiplexación.

3.1.4 Codificación con corrección de errores

La codificación con corrección de errores del tren de datos compuesto consiste en codificación convolucional $k = 7$, a $1/2$ velocidad, precedida por la codificación RS a velocidad 140/160.

3.1.5 Entrelazado

Se utiliza un entrelazador de bloques para entrelazar en el tiempo el tren de datos compuesto. La longitud del bloque entrelazador será proporcional a la velocidad de datos compuesta para proporcionar un tiempo de trama de entrelazador del orden de 200 ms a cualquier velocidad de datos.

3.1.6 Sincronización de trama

Se inserta una palabra de código de seudoruido (PN) al principio de cada trama de entrelazador. La sincronización de trama de entrelazador tendrá también una relación única con la trama de multiplexor de programas.

3.1.7 Inserción de secuencia de acondicionamiento

Si la radiodifusión ha de recibir un entorno con repetidores en el canal, se insertará una secuencia de símbolos de acondicionamiento conocida, con un símbolo de acondicionamiento colocado cada n símbolos de datos, donde n puede variar de 2 a 4. La presencia de símbolos de acondicionamiento y su frecuencia será identificada también por el número de identificador de transmisión único.

3.1.8 Modulación

El paso final en el proceso es la MDP-4 en FI. Se utilizará conformación del impulso para restringir la anchura de banda de la señal. Desde este punto, la señal FI modulada es traducida a la frecuencia portadora apropiada para transmisión. Cuando se utiliza multiplexación por división de frecuencia (MDF), se generan portadoras adicionales duplicando el transmisor descrito anteriormente.

3.2 Receptor

Después de sintonizar la portadora deseada y traducir la señal a una FI fija, el receptor realizará las funciones de demodulación, decodificación y demultiplexación, así como la conversión de digital a analógico de la señal de audio seleccionada.

La velocidad de datos del receptor y la configuración del demultiplexor de programas se establecerán insertando el número de identificador de transmisión único. El receptor básico podrá realizar todas las funciones de recepción requeridas en un entorno de recepción fijo o portátil, donde haya una señal estable con una relación señal/ruido suficiente.

En entornos de recepción móvil, donde se plantean problemas con el bloqueo de las señales, el receptor incluirá las mejoras necesarias para incluir la diversidad en el tiempo o de señal, o la igualación si se utilizan amplificadores.

3.2.1 Demodulación

La demodulación normal de la portadora se produce en un demodulador MDP-4 coherente enganchado en fase, y los símbolos son detectados por un filtro adaptado con temporización proporcionada por un bucle de seguimiento de símbolos.

Cuando se utiliza igualación en presencia de ecos, los bucles de seguimiento, de portadora y de símbolos están abiertos. Se utiliza un estimador de frecuencia de transformada rápida de Fourier (FFT, *fast Fourier transform*) para fijar una referencia de demodulación de portadora fija. El filtro adaptado de símbolos es muestreado al doble de la velocidad de símbolos y estas muestras son enviadas al igualador.

3.2.2 Sincronización de trama

La sincronización de trama del entrelazador se establece mediante detección de transcorrelación de la única palabra de sincronización de trama. Este proceso suprime también la ambigüedad producida por la modulación MDP-4.

3.2.3 Igualación

En presencia de ecos, habrá varias crestas de correlación estrechamente espaciadas en la salida del detector de sincronización de trama. Esta información se puede utilizar para conmutar automáticamente en el igualador. El igualador utiliza una secuencia de acondicionamiento generada localmente cuyo comienzo se basa en una estimación de la posición de la palabra de sincronización de trama. Una comparación de la temporización de la palabra de sincronización de trama generada localmente y de la salida del detector de sincronización de trama permite al igualador ajustar cualquier error de temporización entre los símbolos entrantes y la referencia de temporización de símbolos generada localmente.

El Sistema B utiliza un diseño de igualador de realimentación con decisión predictiva por rejilla (Lattice PDFE, *predictive decision feedback equalizer*). El margen autorizado en la dispersión temporal de todos los ecos es una función de la longitud del igualador. Para probar el funcionamiento del Sistema B se empleó un igualador con 22 derivaciones hacia adelante y 4 hacia atrás. El igualador funcionará durante un intervalo igual a 100 símbolos sucesivos. Se puede aumentar la longitud del igualador si es necesario para compensar una mayor dispersión del retardo de la señal.

3.2.4 Supresión de secuencia de acondicionamiento

En la salida del igualador, los símbolos de secuencia de acondicionamiento son descartados. Si un receptor sin igualador funciona con una señal que contiene símbolos de acondicionamiento, debe descartar también estos símbolos. Éste es un proceso simple, dado que la posición de los símbolos de acondicionamiento es conocida en relación con la palabra de sincronización de trama.

3.2.5 Desentrelazado

El desentrelazador restablece la secuencia de tiempo original de los símbolos detectados, tal como existía en el transmisor antes del entrelazado.

3.2.6 Decodificación con corrección de errores

Un decodificador de Viterbi, seguido por un decodificador de RS, reduce la tasa de errores detectada en los símbolos y convierte de nuevo los símbolos en bits de datos. Si el decodificador de RS no puede suprimir todos los errores en un bloque de datos, marca los bloques de datos erróneos. Esta indicación puede ser utilizada ulteriormente por el combinador de diversidad para seleccionar la mejor señal, así como por el decodificador de audio para controlar el silencio de la salida de audio.

3.2.7 Demultiplexación de programas

En este punto, el tren de datos compuesto es demultiplexado en trenes de datos digitales separados y el tren de datos de audio deseado es seleccionado y encaminado al decodificador de audio.

Si se utiliza diversidad en el tiempo, el demultiplexor de programas separa la versión en tiempo real y la versión retardada del tren de datos y las envía al combinador de diversidad para seleccionar los datos menos corrompidos.

Si se utiliza un receptor independiente para la recepción con diversidad, éste es el punto donde se seleccionan los datos de salida más robustos.

3.2.8 Decodificación de audio

El decodificador de audio convierte el canal de audio digital seleccionado a analógico. Demultiplexa también el canal de datos auxiliares y envía los datos a la interfaz de salida apropiada.

La interfaz del demultiplexor de programas proporciona no sólo los datos y reloj recuperados, sino también una indicación de la calidad de los datos a partir del decodificador RS. Esta señal se puede utilizar para facilitar el control del silencio del decodificador de audio de control durante las condiciones de señal de umbral. Esta característica se utilizó durante la prueba del Sistema digital B con el decodificador de audio AT&T PAC y se inhabilitó durante las pruebas con un decodificador de audio MUSICAM.

3.2.9 Interfaces de salida

Las interfaces de salida consisten en el canal de audio seleccionado y los canales de datos seleccionados. Los datos pueden ser marcados como buenos o malos utilizando el indicador de calidad de datos de RS. El canal de datos puede activar visualizaciones en el receptor, o ser encaminado para visualizaciones especiales en aplicaciones de distribución de datos. Como puede existir más de un canal de audio en un múltiplex de transmisión, los canales no seleccionados para escucha pueden ser grabados para reproducción ulterior.

4 Calidad de funcionamiento

La calidad de funcionamiento del Sistema B se determina por referencia a un conjunto de modelos de canales normalizados: un canal de ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN); un modelo de satélite para una señal de satélite, y un modelo de señales múltiples (a una sola frecuencia) que puede representar una señal de satélite con amplificadores terrenales o una red puramente terrenal.

4.1 Canal AWGN

Un enlace de satélite con visibilidad directa en cielo despejado puede ser aproximado con un canal AWGN. Hay muy poca propagación multirayecto (factores k de Rice generalmente por debajo de 10 dB) en ángulos de elevación de satélite por encima de 20°. En la Fig. 12 se muestra la calidad de funcionamiento medida de un receptor del Sistema B en un canal AWGN y se muestran también algunas comparaciones entre resultados teóricos, simulados y medidos.

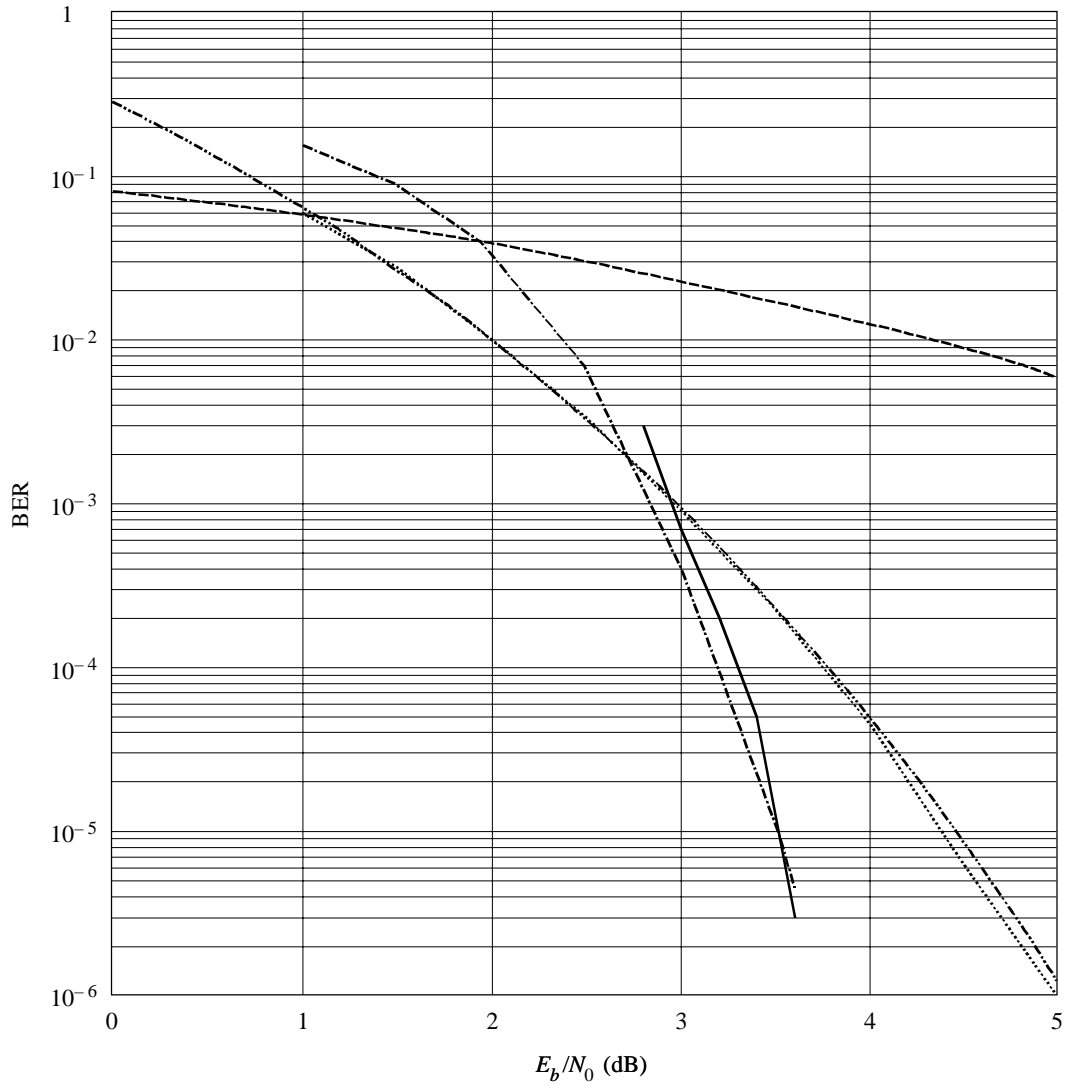
Como el Sistema B puede utilizar varias portadoras independientes en un modo de MDF, es interesante la separación de portadoras. La Fig. 13 muestra la degradación de la calidad de funcionamiento medida en función del espaciamiento de la portadora adyacente.

