

## RECOMENDACIÓN UIT-R BS.1547

**Componente terrenal de los sistemas de radiodifusión sonora digital híbrida por satélite/terrenal para receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 1 400-2 700 MHz**

(Cuestión UIT-R 107/10)

(2001)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que cada vez hay más interés en todo el mundo por la radiodifusión sonora digital terrenal y por satélite dirigida a receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz para dar cobertura local, regional y nacional;
- b) que el UIT-R ya ha adoptado las Recomendaciones UIT-R BS.774 y UIT-R BO.789 donde se indican los requisitos necesarios para los sistemas de radiodifusión sonora digital dirigida a receptores instalados en vehículos, portátiles y fijos en aplicaciones terrenales y por satélite, respectivamente;
- c) que explotando el servicio de radiodifusión por satélite (SRS) (sonora) en una configuración híbrida pueden satisfacerse más adecuadamente los objetivos de servicio indicados en el apartado b);
- d) que en las Recomendaciones UIT-R BS.774 y UIT-R BO.789 se reconocen las ventajas de utilizar de forma complementaria los sistemas terrenales y por satélite y solicitan el establecimiento de un sistema de radiodifusión sonora digital que permita utilizar un receptor común con circuitos de procesamiento de integración a escala muy grande (VLSI) de procesamiento comunes y la fabricación de receptores de bajo coste mediante su producción masiva;
- e) que el Sistema digital D<sub>H</sub> descrito en el Anexo 2 satisface la mayoría o todos los requisitos de las Recomendaciones UIT-R BS.774 y UIT-R BO.789 y ha sido sometido a pruebas de funcionamiento real en más de un país;
- f) que el Sistema digital E descrito en el Anexo 3 satisface la mayoría o todos los requisitos de las Recomendaciones UIT-R BS.774 y UIT-R BO.789 y ha sido sometido a pruebas de funcionamiento real;
- g) que algunos sistemas incluidos en la Recomendación UIT-R BO.1130 tienen una componente terrenal que permite aumentar la parte del SRS (sonora) y por lo tanto crear un sistema híbrido por satélite/terrenal;
- h) que en la séptima Conferencia Mundial de Uniones de Radiodifusión (México, 27-30 de abril de 1992), la Unión Mundial de Radiodifusiones resolvió por unanimidad:
  - «1. que se hagan todos los esfuerzos necesarios para llegar a un acuerdo sobre una norma única mundial para la radiodifusión sonora digital; y
  2. instar a las administraciones a que consideren las ventajas que representa para el usuario contar con una codificación de fuente y canal común y la implantación de la radiodifusión sonora digital a escala mundial en 1,5 GHz»;

j) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) atribuyó la banda 1 452-1 492 MHz al servicio de radiodifusión por satélite (sonora) y al servicio de radiodifusión terrenal complementario para la prestación de radiodifusión sonora digital. Además, mediante notas se incluyeron atribuciones adicionales para países específicos en las bandas 2 310-2 360 MHz y 2 535-2 655 MHz (números 5.393 y 5.418 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR)),

*observando*

- a) que en el Anexo 1 aparece un resumen de los sistemas digitales que permiten el funcionamiento híbrido;
- b) que en los Anexos 2 y 3 figuran descripciones condensadas de los Sistemas digitales D<sub>H</sub> y E;
- c) que en el Manual de radiodifusión sonora digital se describen completamente los Sistemas digitales D<sub>H</sub> y E,

*recomienda*

1 que las administraciones que deseen introducir los servicios de radiodifusión sonora digital híbridos por satélite/terrenales que satisfagan la mayoría o todos los requisitos indicados en la Recomendación UIT-R BS.774, consideren cualquiera de los dos Sistemas digitales D<sub>H</sub> o E utilizando el Cuadro 1 para evaluar sus ventajas respectivas (véase la Nota 1). Debe tenerse en cuenta además la Recomendación UIT-R BO.1130 para la parte de satélite a la hora de seleccionar el sistema del SRS (sonora) híbrido global.

NOTA 1 – La tecnología en este campo está avanzado rápidamente. En consecuencia, si se desarrollan sistemas adicionales que satisfagan las condiciones estipuladas en la Recomendación UIT-R BS.774, también puede recomendarse su utilización cuando se señalen a la atención del UIT-R. Las administraciones implicadas en el desarrollo de sistemas de radiodifusión sonora digital deben hacer todos los esfuerzos posibles para lograr la armonización con otros sistemas ya desarrollados o que se estén desarrollando.

CUADRO 1

**Características de los Sistemas digitales D<sub>H</sub> y E evaluados basándose en las características técnicas y de explotación enumeradas en la Recomendación UIT-R BS.774**

<b>Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)</b>	<b>Sistema digital D<sub>H</sub></b>	<b>Sistema digital E</b>
1. Gama de calidad de audio y tipos de recepción	<p>La gama va de 16 kbit/s a 128 kbit/s por canal de audio en incrementos de 16 kbit/s. Cada incremento de 16 kbit/s puede dividirse en dos servicios de 8 kbit/s. Se utilizan codificaciones de audio de Capa III MPEG-2 y MPEG-2.5.</p> <p>El sistema está destinado para recepción por equipos en vehículos, portátiles y fijos</p>	<p>La gama va de 16 kbit/s a 320 kbit/s por canal de audio con cualquier tamaño de incremento. Se utiliza una codificación de audio AAC MPEG-2.</p> <p>El sistema está destinado para recepción por equipos en vehículos, portátiles y fijos</p>

CUADRO 1 (Continuación)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema digital D <sub>H</sub>	Sistema digital E
2. Eficacia espectral superior a la de MF	Calidad estereofónica MF obtenible con una anchura de banda inferior a 200 kHz; los requisitos de protección cocanal y de canal adyacente son muy inferiores a los de la MF. (MDP-4 con codificación de corrección de errores por bloques concatenados y convolucional)	Calidad estereofónica de 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. (MDC basado en MDP-4 con codificación de corrección de errores por bloques concatenados y convolucional)
3. Comportamiento en entornos multitrayecto y de ensombrecimiento	Se trata de un sistema híbrido por satélite/terrenal diseñado para recepción por diversidad de una señal MDT a través de satélite complementada por una señal MMP retransmitida terrenalmente. Esta última señal está especialmente diseñada para el funcionamiento multitrayecto. Funciona basándose en la suma de potencias de los ecos que entran en un determinado intervalo de tiempo	El sistema está especialmente diseñado para el entorno multitrayecto. Funciona basándose en la suma de potencias recibidas en el multitrayecto utilizando un receptor de rastrillo RAKE.  Esta característica permite la utilización de repetidores en el canal para cubrir las zonas de sombra. Además, puede recuperarse más de 1 s de silencio utilizando un intercalador de bits inteligente convolucional segmentado
4. Procesamiento de la señal del receptor común para la radiodifusión por satélite y terrenal	Los receptores están diseñados para la recepción MDT-MMP en entornos urbanos, incluyendo aplicaciones móviles. Una recepción MDT-MMP es radiada desde un transmisor terrenal que retransmite la señal MDT del satélite.  Se utiliza polarización circular para la recepción por satélite, y vertical para la recepción terrenal.  Para la recepción móvil se emplean antenas externas	Este sistema se basa en la recepción simultánea de la señal del satélite y la señal retransmitida por los repetidores en canal complementarios. Permite la utilización del mismo receptor, desde el extremo frontal de radiofrecuencia a la salida de audio y datos.  Con la adopción de sistemas MPEG-2 logra la máxima interoperabilidad entre el mismo tipo de receptores de radiodifusión digital; por ejemplo, RDSI-S, RDSI-T y DVB-T, DVB-S, utilizando el futuro mecanismo de interconexión, por ejemplo el IEEE1394

CUADRO 1 (Continuación)

<b>Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)</b>	<b>Sistema digital D<sub>H</sub></b>	<b>Sistema digital E</b>
5. Reconfiguración y calidad en función del número de programas	Se utiliza un multiplex flexible de bloques modulares de 16 kbit/s. Pueden asignarse hasta 8 bloques a cada canal de radiodifusión para intercambiar la calidad de audio del programa por el número de servicios. La asignación a los servicios puede ajustarse dinámicamente. A 64 kbit/s se logra un audio de calidad MF. Todos los bloques están protegidos contra errores. El servicio de datos transporta datos en trenes y paquetes de datos	La multiplexión de los datos de carga útil se basa en los sistemas MPEG-2. La velocidad de transmisión de datos de audio puede seleccionarse por pasos a fin de intercambiar la calidad de audio del programa por el número de servicios.  Es posible obtener un servicio con una mayor velocidad de transmisión de datos utilizando más de un canal MDC por tren de programa de audio
6. Amplitud de la cobertura en función del número de programas	El sistema está optimizado para la recepción por diversidad desde repetidores por satélite y terrenales. El compromiso entre el grado de cobertura y la capacidad del sistema es fijo	La velocidad de transmisión de datos en un solo canal MDC puede seleccionarse entre 236 kbit/s y 413 kbit/s utilizando codificación convolucional con perforación. (El índice del código puede seleccionarse entre los valores de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 ó 7/8)
7. Receptor común para las distintas formas de distribución de programas: – mixta/híbrida  – Extensión terrenal  – Distribución por cable	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Permite la utilización híbrida de transmisiones por satélite y terrenales complementarias en las bandas atribuidas al SRS (sonora) por la CAMR-92. Un receptor común recibirá las emisiones MDT por satélite y las emisiones MMP terrenales que refuerzan a las emisiones del satélite.</li> <li>– Permite establecer servicios locales, subnacionales y nacionales con MDT-MMP en redes de una sola frecuencia y MDT-MDP-4 en caso de visibilidad directa del satélite mediante un receptor común.</li> <li>– La señal puede cursarse de forma transparente por cable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 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 cual posibilita la recepción de todos estos canales de forma transparente mediante un receptor común.</li> <li>– Permite establecer servicios terrenales locales, subnacionales y nacionales con la misma modulación y transmisores únicos o múltiples que funcionan en una red de una sola frecuencia a fin de aprovechar un receptor común.</li> <li>– La señal puede cursarse de forma transparente por cable</li> </ul>

CUADRO 1 (Fin)

Características indicadas en la Recomendación UIT-R BS.774 (redacción abreviada)	Sistema digital D <sub>H</sub>	Sistema digital E
8. Capacidad de PAD	Pueden suministrarse PAD que comprenden texto (letreros dinámicos) y gráficos con control de acceso condicional	La multiplexión de los PAD se basa en sistemas MPEG-2. Se dispone de servicios de datos que utilizan cualquier canal MDC y una parte de canal MDC
9. Asignación flexible de servicios	El múltiplex puede reconfigurarse dinámicamente en forma transparente para el usuario	El múltiplex puede reconfigurarse dinámicamente en forma transparente para el usuario
10. Compatibilidad de la estructura del múltiplex con el modelo OSI	La estructura del múltiplex es compatible con el modelo por capas OSI	La estructura múltiplex del sistema se ajusta plenamente a la arquitectura de sistemas MPEG-2
11. Capacidad de datos de valor añadido	Puede asignarse capacidad en incrementos de 8 kbit/s hasta la capacidad total de 1,536 Mbit/s del MDT a datos independientes para la difusión de datos empresariales, radiobúsqueda, gráficos con imágenes fijas, etc., con control de acceso condicional, si se desea. Los receptores llevan un conector de datos para la interfaz con las redes de información	Puede asignarse una capacidad a cualquier velocidad hasta la capacidad de carga útil plena (dependiendo del número de canales MDC multiplexados) a datos independientes para la difusión de datos empresariales, radiobúsqueda, gráficos con imágenes fijas, etc., con control de acceso condicional, si se desea
12. Publicación de receptores de bajo coste	La recepción de la señal del satélite y de MMP-MDT y el procesamiento digital estarán incorporados en microplaquetas adecuadas para su producción en masa	El sistema se optimizó específicamente para lograr el desarrollo inicial de receptores en vehículos de poca complejidad. Se ha establecido un grupo de normalización para fabricar receptores de bajo coste basados en técnicas de producción en masa y de integración a gran escala

AAC: codificación de audio avanzada (*advanced audio coding*)

DVB: radiodifusión digital de señal de vídeo

IEEE: Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos

MDC: múltiplex por división de código

MDP-4: modulación por desplazamiento de fase cuaternaria

MDT: múltiplex por división en el tiempo

MF: modulación de frecuencia

MMP: modulación multiportadora

MPEG: Grupo de Expertos en Imágenes en Movimiento

OSI: interconexión de sistemas abiertos

PAD: datos asociados a los programas

RDSI: red digital de servicios integrados.

## ANEXO 1

**Resúmenes de los sistemas digitales****1 Resumen del Sistema digital D<sub>H</sub>**

El Sistema digital D<sub>H</sub>, también conocido como sistema WorldSpace híbrido por satélite/terrenal, se ha diseñado para proporcionar radiodifusión digital de audio y datos por satélite para la recepción a bordo de vehículos, fija y portátil mediante receptores comunes económicos. La componente de distribución por satélite del Sistema digital D<sub>H</sub> se basa en el mismo tipo de transporte de canal de difusión con MDT utilizado en el Sistema digital D<sub>S</sub> pero con unas mejoras significativas en el diseño para mejorar la recepción con visibilidad directa en zonas parcialmente obstruidas por árboles. Esas mejoras incluyen recuperación rápida de la ambigüedad de fase de MDP-4, diversidad en el tiempo temprana/tardía y combinación de máxima probabilidad de señales con diversidad en el tiempo temprana/tardía.

Amplía la estructura del Sistema digital D<sub>S</sub> añadiendo la componente del sistema de distribución terrenal basada en MMP, que es una técnica de multiplex por división en frecuencia ortogonal (OFDM) resistente al multitrayecto que ha tenido una gran aceptación para la popular recepción móvil de los emisores terrenales. La ampliación MMP mejora las técnicas comunes en sistemas tales como Eureka 147 que es una norma utilizada por los servicios terrenales de radiodifusión de audio digital por microondas. MMP utiliza múltiples frecuencias para evitar los desvanecimientos selectivos en frecuencia que provocan efectos indeseables de dispersión por retardo.