El espaciamiento viene dado como una relación entre la separación de portadoras (Hz) y la velocidad de símbolos transmitida (símbolos/s). En el Sistema B la velocidad de símbolos es igual a la velocidad de datos multiplicada por la tara de RS de 160/140, multiplicada por la tara de símbolos de acondicionamiento.

4.2 Canal de satélite

El canal de satélite cambia para la recepción móvil porque la señal de satélite es bloqueada aleatoriamente por edificios, árboles y otros obstáculos. Para evaluar la calidad de funcionamiento del Sistema B en condiciones de recepción móvil, se creó un modelo mediante una medición de señales de satélite en una prueba específica en la zona de Pasadena, California. La prueba toma 45 min y comprende una variedad de condiciones de recepción, incluidos segmentos abiertos, moderadamente sombreados y muy sombreados. La señal de satélite se midió con banda estrecha, lo que dio una gama dinámica de más de 35 dB. En la Fig. 14 se muestra un trazado del modelo. La Fig. 15 resume la estadística de la medición de las señales.

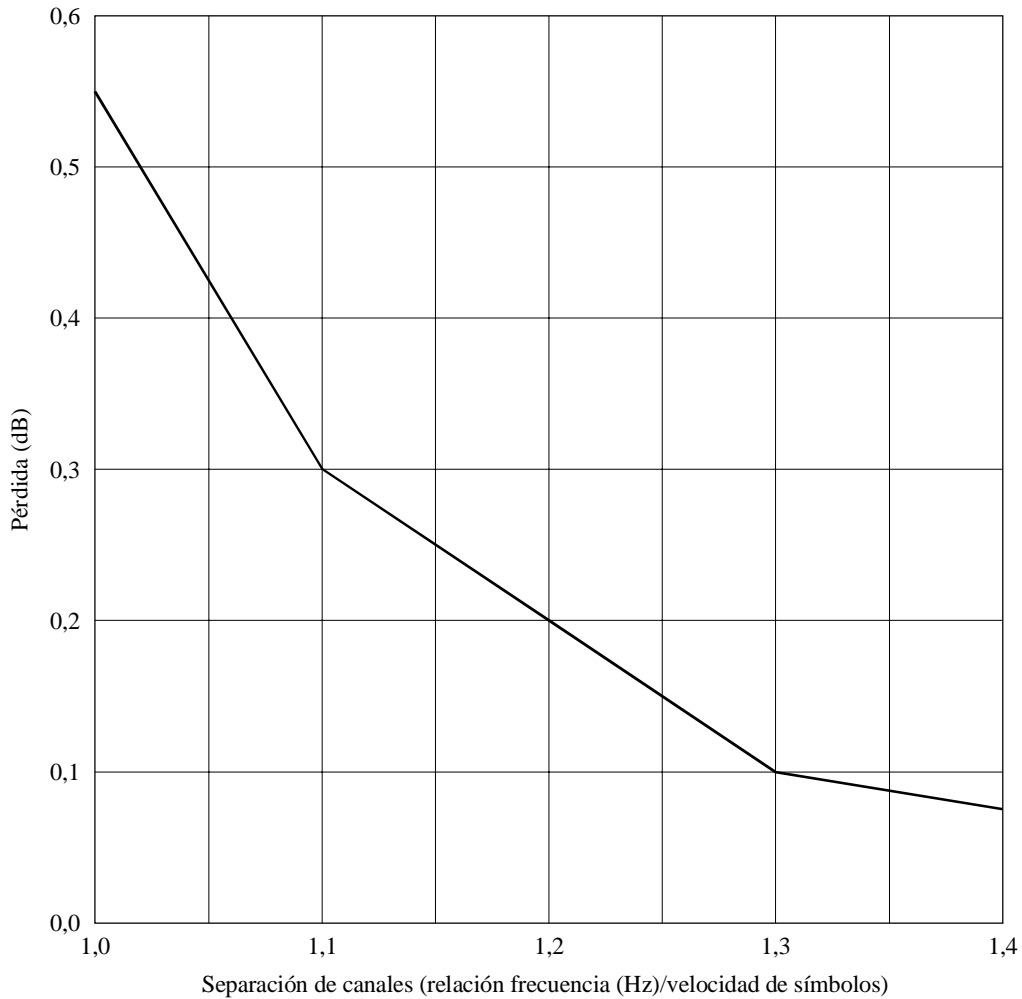
FIGURA 12
 Calidad de funcionamiento del Sistema B en un canal AWGN



- Sin codificación (teórico)
- .-.-.-.- Convolutacional (teórico)
- Convolutacional (simulación)
- Convolutacional + Reed-Solomon (simulación)
- Convolutacional + Reed-Solomon (medida)

FIGURA 13

Degradación de la calidad de funcionamiento en función de la separación de portadoras



1130-13

4.2.1 Diversidad en el tiempo

Si sólo se dispone de una señal de satélite, una técnica de mitigación efectiva es la diversidad en el tiempo. Una versión retardada de un tren de datos se multiplexa con el tren de datos original, esperando que al menos una versión no sea bloqueada. El receptor realinea los dos trenes de datos en el tiempo y selecciona el que tiene menos errores. Esto se puede hacer sobre la base de la indicación de errores del decodificador de RS.

La retransmisión del tren de datos añade una penalización de 3 dB al sistema, aunque se puede mostrar que esto es más eficaz que un aumento de 3 dB en el margen del enlace. Las Figs. 16 y 17 muestran la efectividad de la diversidad en el tiempo utilizando el modelo de canal satélite de Pasadena. La Fig. 16 muestra la probabilidad conjunta de un desvanecimiento que exceda de una gama de márgenes de enlace, promediada en todas las condiciones de recepción del modelo. Obsérvese que la mayor parte de la mejora se produce en unos 4 s de retardo. La Fig. 17 muestra las probabilidades de desvanecimiento conjuntas, para un margen fijo de 10 dB, separadas por condiciones de recepción diferentes.

4.2.2 Diversidad de satélite

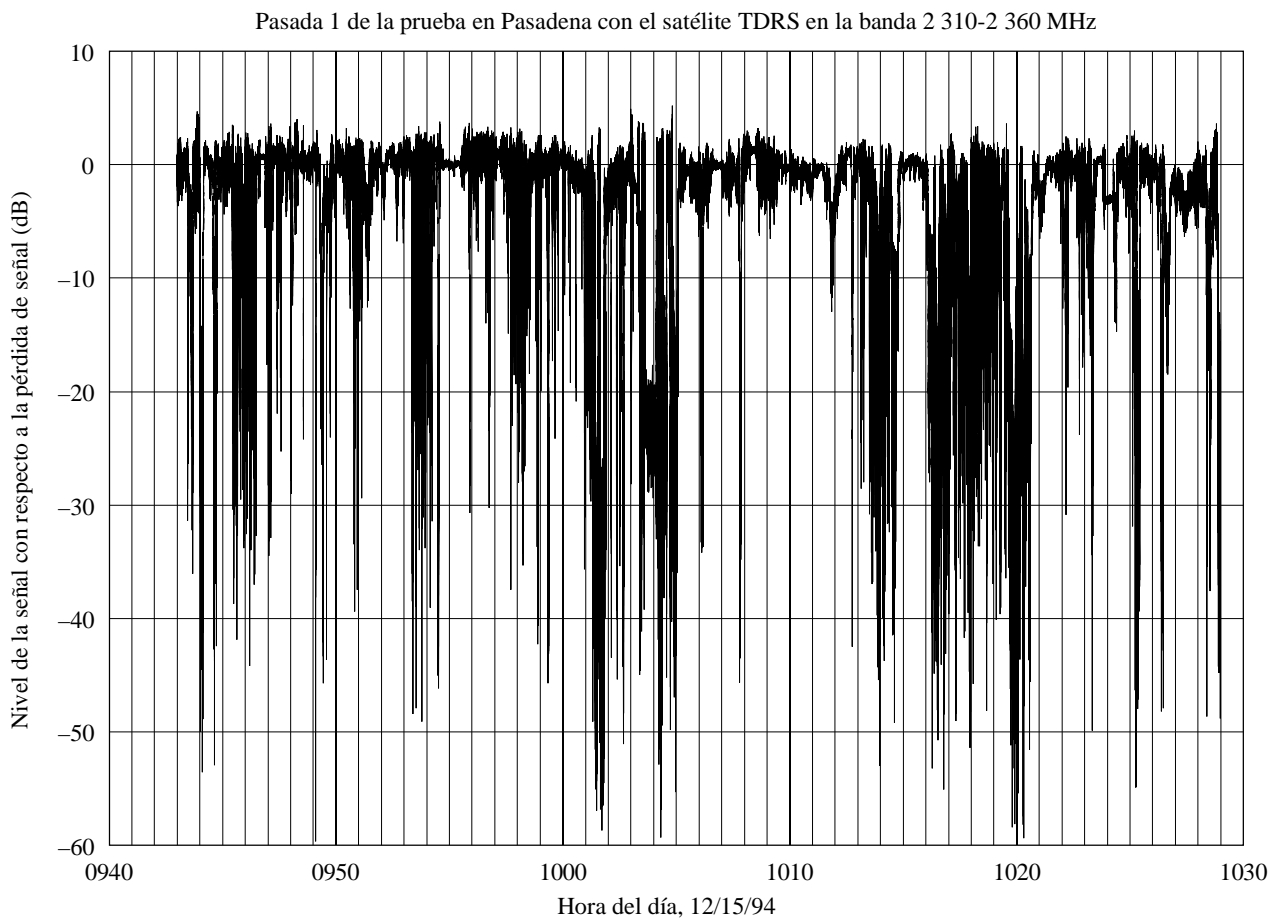
Se puede utilizar más de un satélite para radiodifundir el mismo tren de datos, utilizando frecuencias separadas y receptores separados para cada señal. Con esta técnica se espera que al menos una de las señales no será bloqueada debido a la diferencia de sentido del receptor a los satélites.

La efectividad de la diversidad de satélites, al igual que la diversidad en el tiempo, depende de la geometría local de los obstáculos que producen el bloqueo de las señales. Recientemente se han aplicado técnicas fotogramétricas para obtener estadísticas de la efectividad de la diversidad de satélite. Estas técnicas comprenden la toma de imágenes fotográficas con una cámara de lente de ojo de pez apuntada al cenit y después el análisis de estas imágenes para determinar el porcentaje de cielo despejado, sombreado o bloqueado. La posición del satélite se puede superponer en estas imágenes para dar una evaluación de la ganancia por diversidad en un lugar o trayecto específico.

4.3 Red a una sola frecuencia

Un método para obtener una señal de satélite en zonas de recepción muy difícil es utilizar una red de repetidores terrenales en el canal. El Sistema B utiliza la igualación para funcionar en este entorno de señales. La única restricción en la utilización de la igualación es que las señales son retardadas por lo menos medio símbolo entre sí. No hay restricciones en cuanto a la proximidad de los amplificadores entre sí, si se incorporan retardos diferentes en cada uno. El retardo máximo entre amplificadores será fijado por el número de etapas incorporadas en el igualador.

FIGURA 14
Modelo de canal de satélite



4.3.1 Modelos de canal

Se establecieron dos modelos de señal para evaluar la calidad de funcionamiento del igualador del Sistema B. Además, se evaluó la efectividad de la diversidad de recepción de la señal.

El primero es un modelo de Rice, con una mitad de la potencia en un componente de señal directo y un cuarto de la potencia en cada uno de los dos componentes de Rayleigh. La dispersión debida al efecto Doppler en los componentes de Rayleigh se estableció en ± 213 Hz, lo que corresponde a la velocidad de un vehículo a 100 km/h, en una frecuencia portadora de 2,3 GHz. La velocidad de transmisión es 300 000 símbolos/s. E_b/N_0 se define sobre la base de la potencia de señal total e incluye el efecto de la tara de secuencia de acondicionamiento.