**2 Resumen del Sistema digital E**

El Sistema digital E, también conocido como el ARIB (*Association of Radio Industries and Businesses*), está diseñado para proporcionar servicios (híbridos) por satélite y terrenales complementarios con repetidor en canal para señales de audio de alta calidad y de datos multimediales destinadas a la recepción a bordo de vehículos, portátil y fija. Se ha diseñado, además, para optimizar el comportamiento de la difusión tanto por satélite como mediante repetidor terrenal en canal en la banda 2630-2655 MHz. Ello se logra utilizando un MDC basado en MDP-4 con codificación de corrección de errores por bloques concatenado y convolucional. El receptor del Sistema digital E utiliza las técnicas más recientes de microondas y de circuitos integrados digitales a gran escala con el objetivo fundamental de lograr una fabricación económica y una gran calidad.

## ANEXO 2

**Sistema digital D<sub>H</sub>****1 Introducción**

El sistema digital D<sub>H</sub>, también conocido como sistema WorldSpace híbrido por satélite/terrenal, está diseñado para proporcionar radiodifusión digital de audio y datos por satélite para la recepción a bordo de vehículos, fija y portátil mediante receptores comunes económicos. Amplía la estructura del sistema digital D<sub>S</sub>, descrito en la Recomendación UIT-R BO.1130, que fue diseñado para

optimizar la distribución del servicio por satélite utilizando MDP-4 coherente con codificación por bloques y convolucional y amplificación no lineal en el punto de saturación de los amplificadores de tubo de ondas progresivas (ATOP). Actualmente funciona en África, utilizando el satélite AfriStar de WorldSpace situado a 21° Este, y en Asia, utilizando el satélite AsiaStar situado a 105° Este. El sistema proporciona un MDT flexible de fuentes digitalizadas de audio y datos que se modulan en una portadora MDT de enlace descendente y utiliza una estructura múltiplex jerárquica de tres capas (física, de servicio y de transporte) que se ajusta al modelo OSI como aconseja la Recomendación UIT-R BT.807.

Desde el lanzamiento del satélite AfriStar en octubre de 1998, el Sistema digital D<sub>S</sub> ha proporcionado a África un servicio de radiodifusión digital directa por satélite. Con el lanzamiento del AsiaStar en marzo de 2000 se empezó a ofrecer el mismo servicio en Asia. Ambos satélites proporcionan recepción directa de la señal digital transmitida con márgenes muy elevados de 4 a 13 dB en el interior de las zonas del contorno de cobertura de su haz exterior de 28 millones de km<sup>2</sup>. Las señales de audio digital se transmiten por enlace ascendente a cargas útiles transparente y de procesamiento desde estaciones terrenas de enlace ascendente ubicadas en varios puntos en los haces globales del satélite y se difunden a través del satélite AfriStar mediante tres haces con anchura de 5,7° a 6°, que cubren África y el Oriente Medio, y tres haces más mediante el satélite AsiaStar desde Indonesia e India a Corea y China. Cuatro receptores de 1,5 GHz de distinta fabricación reciben estas señales.

El Sistema digital D<sub>H</sub> amplía la calidad de recepción del sistema digital D<sub>S</sub> proporcionando una característica de recepción móvil muy robusta en zonas urbanas que se ven afectadas por un fuerte bloqueo debido a edificios y árboles. Actualmente ya ha sido especificada la arquitectura de un Sistema digital D<sub>H</sub>. Proporciona una extensión terrenal a los servicios de radiodifusión sonora digital en una configuración por satélite/terrenal mixta para receptores móviles así como para receptores estáticos y portátiles. Los trabajos de desarrollo han alcanzado una etapa en la que se están realizando pruebas de validación del sistema utilizando el satélite AfriStar y tres transmisores de una red de una sola frecuencia en Erlangen, Alemania. Está previsto realizar más pruebas de funcionamiento en Pretoria, República Sudafricana.

La componente de distribución por satélite del Sistema digital D<sub>H</sub> se basa en el mismo tipo de transporte de canal transmitido con MDT utilizado en el Sistema digital D<sub>S</sub> pero con varias mejoras significativas diseñadas para mejorar la recepción con visibilidad directa en zonas parcialmente bloqueadas por árboles. Estas mejoras incluyen la recuperación rápida de la ambigüedad de fase MDP-4 cada 1,4375 ms, diversidad en el tiempo temprana/tardía y combinación de máxima probabilidad de señales con diversidad en el tiempo temprana/tardía.

La componente del sistema de distribución terrenal se basa en una MMP que es una técnica de OFDM resistente al multirayecto que ha logrado una amplia aceptación para la popular recepción móvil de los emisores terrenales. La extensión MMP mejora las técnicas comunes en sistemas tales como el Sistema digital A, que es una norma utilizada para los servicios de radiodifusión terrenal de audio digital. La MMP utiliza múltiples frecuencias para evitar los desvanecimientos selectivos en frecuencias evitando, por tanto, los efectos indeseables de la dispersión por retardo. El esquema MMP es más adecuado para una recepción fiable en entornos móviles urbanos y proporciona soluciones adecuadas para la utilización eficaz del espectro cuando se utilizan redes de una sola frecuencia. Un nuevo diseño del receptor del Sistema digital D<sub>H</sub> amplía y mejora el diseño del Sistema digital D<sub>S</sub> para la recepción de señales de satélite. Añade una rama de recepción terrenal MMP para recibir señales terrenales procedentes de emisiones de redes de una sola frecuencia. Utiliza dos ramas de sintonizador de radiofrecuencias y demodula el mismo tren MDT de las componentes de señal por satélite y terrenal. Para su ampliación MMP, se añaden nuevas especificaciones de capa de transporte y física terrenal a las actuales capas de servicio, de transporte y

física del Sistema digital  $D_S$ . Como el transporte terrenal modula directamente los símbolos en banda base MDT recuperados por los receptores en cada estación terrenal de una red de retransmisión terrenal en las portadoras MMP, al transporte terrenal se le denomina MDT-MMP.

Los siguientes puntos describen con más detalle las componentes de la retransmisión por satélite y terrenal en el Sistema digital  $D_H$ .

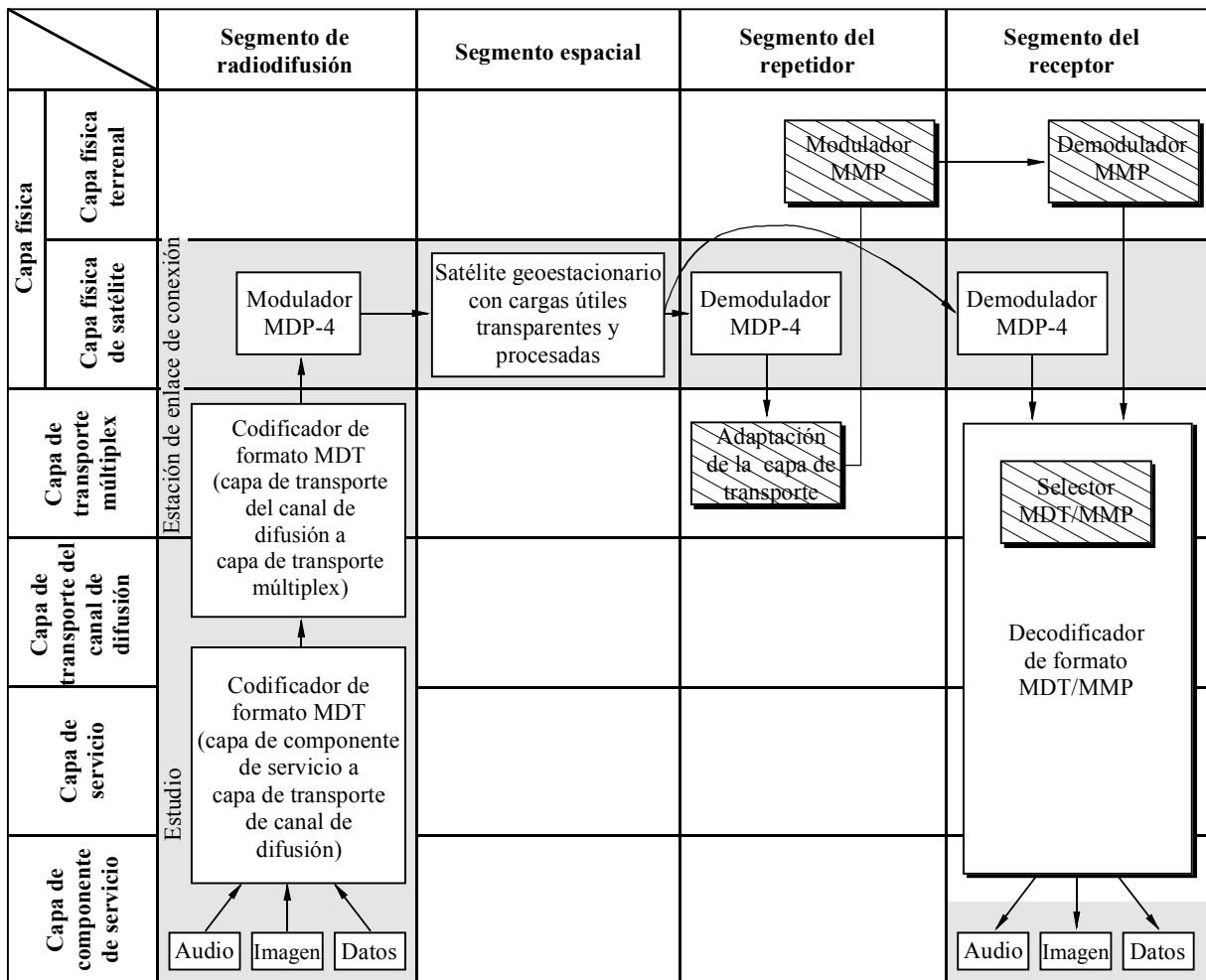
Con la inclusión de la componente de distribución terrenal, el Sistema digital  $D_H$  puede satisfacer los requisitos de servicio estipulados no sólo en la Recomendación UIT-R BO.789 sino también en la Recomendación UIT-R BS.774 para la distribución por satélite y terrenal complementaria de la radiodifusión sonora digital.

## 2 Características generales del sistema

### 2.1 Estructura de capas del Sistema digital $D_H$

El Sistema digital  $D_H$  utiliza la estructura de capas de sistema que se ilustra en la Fig. 1. Comprende las capas de servicio, de transporte y física para el segmento de satélite MDT del segmento de repetidor terrenal MDT-MMP.

FIGURA 1  
Capas de señal del Sistema digital  $D_H$  de WorldSpace con extensión MMP





## 2.2 Segmento de difusión por satélite

### 2.2.1 Capa de servicio

La capa de servicio comprende los codificadores de fuente de audio, imagen y datos. WorldSpace utiliza una variación de la Capa III MPEG-2 de la Organización Internacional de Normalización (ISO) denominada Capa III MPEG-2.5 para el audio e ISO Grupo Mixto de Expertos en Fotografía (JPEG) para la imagen. Los datos de la fuente se organizan en tramas de canal de difusión de 432 ms en incrementos de velocidad primaria de 16 kbit/s. Dichos incrementos constituyen la base de la arquitectura múltiplex en banda base. Una trama de canal de difusión puede soportar hasta 8 componentes de servicio, cada uno de ellos cursando una velocidad de 8 kbit/s a 128 kbit/s, a los que puede accederse individualmente en el receptor. Cada uno de los incrementos de velocidad primaria puede soportar dos componentes de servicio de 8 kbit/s. La suma de las velocidades de componentes de servicio en un canal de difusión no debe rebasar los 128 kbit/s. Un canal de difusión transporta una combinación de servicios tales como música, palabra en el idioma seleccionado, imágenes asociadas a la palabra y datos en forma de paquetes o de tren. Cada trama del canal de difusión incorpora un encabezamiento de control de servicio que en un receptor proporciona un preámbulo de sincronización de trama de canal de difusión y la información necesaria para identificar el tipo de información cursada, la velocidad de información, la identidad de los diversos servicios cursados, la información auxiliar relativa a los diferentes servicios, la presentación de texto alfanumérico, la difusión restringida de servicios, la selección de los servicios con acceso y la autorización de acceso a los servicios restringidos y por abono a los usuarios individuales.