El segundo es un modelo de Rayleigh, con tres componentes de señal de Rayleigh de igual potencia.

4.3.2 Funcionamiento del igualador

Se realizó una evaluación inicial de la calidad de funcionamiento utilizando una simulación «corta», que supuso una separación en el tiempo de las señales en duraciones de símbolos enteros y una recuperación de temporización de símbolos perfecta. Los resultados se muestran en la Fig. 18. La BER es la proporción de errores no codificados, antes de la decodificación de Viterbi y RS. Una proporción de errores no codificados de 1×10^{-2} será reducida a 1×10^{-6} por el proceso de decodificación.

FIGURA 15
Estadística del modelo de canal de satélite

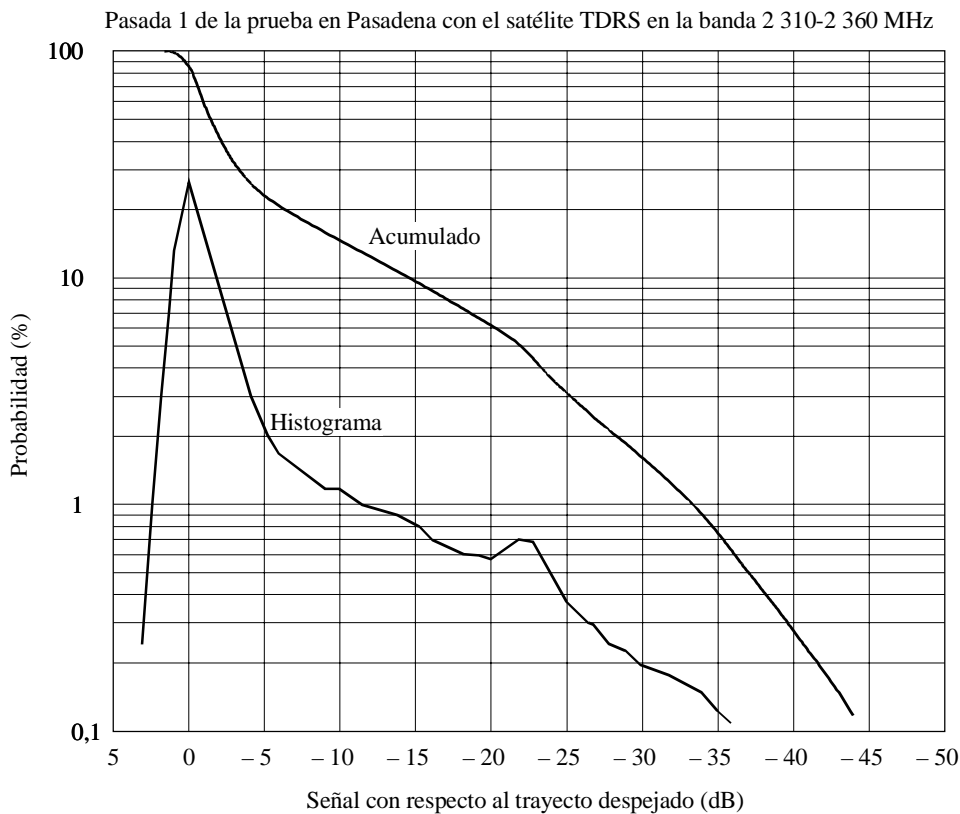


FIGURA 16
Probabilidad de desvanecimiento conjunto en función del margen del enlace

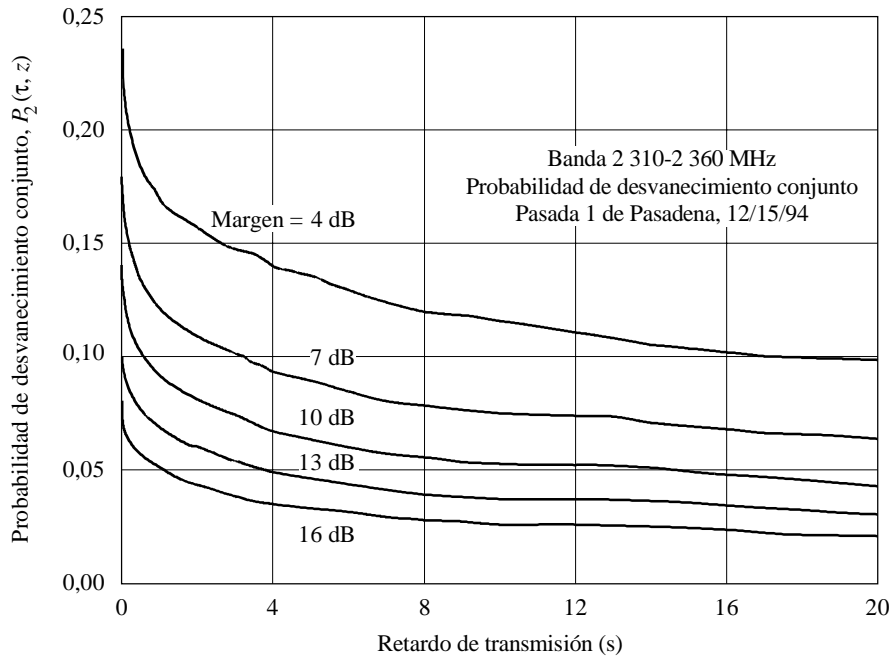


FIGURA 17
Probabilidad de desvanecimiento conjunto en función del entorno

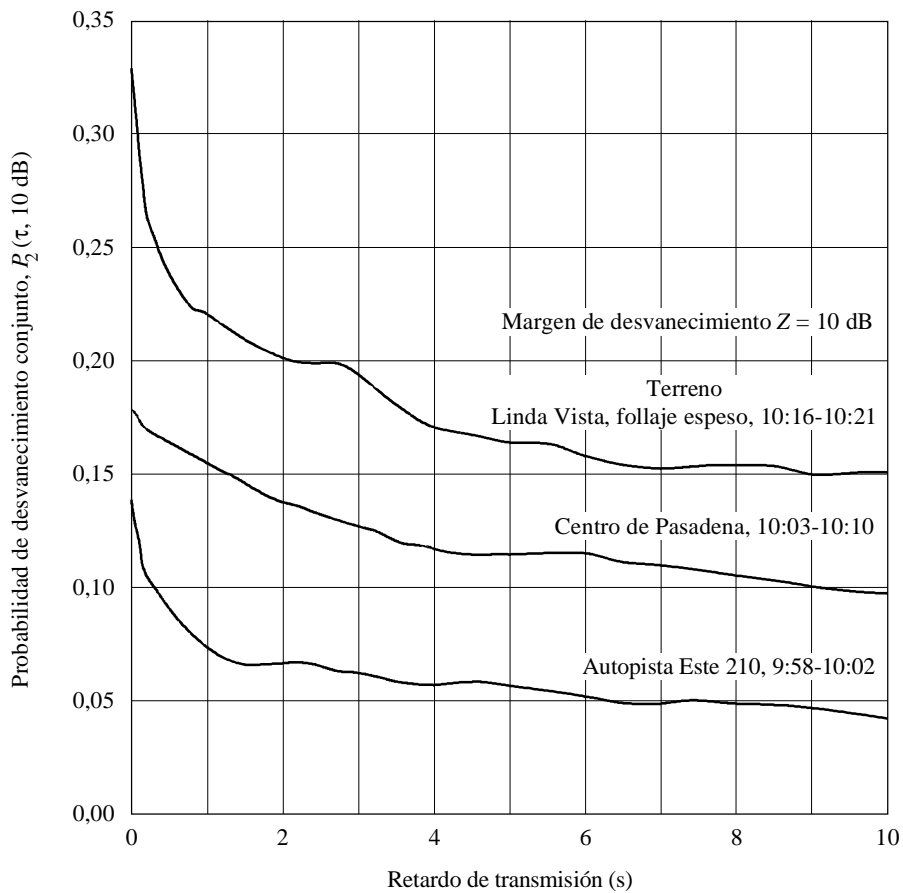
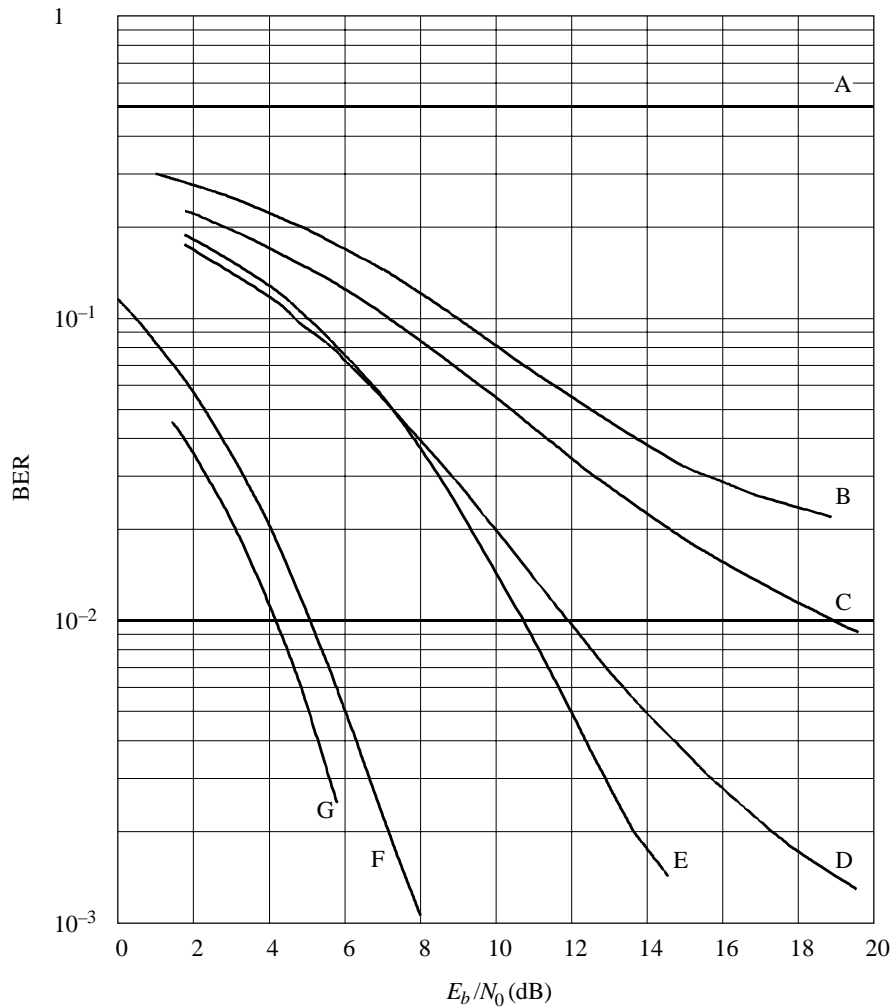


FIGURA 18

Calidad de funcionamiento del igualador ideal del Sistema B (sin codificación)



Curvas A: Sin igualación, canal de Rice o Rayleigh

B: Diversidad de Rayleigh = 1
Símbolos de reacondicionamiento 1:5C: Diversidad de Rayleigh = 1
Símbolos de reacondicionamiento 1:3D: Diversidad de Rayleigh = 2
Símbolos de reacondicionamiento 1:3E: Diversidad de Rice = 1
Símbolos de reacondicionamiento 1:3F: Sin propagación multitrayecto, sin desvanecimiento, igualador activado
Sin tara de símbolo de reacondicionamiento