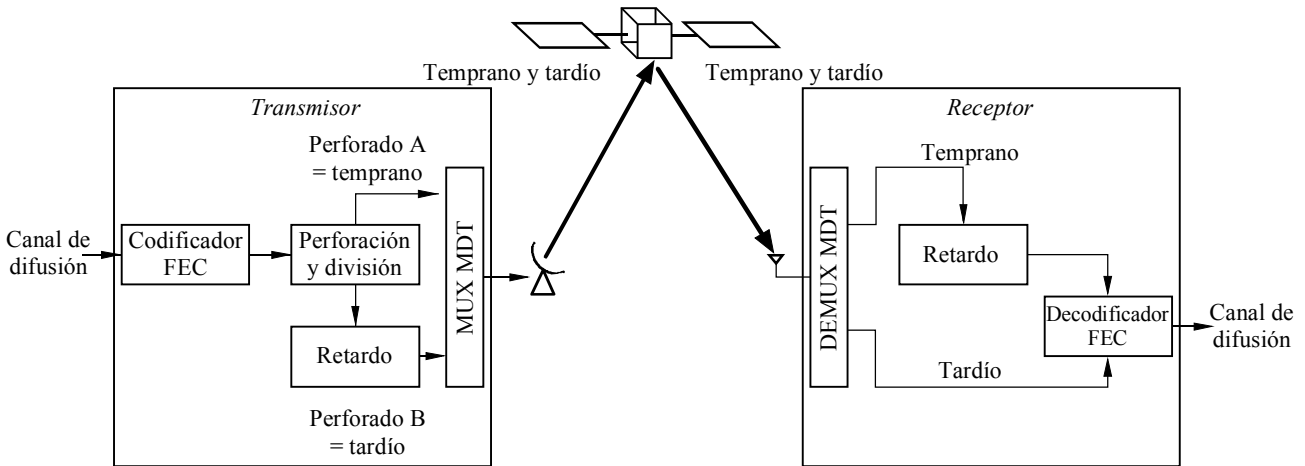
### 2.2.2 Capa de transporte

#### 2.2.2.1 Únicamente diversidad en el tiempo

Para diversidad en el tiempo utilizando un solo satélite, la capa de transporte emplea la arquitectura mostrada en la Fig. 2. Acepta los bits de los canales de difusión de la capa de servicio y en primer lugar los organiza en símbolos, cada uno de ellos con dos bits. A continuación, se codifican los símbolos mediante una técnica de corrección de errores en recepción sin canal de retorno (FEC) utilizando la concatenación de un codificador de bloques Reed-Solomon (RS) y un codificador convolucional. La perforación de la salida de este último codificador crea dos canales de difusión complementarios protegidos mediante corrección de errores. Uno de los canales de difusión perforado se denomina canal temprano y se entrelaza en una trama de 432 ms para contrarrestar los desvanecimientos de recepción a corto plazo. Su canal de difusión perforado correspondiente, denominado canal tardío, se retarda aproximadamente 4,32 s. Este canal se destina a la recepción en los actuales receptores WorldSpace normalizados así como en los nuevos equipos de radio-comunicaciones móviles. Además, no está entrelazado porque sino sería incompatible para la recepción por un receptor WorldSpace convencional. El retardo de 4,32 s entre los canales de difusión temprano y tardío proporciona protección contra largos retardos para combatir los bloqueos de la recepción de la señal del satélite causados por puentes, túneles cortos y árboles que aparecen a medida que el vehículo se desplaza a lo largo de la carretera a velocidades típicas. A continuación, los dos canales de difusión perforados correspondientes se multiplexan por división en el tiempo en un tren MDT junto con otros canales de difusión convencionales móviles y no móviles. El sistema tiene por objeto cursar una combinación de canales de difusión convencionales para recepción por parte de los receptores de difusión por satélite WorldSpace habituales y pares complementarios de canales de difusión perforados, uno temprano y uno tardío, para recepción por receptores móviles.

FIGURA 2

Diversidad en el tiempo con un solo satélite



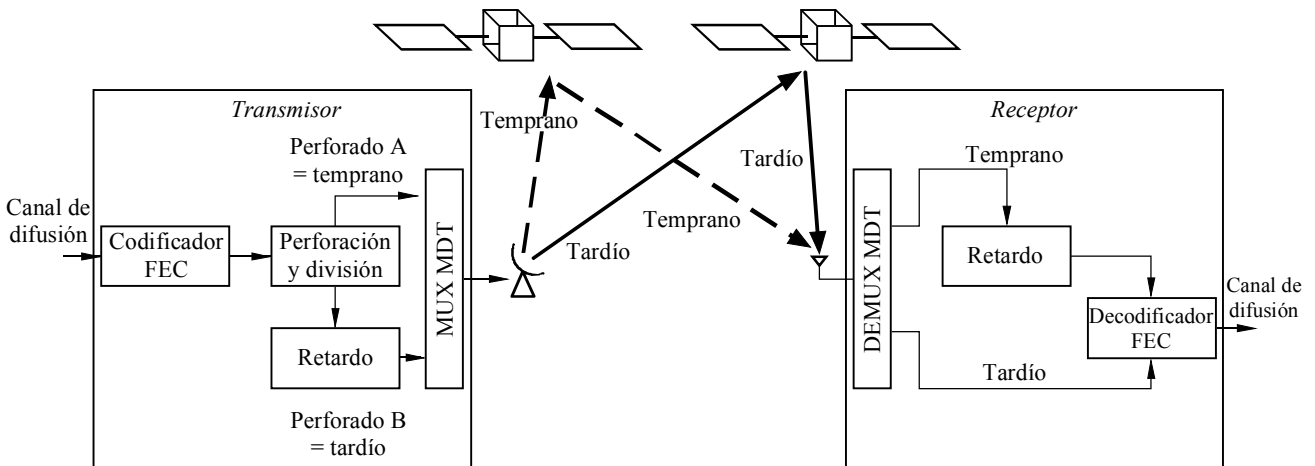
1547-02

2.2.2.2 Diversidad en el tiempo y el espacio

La arquitectura de capa de transporte de difusión por satélite para diversidad en el espacio y en el tiempo, ilustrada en el Fig. 3, utiliza dos satélites separados entre sí de 15° a 35° a lo largo de la órbita de los satélites geostacionarios. Lo más adecuado es que la bisectriz entre los satélites esté centrada en la zona de cobertura de la Tierra que se pretende servir. Utiliza la misma arquitectura de canal de difusión temprano y tardío descrita anteriormente para el caso de diversidad en el tiempo únicamente. Sin embargo, se emplean dos portadoras MDT, una transportada por cada satélite. Cada una de estas portadoras puede cursar una combinación de canales de difusión tempranos y tardíos, o una puede estar diseñada para cursar únicamente canales tempranos y la otra únicamente canales tardíos. Además, los canales de difusión convencionales no destinados a la recepción móvil pueden combinarse con los canales destinados a la recepción móvil. Esto es posible porque cada canal de difusión tiene su propio identificador de canal de difusión utilizado en el receptor para seleccionar canales de difusión específicos de uno o dos trenes MDT recibidos.

FIGURA 3

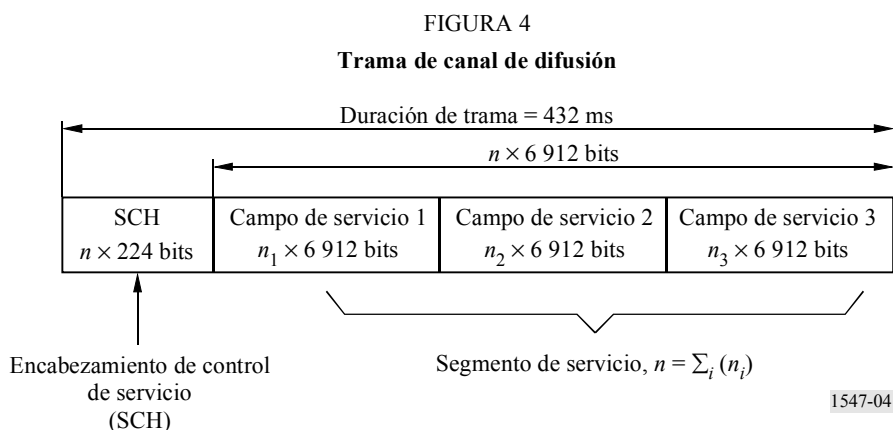
Diversidad en el espacio y en el tiempo con dos satélites