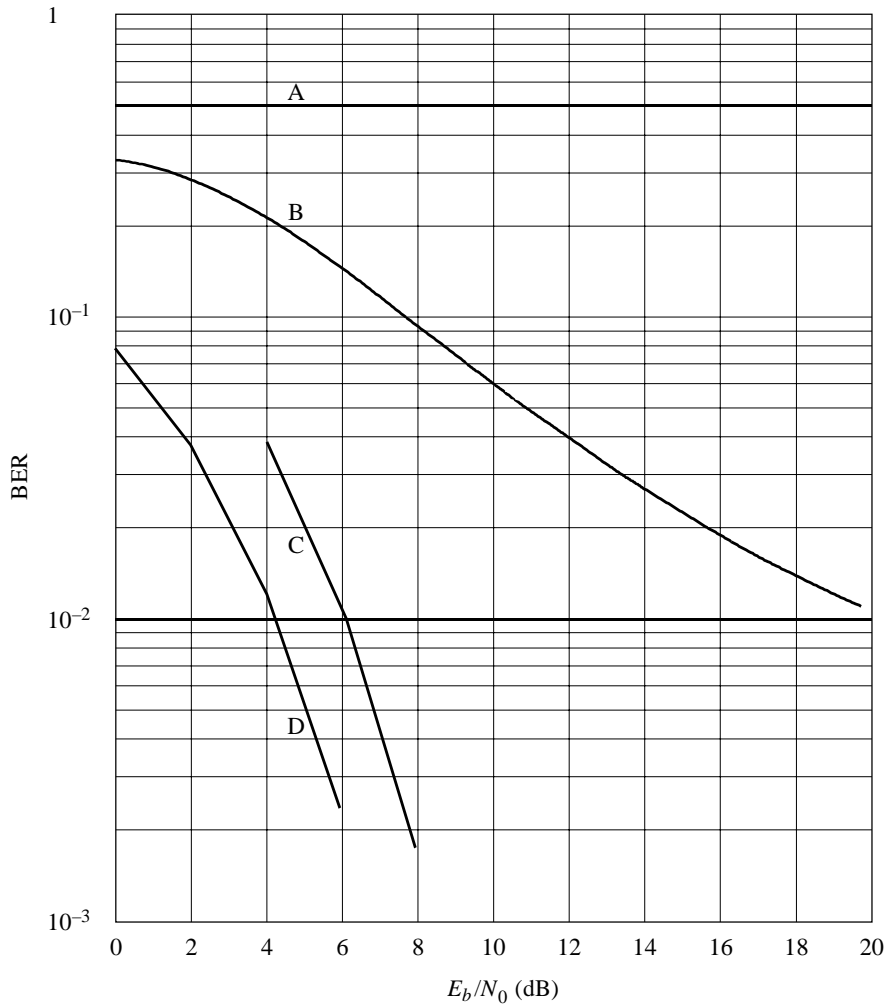
G: Sin propagación multitrayecto, sin desvanecimiento, sin igualador

BER sin codificación = 1×10^{-2}
BER con codificación = 1×10^{-6}

La Fig. 19 muestra la calidad de funcionamiento obtenida con una simulación de escala completa, incluido el funcionamiento en bucle abierto de la demodulación de la portadora y los bucles de temporización de símbolos.

FIGURA 19

Calidad de funcionamiento del igualador del Sistema B (sin codificación)



- Curvas A: Sin igualación, canal de Rayleigh
- B: Diversidad de Rayleigh = 1
Símbolos de reacondicionamiento 1:3
- C: Sin propagación multitrayecto, sin desvanecimiento, igualador activado
Sin tara de símbolos de reacondicionamiento
- D: Sin propagación multitrayecto, sin desvanecimiento, sin igualador

BER sin codificación = 1×10^{-2}
 BER con codificación = 1×10^{-6}

Sistema digital D

1 Introducción

El Sistema digital D se ha diseñado para proporcionar radiodifusión digital de audio y datos por satélite destinada a receptores fijos de interiores/exteriores, portátiles y móviles de bajo costo. Se ha diseñado para optimizar la calidad de distribución del servicio por satélite en la banda 1 452-1 492 MHz, lo cual se consigue mediante MDP-4 con codificación de errores por bloques y convolucional y amplificación lineal. También hay trabajos en curso sobre el desarrollo de técnicas para permitir sistemas de radiodifusión híbrida por satélite/terrenal utilizando el Sistema digital D.

El Sistema digital D permite la modulación de un multiplex flexible de fuentes audio digitalizadas para componer una portadora MDT de enlace descendente. Utiliza el modelo ISA propuesto en la Recomendación UIT-R BT.807.

2 Visión general del sistema

La señal de enlace descendente de radiodifusión en el Sistema digital D está compuesta por una portadora MDT a 3,68 Mbit/s que transporta 96 canales a velocidad primaria (PRC, *prime rate channels*) cada uno con un incremento de capacidad de velocidad primaria de 16 kbit/s. Se transmiten múltiples portadoras de enlaces descendentes MDT por un solo satélite, con cada portadora transmitida por un amplificador de alta potencia (HPA, *high power amplifier*) que puede funcionar en saturación. Un satélite típico de primera generación es capaz de radiar simultáneamente seis de tales portadoras de enlace descendente MDT (equivalentes a 576 PRC) utilizando amplificadores de tubo de ondas progresivas (ATOP). Los PRC se agrupan en tramas de canal de radiodifusión (BC, *broadcast channel*), cada una de las cuales puede transportar hasta ocho PRC. Los PRC pueden utilizarse individualmente o combinados para proporcionar velocidades de componente de servicio de $n \times 16$ kbit/s, siendo n de 1 a 8, proporcionando así considerable flexibilidad a los proveedores de servicios de radiodifusión.

Cada portadora de enlace descendente MDT entrega 1,536 Mbit/s de tráfico en banda base. La corriente de tráfico MDT se divide en 96 intervalos de tiempo de canal que transporta cada uno un PRC a 16 kbit/s referenciado a la banda de base. La adición de encabezamientos del control del servicio (SCH, *service control headers*), preámbulos de sincronización y redundancia para corrección de errores directa, aumenta la velocidad binaria efectiva en cada tren MDT de enlace descendente necesaria para transportar los 96 PRC a 3,68 Mbit/s. La modulación MDP-4 en las portadoras de enlace descendente MDT, a una velocidad de símbolos de 1,84 Msímbolos/s (2bit/símbolo), se utiliza para transportar el tren MDT al receptor. Una separación de frecuencias de 2,3 a 3,0 MHz (véase la Nota 1) entre portadoras MDT proporciona suficiente banda de guarda para permitir el funcionamiento con una interferencia entre símbolos y de canal adyacente de pequeña a despreciable a saturación del ATOP en canales definidos por filtros de raíz cuadrada de coseno alzado con ecualización de apertura aplicada en el lado transmisión. Pequeños aparatos de radio portátiles personales reciben y seleccionan los intervalos de tiempo de canal procedentes de las corrientes de datos MDT para recuperar la información de tráfico digital de banda base.

NOTA 1 – La separación de frecuencias necesaria entre las frecuencias centrales de las portadoras MDT es una función del aislamiento de haces geográficos y del aislamiento de polarización entre portadoras adyacentes.

El Cuadro 5 resume las principales características técnicas del sistema y la Fig. 20 ilustra un diagrama de bloques de un satélite típico mostrando el uso de cargas útiles de procesamiento y transparentes.

Una característica fundamental del Sistema digital D es la aptitud para utilizar una carga útil de procesamiento que incluya un procesador digital de banda base a bordo. El demultiplexor-demodulador de a bordo y el conmutador de encaminamiento conectan múltiples canales de enlace ascendente de acceso múltiple por división en frecuencia (AMDF) a cada tren digital MDT. La Fig. 21 contiene un diagrama de bloques del procesamiento de señal de extremo a extremo mediante una carga útil de procesamiento típica.

Las señales audio codificadas de Capa III MPEG se transportan por el sistema formatadas en incrementos de velocidad primaria de 16 kbit/s. De uno a ocho incrementos de velocidad primaria se multiplexan en BC. Para cada incremento de velocidad primaria, se asignan 6912 bits en una trama BC de 0,432 s de duración. Éstos pueden dividirse en varios componentes de servicio en la trama BC. Una trama BC, como muestra la Fig. 22, empieza por un encabezamiento de control de servicio (SCH, *service contest header*). Para cada incremento de velocidad primaria transportado en la trama BC, el SCH contiene 224 bits. Con la adición del SCH, cada incremento de velocidad primaria contendrá 7 136 bits en la trama de 0,432 s. El SCH proporciona la información necesaria al receptor para seleccionar componentes de servicio y permitir que un originador de servicio controle a distancia funciones relacionadas con el servicio. Para identificar y demultiplexar componentes de servicio, el SCH contiene un campo de control de componentes de servicio

(SCCF, *service component control field*) para cada componente de servicio. Las funciones de radio así controladas pueden incluir encriptación de servicios por abono, la selección de categorías de servicio, direccionamiento de subconjuntos de usuarios, visualización de mensajes, activación y desactivación de un servicio, etc. Las tramas de radiodifusión se ensamblan en la facilidad de origen de servicio.

CUADRO 5

Resumen de las principales características de un Sistema digital D

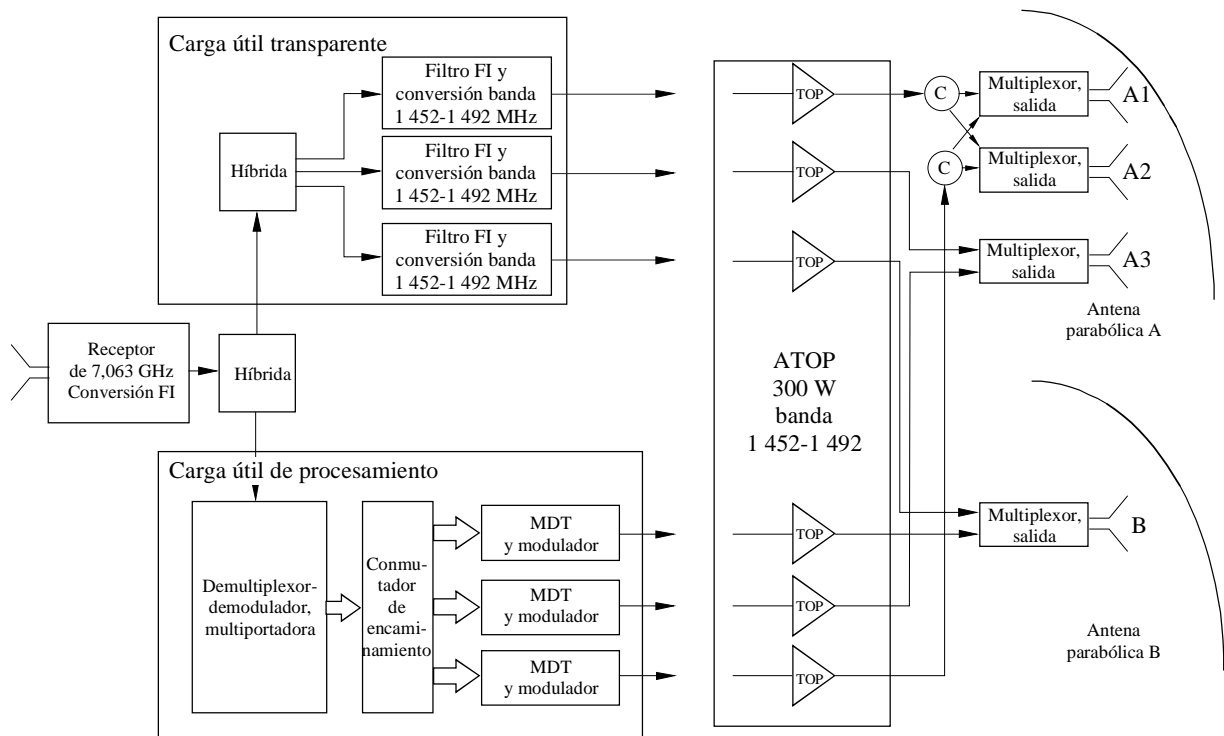
Misión	Radiodifusión digital de audio/datos
Formato de enlace ascendente	SCPC/AMDF (carga útil de procesamiento), o MCPC/MDT (carga útil transparente)
Formato de enlace descendente	MCPC/MDT
Frecuencia de enlace descendente	Banda 1 452-1 492 MHz
p.i.r.e. de transpondedor típica (de cresta)	53,5 dBW
p.i.r.e. de transpondedor típica área de servicio primario EOC	49 dBW
p.i.r.e. de transpondedor típica área de servicio secundario EOC	44 dBW
Modulación	MDP-4 coherente
Umbral (a la entrada de antena (ganancia 0 dBi))	-109 dBm
Codificación de errores	Por bloques y convolucional