1547-03

### 2.2.2.3 Trama de canal de difusión y FEC

La Fig. 4 muestra una trama de canal de difusión que contiene tres campos de servicio. Cada campo de servicio cursa una velocidad que es un múltiplo entero,  $n_i$ , del incremento de velocidad primaria de 16 kbit/s. Por consiguiente, dentro de cada trama de 432 ms, un campo de servicio  $i$  que cursa una velocidad de  $n_i \times 16$  kbit/s tiene asignado  $n_i \times 6912$  bits. La velocidad binaria de un campo de servicio oscila entre 16 kbit/s y 128 kbit/s. Igualmente, la velocidad binaria de un canal de difusión va de 16 kbit/s a 128 kbit/s. Un canal de difusión puede cursar un máximo de 8 componentes de servicio con velocidades entre 8 kbit/s y 128 kbit/s. Obsérvese que los componentes de servicio son múltiplos de 8 kbit/s. Por consiguiente, cuando la velocidad de una componente de servicio es un múltiplo impar de 8 kbit/s, deben añadirse 8 kbit/s ficticios a fin de producir un múltiplo entero de 16 kbit/s para el campo de servicio en un canal de difusión. El número total de campos de servicio en un canal de difusión es  $n = \sum_i (n_i)$ . Para prepararlos al transporte, a cada uno de los 6912 bits del incremento de velocidad primaria del campo de servicio de un canal de difusión se les asignan 224 bits en un encabezamiento de control de servicio, con lo cual el número de bits por trama de canal de difusión es  $n \times 7136$ . A continuación se codifica la trama de canal de difusión mediante el método FEC por un codificador de bloques RS 223,255 para obtener una salida de  $n \times 8160$  bits por trama. A fin de prepararla para el servicio móvil, la salida del codificador RS se introduce en un codificador convolucional de índice R 1/4 cuya salida se divide en dos canales de difusión con codificación convolucional de índice R 1/2, uno será el canal de difusión temprano y el otro el canal de difusión tardío. En este punto hay  $n \times 16320$  bits asignados a los  $n$  campos de servicio en cada canal de difusión. A continuación, se demultiplexan los  $n$  campos de servicio en  $n$  canales de velocidad primaria (PRC, *prime rate channels*). Añadiendo un preámbulo de 96 bits a cada PRC se obtiene un total de 16416 bits por PRC.



### 2.2.2.4 Transporte terrenal

Si el estudio de origen está distante de una estación de enlace ascendente, los PRC de un canal de difusión se transportan a la estación mediante enlaces de telefonía digital terrenales. Ello se realiza normalmente a través de múltiplex de telefonía digital conformes a la Recomendación UIT-T G.736. Si el estudio de origen está coubicado o se encuentra muy próximo a la estación, las señales se transportan simplemente mediante un cable local. La señal transportada es la que se genera a la salida del nivel codificado del bloque RS. En ese punto se dice que los canales de difusión se transportan en forma protegida. En las estaciones de enlace ascendente, los PRC de los canales de difusión protegidos que llegan de múltiples orígenes se alinean de forma síncrona mediante una memoria intermedia plesiócrona a fin de prepararlos para el enlace ascendente hacia el satélite. A

continuación, los PRC de los canales de difusión protegidos se codifican mediante un código convolucional de índice R 1/4 y se dividen mediante perforación complementaria en los canales de difusión temprano y tardío con codificación convolucional de índice R 1/2. Los últimos PRC de los canales de difusión se envían a continuación por enlace ascendente hacia la carga útil de comunicaciones del satélite. El sistema tiene dos métodos de transporte a través de la carga útil de comunicaciones del satélite. Uno de ellos es mediante una carga útil de procesamiento y el otro mediante una carga útil transparente.

#### 2.2.2.5 Enlace ascendente hacia el satélite

Para los PRC de los canales de difusión destinados a la carga útil de procesamiento, las señales del enlace ascendente se transportan en un formato de acceso múltiple por división de frecuencia (AMDF). Cada señal AMDF comprende un tren digital con MDP-4 de 38 kbit/s funcionando en portadoras separadas por 38 kHz en grupos de 48 portadoras en banda contigua. Por consiguiente, cada conjunto de 48 portadoras ocupa una anchura de banda de 1 824 kHz. Seis de estos conjuntos se envían hacia el satélite mediante señales con frecuencias comprendidas entre 7 025 MHz y 7 075 MHz. A bordo del satélite 96 PRC de los canales de difusión con codificación FEC se demodulan a su nivel de símbolos y se alinean de forma síncrona. Los PRC de cada canal de difusión pueden encaminarse a uno, dos o tres multiplexores MDT. Los símbolos encaminados sufren una multiplexión por división en el tiempo en 2 622 conjuntos de 96 símbolos cada uno en un periodo de trama MDT de 138 ms. Al inicio de cada una de las tramas MDT se adjunta un preámbulo de trama principal de 96 símbolos y una palabra de control de intervalo de tiempo de 2 112 símbolos, con lo que toda la trama tiene una longitud de 253 920 símbolos que proporciona una velocidad de símbolos de 1 840 000 símbolos/s. Por consiguiente, cada portadora MDT requiere una anchura de banda de 2,3 MHz. Para mejorar la robustez en el transporte y en la recepción, se suma al módulo-2 una secuencia de símbolos pseudoaleatoria para aleatorizar los símbolos del tren MDT. Desde un punto de vista operacional, estos trenes MDT pueden soportar 24 canales de difusión de 64 kbit/s para un servicio de audio con calidad estereofónica MF utilizando el codificador de fuente de Capa III MPEG 2.5. Se transmiten tres trenes MDT de carga útil de procesamiento con MDP-4 en tres portadoras, una en cada uno de los tres haces en banda L en diferentes frecuencias entre 1 467 y 1 492 MHz. En cada uno de los tres haces del enlace descendente, la potencia isotropa radiada equivalente (p.i.r.e.) en el centro del haz de cada portadora es 53,5 dBW. La anchura de haz a -3 dB es aproximadamente 6°.

Para la carga útil transparente, en la estación de enlace ascendente los PRC de las señales de los canales de radiodifusión con codificación convolucional de índice R 1/2 se multiplexan en una portadora MDT. También se multiplexan en el tiempo una combinación de 96 PRC convertidos a símbolos de 2 bits en 2 622 grupos. Cada grupo contiene un símbolo de los 96 PRC transmitidos en un periodo de trama MDT de 0,138 s. A ello se suma un preámbulo de trama principal de 96 símbolos y un canal de control de intervalo de tiempo de 2 112 símbolos para obtener una trama MDT total de 253 920 símbolos y una velocidad de 1,84 Mbit/s. La anchura de banda necesaria para acomodar este tren MDT utilizando MDP-4 es normalmente de 2,3 MHz. Los 96 PRC incorporados en el tren MDT cursan el tráfico de la combinación de canales de difusión para servicios móviles y no móviles.

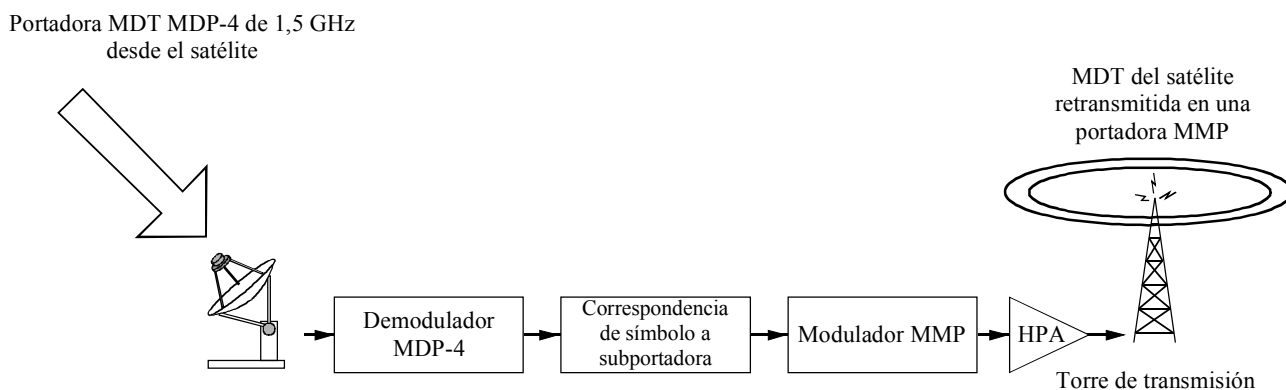
En los canales de difusión destinados únicamente a la recepción no móvil (línea de visibilidad directa), se utiliza un codificador convolucional de índice R 1/2 tras el codificador de RS. Este codificador convolucional de índice R 1/2 y el codificador con perforación de índice R 1/4 a convolucional de índice R 1/2 utilizado para el último canal móvil son compatibles con el mismo decodificador de Viterbi del lado receptor. En todos los demás aspectos, el procesamiento del canal de difusión y la multiplexión MDT para receptores móviles y no móviles son las mismas.