MCPC: Múltiples canales por portadora

EOC: Borde de la zona de cobertura

FIGURA 20

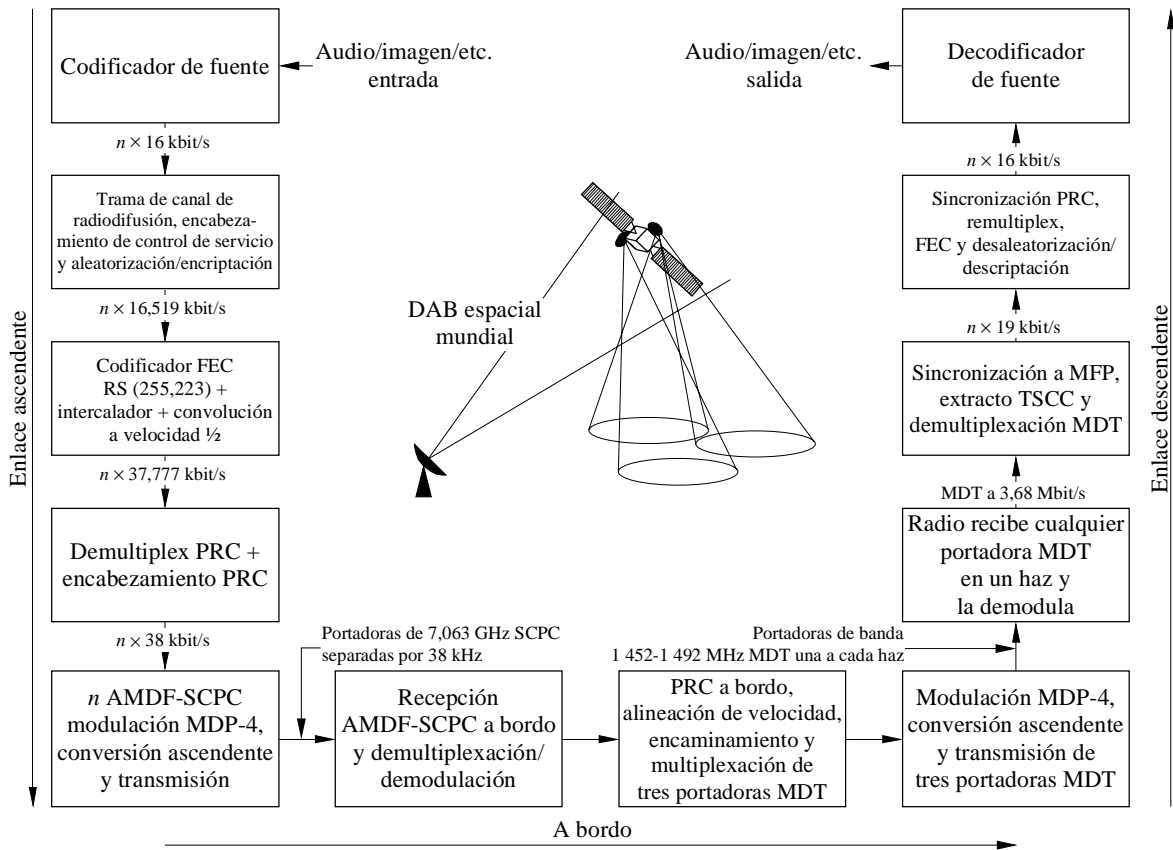
Carga útil de comunicaciones por satélite típica para el Sistema digital D



C: Conmutador

FIGURA 21

Procesamiento típico de señal de extremo a extremo (carga útil de procesamiento) para el Sistema digital D



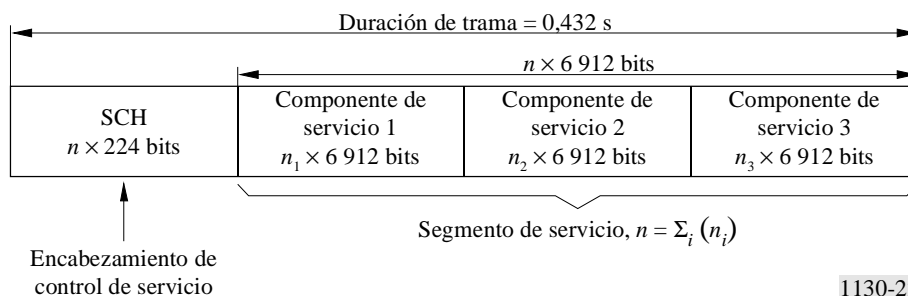
MFP: Preámbulo de trama maestra (*master frame preamble*)
 TSCC: Canal de control de intervalo de tiempo (*time slot control channel*)

1130-21

Para preparar la señal para su transmisión, se ensambla una trama de canal de radiodifusión de 0,432 s compuesta por un segmento de servicio de $n \times 16$ kbit/s ($n \times 6912$ bits/trama), más un segmento de SCH de $n \times 224$ bits/trama). n es un entero que varía de 1 a 8. Así, los BC se estructuran en múltiplos de $n \times 16,5185$ kbit/s. El segmento de servicio de un BC puede dividirse todavía en componentes de servicio separadas destinadas a usos específicos, tales como música, conversación, imagen, imagen dinámica y otros. Los componentes de servicio se organizan en forma de múltiplos enteros de 8 kbit/s por componente con un máximo de 8 componentes de servicio por BC. La asignación de los componentes de servicio puede ser dinámica. Por ejemplo, el componente de un servicio musical que utilice 64 kbit/s puede convertirse dinámicamente en cuatro componentes de servicio vocal de 16 kbit/s en cuatro idiomas para constituir un programa que combine un único servicio de alta calidad musical con un servicio vocal en cuatro idiomas.

FIGURA 22

Trama de canal de radiodifusión

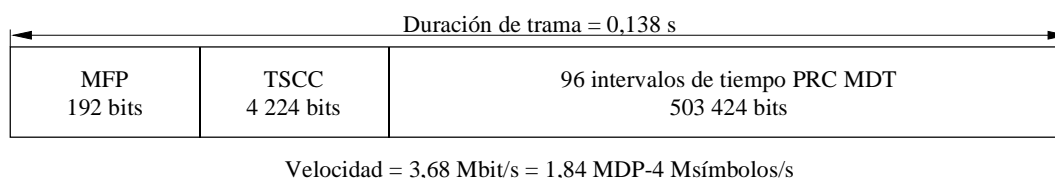


1130-22

Una vez ensamblado, el BC se codifica por FEC concatenando un codificador de bloque RS (255,223), seguido por un intercalador de bloques, seguido por un codificador de convolución a velocidad 1/2. Esta codificación multiplica la velocidad binaria por un factor de $2 \times 255/223$. Así, la velocidad de BC codificada es $n \times 37,77$ kbit/s. Las tramas BC con codificación FEC se demultiplexan síncronamente a continuación en n PRC paralelos, que contiene cada uno 16 320 bits cada periodo de trama BC (0,432 s). La adición de un encabezamiento de sincronización eleva el PRC codificado a precisamente 38 kbit/s (16 416 bits/trama). Los PRC codificados se codifican a continuación diferencialmente y se modulan en MDP-4 para convertirlos en n portadoras SCPC-AMDF y transmitirlos al satélite.

A bordo del satélite se reciben en 48 grupos de portadoras PRC, demultiplexadas y demoduladas a sus distintas velocidades primarias de codificación de banda base. Un ensamblador de trama MDT localiza cada PRC en una de 96 ubicaciones de intervalo de tiempo PRC en una trama MDT de 0,138 s de duración. Cada intervalo de tiempo PRC contiene 5 244 bits y la trama contiene $96 \times 5\,244 = 503\,424$ bits. La trama MDT se muestra en la Fig. 23. Cada trama MDT comienza por un MFP de 192 bits seguido por un TSCC de 4 224 bits.

FIGURA 23
Trama MDT de enlace descendente



1130-23

El MFP y el TSCC son utilizados por el receptor de radio para sincronizarse a la trama MDT y localizar los PRC que comprenden los diversos BC transportados en la trama y proporcionan la información que necesita un receptor para demultiplexar los PRC pertenecientes a un BC seleccionado y reconstruir el BC. El tren de tráfico MDT se divide en 96 intervalos de tiempo MDT que transportan cada uno un PRC 16 kbit/s a una velocidad de banda base de 1,536 Mbit/s. Debido a la adición de SCH, los preámbulos de sincronización y la redundancia para la FEC, la velocidad binaria efectiva en cada corriente MDT de enlace descendente que se necesita para transportar los 96 PRC es 3,68 Mbit/s. La modulación MDP-4 en las portadoras de banda 1 452-1 492 MHz a una velocidad de símbolos de 1,84 Msímbolos/s (2 bit/símbolo) se utiliza para transportar el tren MDT a los receptores.

El Sistema digital D puede también implementarse utilizando una carga útil transparente (a veces denominada «transpondedor de tubo acodado» (*bent-pipe transponder*) o un «transpondedor de cambio de frecuencia simple»). Dicha carga útil convertiría portadoras MDT de enlace ascendente (que suelen funcionar en la banda 7 025-7 075 MHz) a posiciones de frecuencia en el espectro 1 452-1 492 MHz de enlace descendente. La carga útil no contendría ninguna capacidad de procesamiento o de encaminamiento de PRC a bordo. Cada portadora MDT de enlace ascendente se multiplexa para que transporte 96 PRC a 16 kbit/s transmitidos desde terminales de distribución (*hub terminals*) situados en el área de servicio de enlace ascendente del satélite. El formato de forma de onda MDT utilizado en el enlace ascendente y en el enlace descendente de una carga útil transparente es idéntico al antes descrito para un enlace descendente de carga útil de procesamiento. Sin embargo, en lugar de ensamblarlo a bordo del satélite, se ensambla en una estación terrena de forma de onda MDT de enlace ascendente.

3 Algoritmo de codificación de audio de Capa III MPEG

3.1 Generalidades

La Capa III ISO/MPEG se utiliza en el sistema digital de radiodifusión sonora por satélite. Las tres versiones de la Capa III ampliamente utilizadas son los esquemas normalizados Capa III MPEG-1 y MPEG-2 (velocidad de muestreo mitad) Capa III y la extensión MPEG-2.5 (cuarto de velocidad de muestreo). Utilizando estas diversas opciones de codificación de fuente, el sistema puede funcionar a velocidades binarias de audio digitalmente codificadas que varían de 16 kbit/s a 128 kbit/s en pasos de 16 kbit/s para proporcionar diversos equivalentes de calidad audio tales como CD estéreo, MF estéreo, MF monoaural, MA estéreo y MA monoaural.

Los principios generales de los esquemas de codificación ISO/MPEG, así como el algoritmo de Capa III en particular, son objeto de muchas publicaciones (por ejemplo [Brandenburg y otros, 1992; Eberlein y otros, 1993]). La señal horaria MIC se mapea en el dominio de la frecuencia utilizando un banco de filtros con implementación de transformada rápida de Fourier (FFT) (en el caso de Capa III un banco de filtros con implementación híbrida de FFT/transformada discreta de Fourier (DFT)). Un modelo psicoacústico calcula los umbrales de percepción de la señal de audio en el dominio de la frecuencia. Un núcleo de cuantificación y codificación aplica umbrales dominio de frecuencia a los datos de espectro de frecuencia mapeado. Finalmente, los datos codificados se multiplican con la información de encabezamiento de trama y secundaria para construir el tren de bits. El decodificador efectúa las operaciones inversas para recuperar la señal de audio analógica.