### 2.3 Realización de MMP

La conversión MDT a MMP en el tren de símbolos MDT del satélite a una señal MDT-MMP para re-radiación terrenal se ilustra en la Fig. 5. En el sistema con diversidad en el tiempo únicamente, la señal MDT-MMP resultante se retransmite por múltiples estaciones terrenales de una red de una sola frecuencia.

FIGURA 5

#### Conversión MDT a MMP y retransmisión terrenal



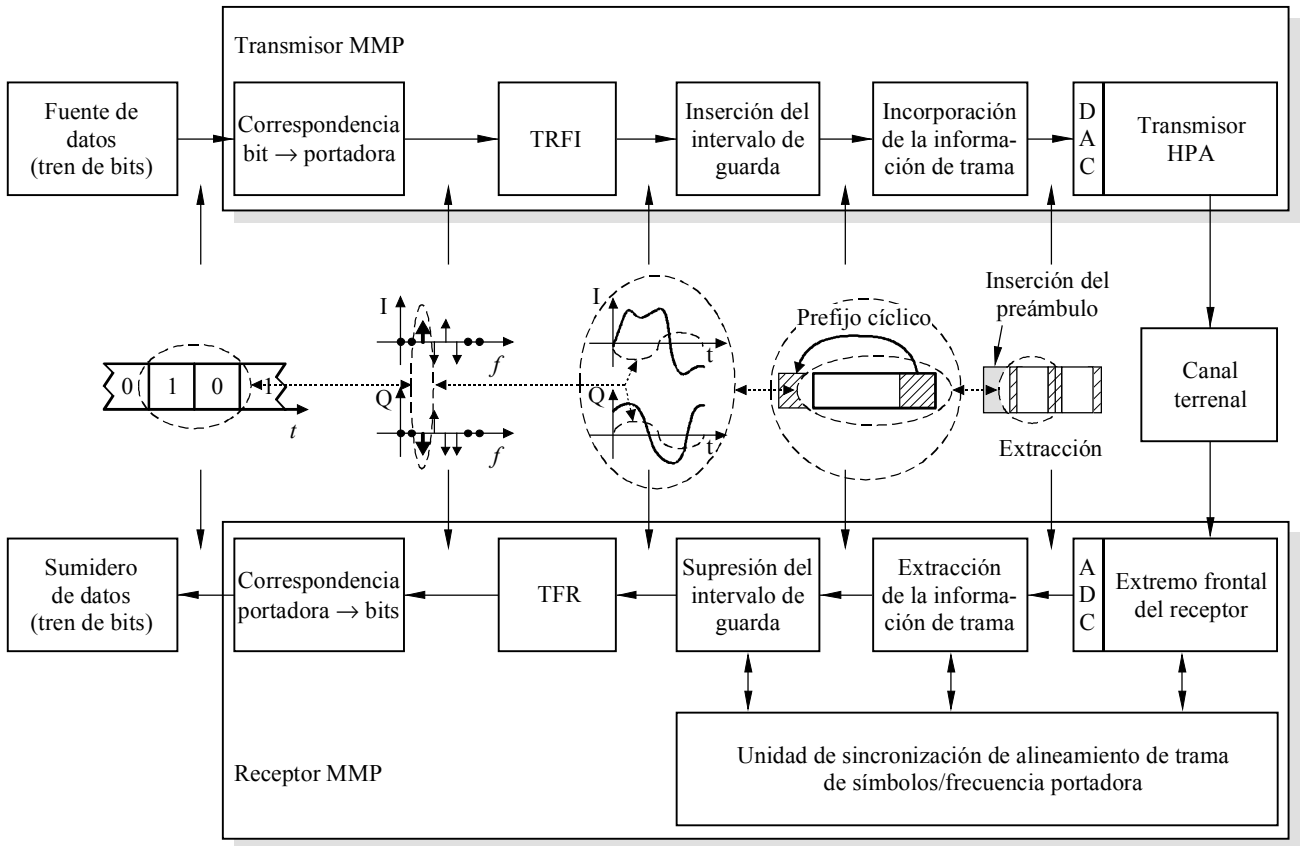
HPA: Amplificador de gran potencia (*high power amplifier*)

1547-05

Utilizando una antena parabólica de 1,2 m de diámetro con alimentación descentrada conectada a un receptor WorldSpace, la portadora MDT con MDP-4 del satélite se demodula a su forma de señal de símbolos MDT en banda de base. A continuación, se convierte a una forma MDT-MMP utilizando los pasos de procesamiento indicados en la Fig. 6. Los símbolos MDT se hacen corresponder con símbolos de subportadora MMP construyendo una señal multiportadora en el dominio de la frecuencia. Para ello, en primer lugar se ordenan los símbolos MDT en un formato de filas y columnas, correspondiendo cada columna a un símbolo MMP. Los elementos de la fila de símbolos MDT de la columna corresponden a las subportadoras MMP individuales de un símbolo MMP. A fin de crear la señal en el dominio del tiempo para cada símbolo MMP, actúa una transformada rápida de Fourier inversa (TRFI) en los elementos de fila de cada columna con objeto de generar una multiplicidad de señales MDP-4 diferencial (MDP-4D), una para cada símbolo MDT. Para disminuir la interferencia entre símbolos, se inserta un intervalo de guarda entre los símbolos MMP mediante compresión en el dominio del tiempo y repitiendo partes de la secuencia de salida de la TRFI.

La representación en el dominio del tiempo de una trama MMP comprende una secuencia de símbolos MMP como se ilustra en la Fig. 7. Cada trama MMP arranca con una secuencia de sincronización modulada en amplitud (AMSS, *amplitude modulated synchronization sequence*) que se utiliza en el receptor para recuperar la sincronización de la temporización de trama MMP y la frecuencia y la fase de la portadora. Cada trama MMP comprende 23 símbolos MMP, cada uno de los cuales incorpora 552 portadoras MDP-4D, una por cada 2 bits de símbolo MDT y una portadora más que es la referencia de fase para la modulación MDP-4D. Cada símbolo MMP finaliza con un intervalo de guarda en el cual se repite un segmento de tiempo de duración igual al tiempo de guarda pero muestreado al inicio del símbolo MMP. Las tramas MMP se formatean en una trama de 138 ms de duración igual a la longitud de una trama MDT. En el receptor, esta AMSS acomoda la sincronización de las tramas MDT recuperadas de los trayectos por satélite y terrenal.