Cuatro características básicas son los factores clave de la alta eficacia de codificación de la Capa III en comparación con otros esquemas de codificación:

- *La alta resolución de frecuencia* optimiza la conformación del espectro de ruido según las exigencias del modelo psicoacústico.
- *La codificación de entropía* (o sea, *Huffman*) elimina la redundancia en una señal. La Capa III utiliza 32 tablas Huffman que pueden asignarse flexiblemente para codificar la señal.
- *El depósito de bits* es una memoria intermedia de plazo corto que permite un «ahorro de velocidad binaria» que da lugar a una calidad de codificación constante.
- *Los métodos de codificación estéreo conjunta avanzados* consiguen altas velocidades de compresión con señales estéreo. La Capa III es la única capa que sustenta dos métodos de codificación estéreo: codificación estéreo Mid/Side (MS) y codificación en estéreo de intensidad.

3.2 Capa III MPEG-1

La Norma ISO/CEI 11172 [ISO/CEI, 1993], más conocida por norma MPEG-1 se ultimó en 1991. La parte audio de la norma, ISO/CEI 11172-3, define tres algoritmos, de Capas I, II y III para la codificación de señales de audio MIC con velocidades de muestreo de 48, 44,1 y 32 kHz. La Capa III es el esquema más potente entre estas tres capas y puede operar a velocidades binarias de 32 a 320 kbit/s por señal mono o estéreo. La Capa III era el único codificador de audio que proporcionaba calidad de radiodifusión conforme con la Recomendación UIT-R BS.1115 a 192 kbit/s.

3.3 Capa III MPEG-2 (extensión a velocidad de muestreo mitad)

Los algoritmos de codificación MPEG-1 han sido principalmente diseñados para compresión audio de alta calidad (calidad de tipo CD) de señales monofónicas o estereofónicas. Cuando se estableció la norma MPEG-1, resultó evidente que era necesario una ampliación de la norma que permita velocidades de muestreo más bajas. Por razones técnicas la eficacia de codificación óptima para velocidades binarias muy bajas (menores o iguales que 32 kbits/canal) sólo puede obtenerse utilizando velocidades de muestreo inferiores. Por consiguiente, la extensión a baja velocidad de muestreo (LSR, *low sampling rate*) de la norma MPEG-2 (ISO/CEI 13818-3 [ISO/CEI, 1998]) define el uso de las velocidades de muestreo 24, 22,05 y 16 kHz para velocidades binarias que pueden bajar hasta 8 kbit/s.

3.4 Capa III MPEG-2.5 (extensión hacia velocidades de muestreo muy bajas)

Aunque el muestreo a velocidad mitad de Capa III MPEG-2 permite velocidades binarias que bajan hasta 8 kbit/s, se comprobó que la codificación a velocidades binarias comprendidas entre 8 y 16 kbits/canal pueden seguir mejorando si se utilizan velocidades de muestreo aún más bajas. Como resultado se definió la extensión de MPEG-2 denominada MPEG-2.5, que opera a cuarto de velocidad de muestreo. Esta extensión es casi idéntica a Capa III MPEG-2, pero permite velocidades de muestreo de 12, 11,025 y 8 kHz para la mejor calidad de audio posible a velocidades binarias muy bajas. Las observaciones de audición por expertos han revelado que la calidad percibida a bajas velocidades binarias es considerablemente realizada por el uso de una velocidad de muestreo reducida.

3.5 Calidad audio de Capa III – Situación y futuras mejoras

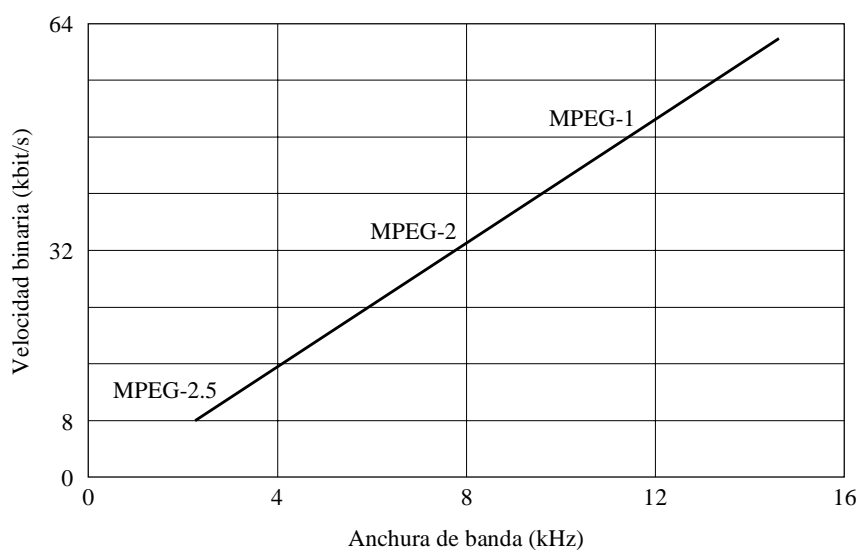
Para la reproducción de alta calidad, el ancho de banda de audio es el parámetro más importante. En el proceso de codificación la anchura de banda se elige de manera que los subproductos de codificación se mantengan lo más inaudibles posible. El estéreo de Capa III a 128 kbit/s proporciona calidad de tipo CD, el estéreo a 64 kbit/s ofrece muy buena calidad a un ancho de banda de alrededor de 11 kHz, el mono a 16 kbit/s proporciona una calidad «mejor que la onda corta». La Fig. 24 presenta un ejemplo de anchura de banda de audio en función de la velocidad binaria para la Capa III. Es importante señalar que las normas MPEG describen sólo el formato de tren de bits y el proceso de

decodificación más que el proceso de codificación. De este modo, todas las mejoras conseguidas en el codificador producirán una calidad audio reproducida mejor (por ejemplo, anchura de banda superior) en el decodificador. Los temas principales del trabajo de optimización en curso en la Capa III son:

- optimización de técnicas estéreo conjuntas,
- mejora del mecanismo de conmutación de bloques,
- sintonización de los parámetros psicoacústicos en diversas condiciones.

FIGURA 24

Ejemplo de variación de la anchura de banda de audio en función de la velocidad binaria para Capa III MPEG para el Sistema digital D



1130-24

Los resultados de este trabajo se espera que sigan mejorando la alta eficacia de codificación del algoritmo de codificación de audio de Capa III.

4 Funcionamiento del receptor de radio e interfaces

4.1 Funcionamiento del receptor

La Fig. 25 presenta el diagrama de bloques del receptor para el Sistema digital D.

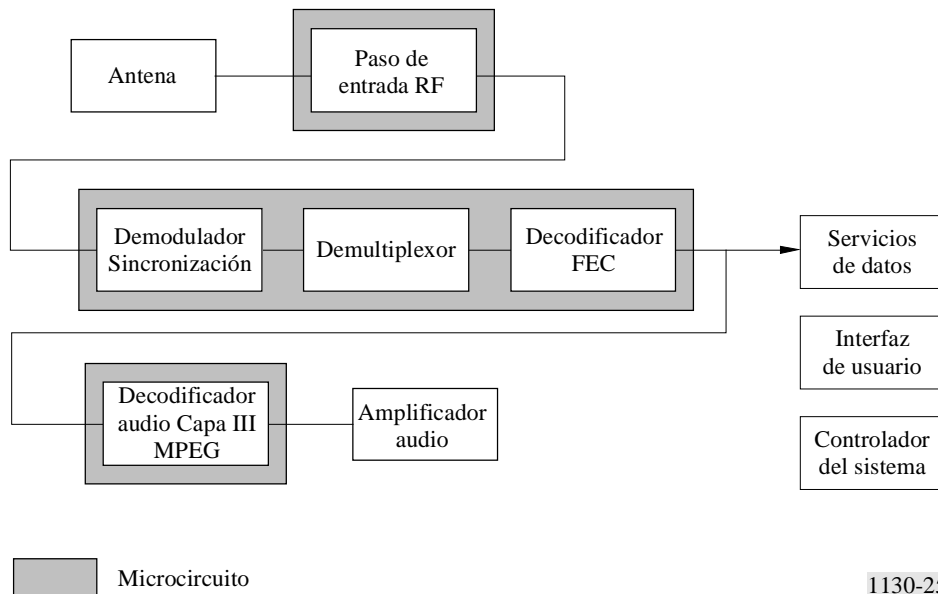
4.1.1 Opciones de antena

La antena debe ser apta para recibir las diferentes portadoras MDT en la gama 1 452-1 492 MHz transmitida en ambos tipos de polarización circular. Para conseguir el mínimo especificado G/T de $-16,5 \text{ dB(K}^{-1}\text{)}$ con una T_{sys} supuesta de 160 K, se requiere una ganancia de antena mínima de 6 dBi.

Ambas polarizaciones son accesibles con una antena (al menos para la aplicación portátil) por medio de un conmutador de polarización de semiconductores. La antena normalizada es del tipo de placa única, que alimenta dos amplificadores de bajo nivel de ruido (ABR) desde derivaciones que entregan polarización circular dextrógira y levógira, respectivamente. La antena tiene un tamaño de placa de media longitud de onda de $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$ con una ganancia de unos 6 dBi. A este tamaño de antena le corresponde una abertura de haz de aproximadamente 100° , por lo que casi no necesita puntería, lo cual es una ventaja adicional para el funcionamiento portátil.

FIGURA 25

Diagrama de bloques del receptor para el Sistema digital D



1130-25

En condiciones de recepción de baja calidad pueden utilizarse antenas de ganancia superior de unos 12 dBi. La menor anchura de haz exigirá alguna puntería de la antena hacia el satélite. Esta es soportada por el receptor con su indicador de «calidad de señal». Una ventaja importante de la superior directividad de antena es una relación señal/interferencia mejorada.

Por las razones citadas, la antena es desmontable, por lo que la señal de salida de la antena activa se aplica a la radio mediante cable y un conector. Esta configuración es especialmente ventajosa en entornos de interiores, con elevada pérdida de penetración de la señal. La antena desmontada puede montarse en exteriores, o cerca de una ventana que permita recepción por visibilidad directa y entregue la señal al receptor a través de un cable coaxial insertado. Sin embargo, como la pérdida de inserción del cable podría degradar indebidamente la respuesta G/T se requiere una ganancia adicional del ABR para obtener margen suficiente.

Otras opciones de antena de elevada ganancia aplicables son las hélices en modo radiación transversal o direccional múltiple. La inclinación de acimut puede ajustarse para que coincida con el acimut de recepción por satélite local. Otro método atractivo para uso en una ubicación fija es colocar la «placa normalizada (*standard patch*)» como alimentador en un reflector de disco parabólico. En esta aplicación puede utilizarse una señal de control del receptor para la selección de polarización.

4.1.2 Filtrado del paso de entrada

El paso de entrada del receptor es del tipo superheterodino de doble conversión. Para conseguir el rechazo imagen deseado y atenuar eficazmente la interferencia fuera de banda, se utiliza un filtro de 3 polos compuestos por resonadores coaxiales dieléctricos de elevado Q . Tras la primera conversión a una FI de 115,244 MHz, la selectividad dentro de banda se realiza con un filtro de onda acústica de superficie (SAW, *surface acoustic wave*). La banda de paso corresponde a la anchura de banda MDT ligeramente aumentada para permitir tolerancias de temperatura del primer oscilador local y del propio filtro. La conformación de la caída de espectro se realiza totalmente en el dominio digital, lo que da lugar a una alta precisión que contribuye favorablemente al margen del enlace.

4.1.3 Limitaciones debidas a la linealidad del receptor (IP3)

La inmunidad del receptor contra la interferencia es función de la selectividad del filtro del paso de entrada así como de la linealidad del receptor y del elevado rendimiento de la señal. Como el receptor ha de ser un receptor portátil alimentado por batería, y está destinado a mercados sensibles al costo, el consumo de energía es de interés primordial. Por consiguiente, es difícil obtener altos valores de linealidad. Para los receptores iniciales, el valor mínimo, con referencia al conector de antena del receptor, es $IP3 = -40$ dBm.

La entrada IP3 de referencia del ABR implementado en la antena activa es -20 dBm, lo cual deja margen suficiente para mejorar la inmunidad a la interferencia dentro de banda de alto nivel insertando filtros entre la salida de antena en la entrada del receptor.

4.1.4 Sintonización a una portadora MDT

La gama de recepción de frecuencias de la banda 1452-1492 MHz de 40 MHz de anchura de banda puede acomodar 82 canales MDT por polarización (en un barrido de exploración de 460 kHz). A estas posiciones de portadora MDT potenciales se accederá directamente. La anchura de banda de una portadora MDT es de unos 2,5 MHz, y la resolución final de este barrido de exploración permite suficiente flexibilidad para la planificación de frecuencias y las contramedidas de interferencia.

4.1.5 Demodulación

La señal de salida del paso de entrada del sintonizador analógico (la banda de base a 1,84 Msímbolos/s) es directamente muestreada y convertida al dominio digital. La demodulación coherente del tren de bits MDP-4 para obtener las componentes I/Q se efectúa mediante un mezclador complejo. Después de filtrado Nyquist en raíz cuadrada de coseno alzado de las señales complejas, la recuperación del reloj de símbolos se obtiene mediante remuestreo digital. Bucles de control inteligentes consiguen recuperación fiable de la señal a niveles de C/N muy bajos. Presenta un comportamiento de seguimiento seguro hasta una C/N próximo a 0 dB, y a BER próximas al límite teórico.

4.1.6 Sincronización de trama MDT

El bloque de sincronización de trama maestra recibe el tren de símbolos demodulado del demodulador MDP-4 y realiza la alineación, detectando el preámbulo de trama maestra por correlación. Se utiliza también el patrón conocido de la palabra de sincronización para corregir la ambigüedad de fase inherente en la demodulación MDP-4.

4.1.7 Demultiplexación de un BC

La trama MDT comprende tres campos:

- de MFP necesario para la sincronización
- el TSCC, que contiene información sobre las posiciones y la organización de los datos de canal a velocidad primaria y
- de campo de datos PRC MDT.

El campo de datos PRC contiene 96 canales a velocidad primaria con velocidad de datos neta 16 kbits, donde 1 a 8 de estos PRC pueden agruparse para componer un canal de radiodifusión. Estos canales corresponden a las capacidades de datos elegidas individualmente por los proveedores para cumplir los diferentes requisitos de calidad audio y contenido de datos auxiliar.

La función del demultiplexor MDT es extraer el BC seleccionado del tren de bits. Los símbolos de los diferentes PRC pertenecientes al canal de radiodifusión seleccionado pasan a través de la unidad de recuperación del tren de datos. La desalineación temporal entre el PRC del BC seleccionado se elimina aplicando una técnica de «bit de relleno».

4.1.8 Decodificación FEC de un BC: Viterbi + desintercalado + RS

Para obtener bajas BER de 1×10^{-4} , las bajas relaciones C/N se aplica un potente método de corrección de errores. Consta de una cascada de decodificación convolucional de Viterbi como código interior, desintercalado, y decodificación de bloques RS como código exterior. Estos mecanismos de protección se aplican al nivel de BC (y no al nivel de PRC) para permitir al receptor aplicarlos una vez solamente y en el nivel de la velocidad de datos del BC único seleccionado. La salida de este módulo es el BC. La configuración de este canal se construye a partir de diferentes componentes de servicio pertenecientes al mismo servicio. La estructura del servicio y la composición de componentes de servicio del BC se transmite en el SCH.

4.2 Funciones SCH: tipos de servicio, servicios por abono

Para permitir la selección automática óptima de un servicio, el SCH proporciona al receptor información tal como tipo y número de componentes de servicio, idioma, tipo de programa y la etiqueta que identifica el proveedor del servicio. Además del servicio de audio, pueden también transmitirse secuencias de imágenes fijas o servicios de datos. Éstos utilizarán diferentes formatos de componentes de servicio identificadas por el receptor a partir de la información SCH.

La encriptación es una opción adicional. El sistema de encriptación seleccionado utiliza tres partes clave: clave de soporte físico (para identificar el receptor), clave de usuario (para identificar la autorización), y clave en el aire (over-air) (para identificar los diferentes proveedores de servicio).

El Cuadro 6 contiene un sumario de las funciones de SCH.

CUADRO 6
Sumario funcional de SCH para el Sistema digital D

Grupo de campo	Nombre de campo	Finalidad
Preámbulo de servicio	Preámbulo de servicio	Utilizado para sincronizar cada componente de servicio
	Índice de velocidad binaria	Indica la velocidad binaria global del servicio
	Control de encriptación	Proporciona información sobre el tipo de encriptación que se utiliza, si existe
	Indicador de contenido de campo auxiliar 1 (ACI1, <i>auxiliary field content indicator 1</i>)	Éste es un campo multiuso que controla funcionalidades específicas asociadas con el servicio. Este indicador proporciona información sobre la finalidad del valor contenido en ADF1
	Indicador de contenido de campo auxiliar 2 (ACI2)	Igual que en ACI1, pero controla ADF2
Datos de control de servicio	Número de componentes de servicio (N_{sc})	Este campo contiene una indicación del número de componentes de servicio contenidos en el BC y puede variar de 1 a 8
	Campo de datos auxiliares 1 (ADF1, <i>auxiliary data field 2</i>)	Campo de datos, con contenido definido por ACI1
	Bandera de comienzo multitrama ADF2 (SF, <i>start field</i>)	Indica la presencia y el comienzo de unos datos multitrama almacenados cuando los datos se transportan en tramas sucesivas dentro de ADF2
	Campo de desplazamiento y longitud de segmento ADF2 (SOLF, <i>segment offer and length field</i>)	Contiene el número total de segmentos en la multitrama menos uno
	Campo de datos auxiliares 2 (ADF2)	Campo de datos que contiene el tipo de datos indicado por ACI2
Datos de control de componente de servicio	Campo de control de componente de servicio (SCCF, <i>service component control field</i>)	Contiene la información necesaria para demultiplexar y decodificar cada componente de servicio en el BC. Incluye la velocidad binaria, tipo (audio MPEG, etc.) y el tipo de programa (musical, hablado, etc.), e idioma del SC
Servicio auxiliar	Etiquetas dinámicas	Éste es un tren de bytes serie cuya anchura de campo varía según el tamaño del BC. Puede utilizarse para enviar elementos tales como el nombre del radiodifusor o material publicitario asociado para visualización en el receptor

4.3 Decodificación de un servicio de audio

El decodificador MPEG recibe el componente de servicio de audio seleccionado y de multiplexado del BC. Inicialmente se extrae el encabezamiento MPEG y la información accesoria. El encabezamiento contiene información sobre el modo de codificación requerido, como es la velocidad de muestreo, la velocidad binaria y el estéreo; mientras que la información accesoria contiene los factores de escala para los intervalos de espectro, el tipo de bloque de transformación discreta en coseno (DCT) y la selección de tablas Huffman. Tras una verificación por redundancia cíclica (CRC), se efectúan la codificación Huffman y el procesamiento de DCT. Por último, las señales de salida digitales se convierten en forma analógica y se aplican a las salidas de línea audio y al amplificador del hablante.

4.4 Selectividad RF/FI

La selectividad total de un receptor típico del Sistema digital D es ilustrada por la curva de relación de protección indicada en la Fig. 26. La curva muestra el nivel de una fuente de interferencia con modulación MDP-4, P_{int} , representada en el eje vertical (dBm) en función de la frecuencia de la fuente interferente y representada en el eje horizontal, necesaria para hacer que la BER a la salida del modulador MDP-4 del receptor sea 1×10^{-2} . La señal deseada es una señal modulada MDP-4 de nivel -90 dBm. Ambas señales fueron moduladas por la forma de onda MDT de 1,84 Msímbolos/s. La forma de la curva de selectividad es determinada por cinco partes principales:

- selectividad de antena (frecuencia y directividad),
- selectividad de RF,
- selectividad de SAW de 1ª FI,
- banda de paso de 2ª FI, y
- la conformación del espectro digital.

4.5 Objetivos y márgenes de la BER de recepción

Debido a los potentes esquemas de corrección de errores aplicados, la BER deseada de 1×10^{-4} puede cumplirse con niveles C/N tan bajos como 4,5 dB. Como este nivel de portadora es próximo al umbral mínimo de ruido, la interferencia en el canal debe minimizarse por disposición apropiada de las partes determinantes de la selectividad.

4.6 Protección del receptor contra la interferencia/estrategias de aumento

En casos de interferencia moderada, pueden insertarse filtros selectivos de paso banda y de banda eliminada entre la antena y el módulo del receptor. El efecto puede aumentarse utilizando una antena de elevada ganancia que pueda además atenuar la interferencia mediante una mejora de su directividad. Si la interferencia es muy fuerte, pueden aplicarse igualmente antenas de elevada ganancia con un ABR que cumpla requisitos especiales de linealidad y selectividad.

5 Balances de enlace

Para densidades de flujo de potencia (dfp) típicas de $-141,4$ y $-145,4$ dB(W/(m² · 4 kHz)), los márgenes de enlace descendente son 9 y 5 dB, respectivamente, para un receptor de radio con una G/T de -13 dB(K⁻¹). Estas dfp corresponden también a los contornos de ganancia aproximados -4 y -8 dB relativos a la ganancia de antena en cada haz.

5.1 Transpondedor con procesamiento

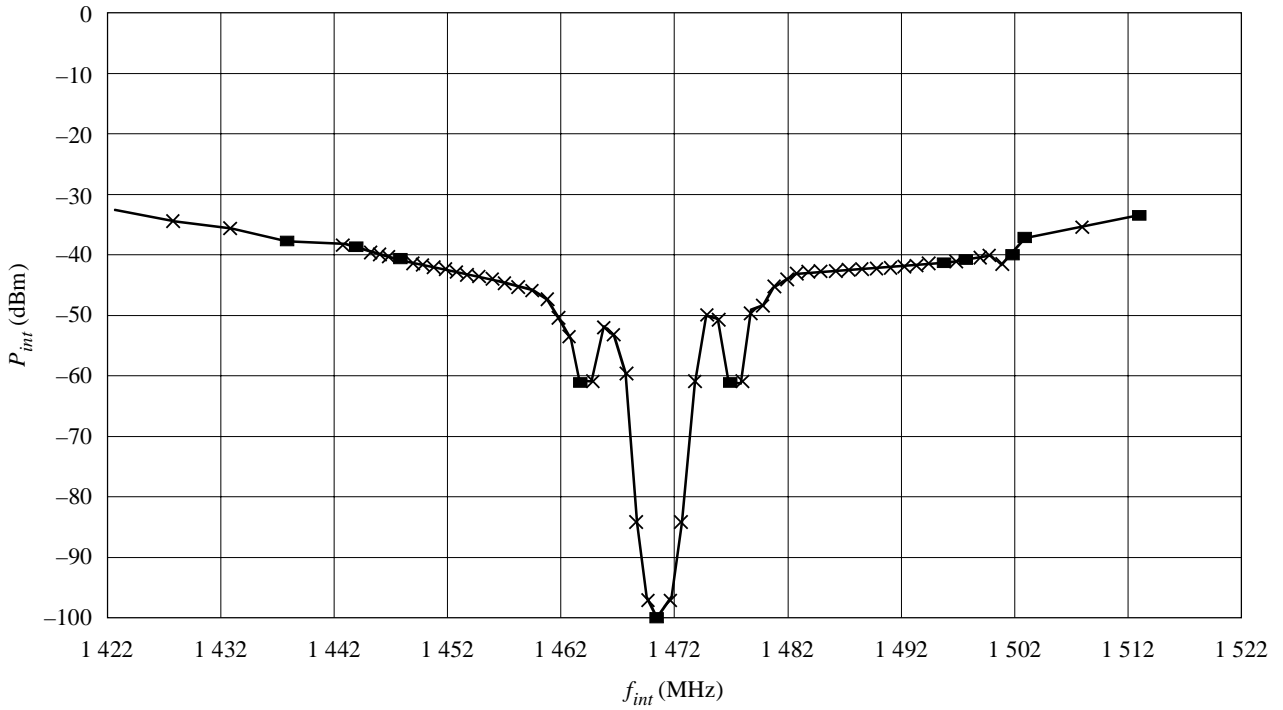
El Cuadro 7a) muestra un balance de enlace típico para el enlace descendente de un transpondedor con procesamiento. El balance de enlace corresponde a una estación terrena receptora con una G/T de $-13,0$ dB(K⁻¹) a un ángulo de elevación de 30°.

La ganancia de la antena de satélite es 25,6 dB (-4 dB con relación al valor de cresta) y la potencia de salida del repetidor es 300 W (2 ATOP de 150 W operando en paralelo). Las pérdidas de salida causadas por la puesta en paralelo de los TOP, las pérdidas del aislador de alta potencia, del filtro y de la guíaonda ascienden a 1,3 dB. La forma de onda MDT da lugar a una pérdida de modulación de 0,3 dB. Así, la p.i.r.e. de enlace descendente neta es 48,8 dBW (EOC).

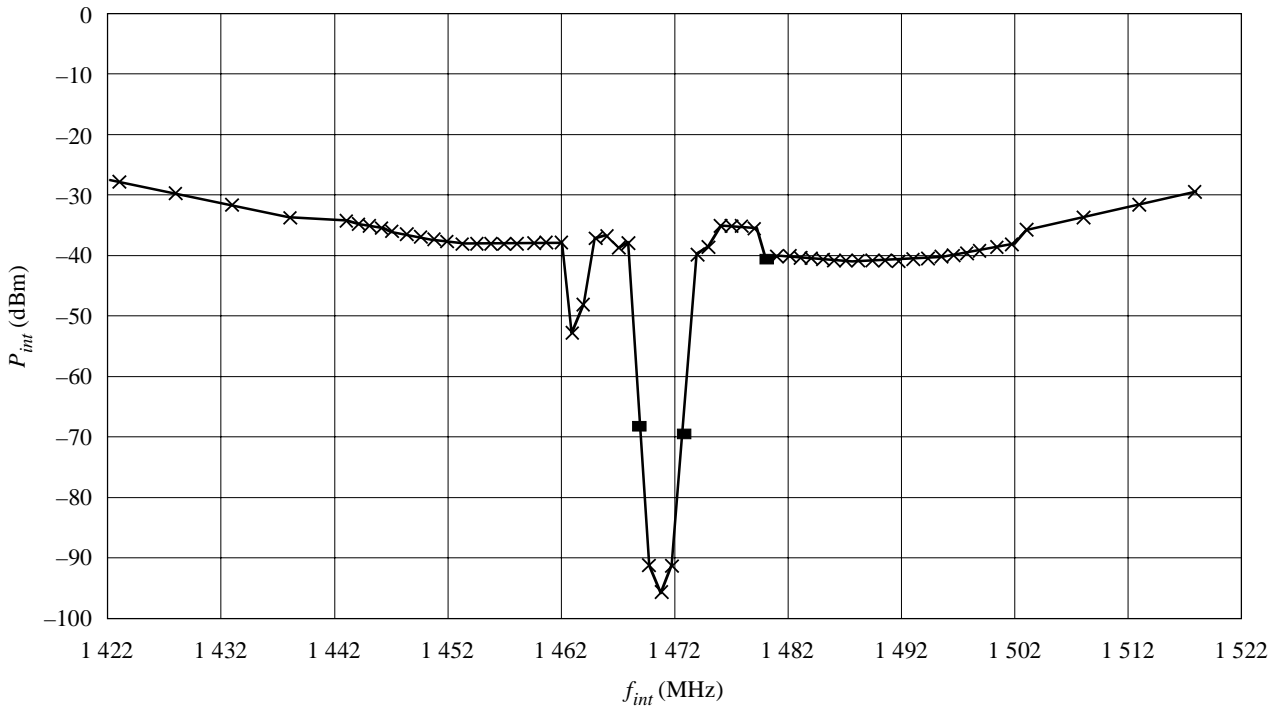
Utilizando un decodificador de Viterbi de velocidad 1/2 y un decodificador de bloques RS, el valor teórico de E_b/N_0 requerido para una BER post FEC de 1×10^{-4} es 2,7 dB. Las pérdidas de implementación debidas a la carga útil y al soporte físico (HW) del receptor de radio prototipo se especifica que han de ser 2,3 dB. Así, se requiere una C/N_0 de 67,0 dB(Hz) a la entrada del receptor para sustentar una velocidad de datos de 1 584 kbit/s.

Con una G/T del receptor de $-13,0$ dB(K⁻¹), una p.i.r.e. de satélite de 48,8 dBW y pérdidas atmosféricas de 0,1 dB, la C/N_0 recibida es 76,7 dB(Hz), que da lugar a un margen de 9,7 dB. Los receptores con otros valores de G/T o que operan fuera del contorno de antena de enlace descendente de -4 dB no tendrían márgenes de enlace diferentes.

FIGURA 26
Relación de protección de receptor típico para el Sistema digital D



a) Señal interferente: MDP-4; potencia de la señal: -90 dBm (entrada frontal)



b) Señal interferente: sinusoidal; potencia de la señal: -90 dBm (entrada frontal)

- Pérdida de sincronización
- ×— BER = 1×10^{-2} (decisión firme)

5.2 Transpondedor transparente

El Cuadro 7b) muestra un balance de enlace típico para el enlace descendente de un transpondedor transparente con los mismos parámetros de receptor de radio que la misión procesada. El balance de enlace se aplica para un MDT con un enlace descendente nominal $C/(N_0 + I_0)$ de 82,4 dB(Hz) o C/N de 17,4 dB y la reducción de la potencia de salida (OBO, *output backoff*) debida al ruido de enlace ascendente de 0,1 dB. Con este valor de OBO, una p.i.r.e. de satélite de 48,7 dBW arroja una $C/(N_0 + I_0)$ de 76,6 dB(Hz) a la entrada del receptor prototipo en ausencia de cualquier bloqueo o desvanecimiento en el enlace descendente (sin incluir el ruido retransmitido procedente del enlace ascendente, salvo cuando causa una reducción de potencia de satélite adicional). Como una $C/(N_0 + I_0)$ de enlace ascendente de 82,4 dB(Hz) y la $C/(N_0 + I_0)$ requerida a la entrada del receptor de 67,2 dB(Hz), se obtiene una $C/(N_0 + I_0)$ total requerida en el enlace ascendente de 67,3 dB(Hz), y un margen de enlace descendente de 9,3 dB. Análogamente, para la variación del caso más desfavorable de la señal de enlace ascendente, el margen de enlace descendente puede demostrarse que es 8,6 dB.

CUADRO 7

a) Balance de enlace descendente de un transpondedor con procesamiento para el Sistema digital D

b) Balance de enlace descendente de un transpondedor transparente para el Sistema digital D

Enlace descendente	
--------------------	--

Enlace descendente	
--------------------	--

Frecuencia (GHz)	1,48
------------------	------

Frecuencia (GHz)	1,48
------------------	------

Satélite	
Potencia de salida del repetidor (W)	300,0
Pérdidas de salida (dB)	1,3
OBO (dB)	0,3
Ganancia de antena (dB)	25,6
p.i.r.e. (dBW)	48,8

Satélite	
Potencia de salida del repetidor (W)	300,0
Pérdidas de salida (dB)	1,3
Compresión de OBO (dB)	0,3
Ganancia de antena a EOC (dB)	25,6
p.i.r.e. de referencia (dBW)	48,8

Propagación	
Elevación (grados)	30,0
Distancia (km)	38 612,6
Pérdidas en espacio libre (dB)	187,6
Pérdidas de puntería (dB)	0,0
Pérdidas atmosféricas (dB)	0,1

Propagación	
Elevación (grados)	30,0
Distancia (km)	38 612,6
Pérdidas en espacio libre (dB)	187,6
Pérdidas de puntería (dB)	00,0
Pérdidas atmosféricas (dB)	0,1

Receptor de radio	
dfp (dB(W/m ²))	-114,1
G/T (dB(K ⁻¹))	-13,0
C/N ₀ recibida (dB(Hz))	76,7
E _p /N ₀ requerida (dB) a 1 × 10 ⁻⁴	2,7
Pérdidas de soporte físico (dB)	1,8
Interferencia entre símbolos (dB)	0,5
Velocidad binaria (kHz)	15 84,0
C/N ₀ requerida (dB(Hz))	67,0

Receptor de radio	
G/T (dB(K ⁻¹))	-13,0
E _p /N ₀ requerida (dB) a 1 × 10 ⁻⁴	2,7
Pérdidas de soporte físico (dB)	1,8
Interferencia entre símbolos (dB)	0,5
Pérdidas HW de satélite (dB)	0,2
Velocidad binaria (kHz)	15 84,0
C/N ₀ requerida (dB(Hz))	67,2

Margen (dB)	9,7
-------------	-----

Margen (dB)	9,3
-------------	-----

CUADRO 7 (Fin)

Condiciones nominales en el enlace ascendente:		Condiciones de caso más desfavorable en el enlace ascendente:	
Satélite			
OBO debida a $C/(N + I)$ de enlace ascendente (dB)	0,1	OBO debida a $C/(N + I)$ de enlace ascendente (dB)	0,3
p.i.r.e. (dBW)	48,7	p.i.r.e. (dBW)	48,5
Receptor de radio			
dfp (dB(W/m ²))	-114,1	dfp (dB(W/m ²))	-114,4
G/T (dB(K ⁻¹))	-13,0	G/T (dB(K ⁻¹))	-13,0
C/N_0 recibida (dB(Hz))	76,6	C/N_0 recibida (dB(Hz))	76,4
$C/(N_0 + I_0)$ de enlace ascendente (dB)	82,4	$C/(N_0 + I_0)$ de enlace ascendente (dB)	76,4
$C/(N_0 + I_0)$ requerida (dB)	67,2	$C/(N_0 + I_0)$ requerida (dB)	67,2
$C/(N_0 + I_0)$ de enlace descendente requerida (dB)	67,3	$C/(N_0 + I_0)$ de enlace descendente requerida (dB)	67,8
Margen (dB)	9,3	Margen (dB)	8,6

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDENBURG, K., STOLL, G., DEHERY, Y. F., JOHNSTON, J. D., KERKHOFF, L. V. D. y SCHRÖDER, E. F. [1992] The ISO/MPEG-audio codec: A generic standard for coding of high quality digital audio. 92nd Audio Engineering Society (AES) Convention, Viena, Austria. Preprint 3336.

EBERLEIN, E., POPP, H., GRILL, B. y HERRE, J. [1993] Layer III – A flexible coding standard. 94th AES Convention, Berlín, Alemania. Preprint 3493.

ISO/CEI [1993] International Standard ISO 11172-3 – Information technology – Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media up to 1.5 Mbit/s – Part 3: Audio.

ISO/CEI [1998] International Standard ISO 13818-3 – Information technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information – Part 3: Audio.

BIBLIOGRAFÍA

ISO/CEI [1994] ISO/CEI JTC1/SC29/WG11 MPEG94/0848. Report on the subjective testing of coders at low sampling frequencies. Singapur.