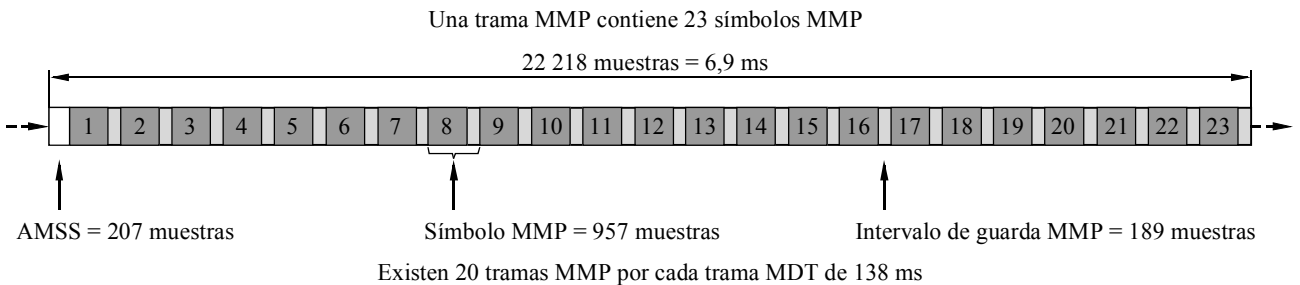
FIGURA 6  
Conversión MDT a MMP



ADC: convertidor analógico-digital (*analogue digital converter*)  
 DAC: convertidor digital-analógico  
 TFR: transformada rápida de Fourier

1547-06

FIGURA 7  
Representación en el dominio del tiempo de la trama MMP



1547-07

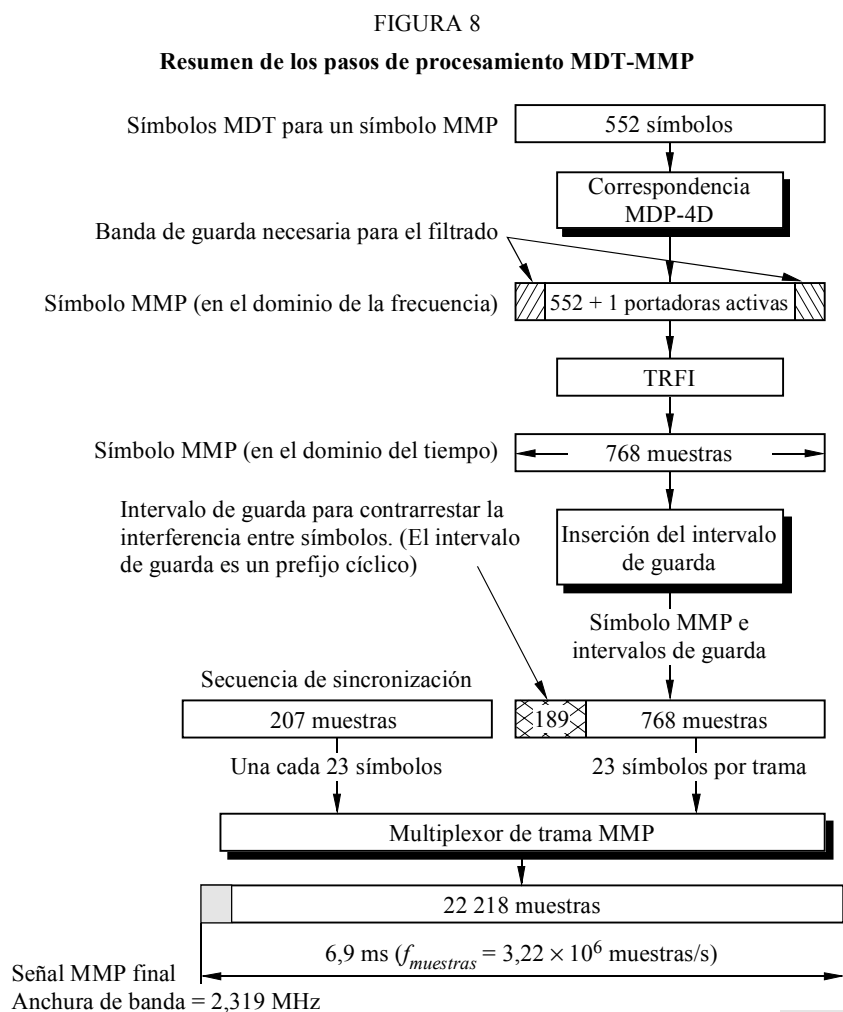
### 2.4 Parámetros de la forma de onda MMP

En el Cuadro 2 se indican los parámetros MMP utilizados para funcionamiento móvil en la banda 1 467-1 492 MHz.

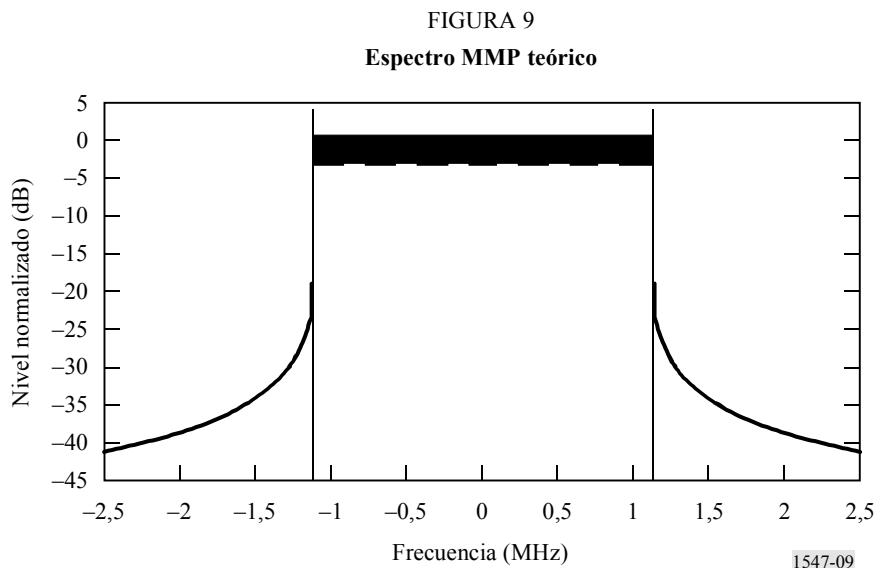
CUADRO 2  
Parámetros MMP

Parámetro	Valor
Longitud TRF	768
Portadoras activas MDP-4D	552
Portadora de referencia MDP-4D	1 por símbolo MMP
Correspondencia símbolo MDT → símbolo MMP	552 símbolos MDT de 2 bits por cada símbolo MMP que utiliza MDP-4D
Símbolos MMP por trama MMP	23
Longitud de la trama de símbolo MMP	6,9 ms
Duración de símbolo	297,21 $\mu$ s
Intervalo de guarda	58,70 $\mu$ s incluida la duración de símbolos
Preámbulo de sincronización AMSS (al inicio de cada trama MMP)	64,29 $\mu$ s
Alineación de trama	20 símbolos MMP (138 ms)
Frecuencia de muestreo	3,22 MHz
Anchura de banda	2,32 MHz

En la Fig. 8 aparecen más detalles sobre la construcción de la señal MMP.



El espectro teórico de la señal MMP se muestra en la Fig. 9. Obsérvese la rápida disminución del nivel fuera de banda; situación que es típica del proceso de modulación MMP y que ayuda a reducir la interferencia de canal adyacente.



## 2.5 Retardo de diversidad en el tiempo entre canales de difusión temprano y tardío

Para diversidad en el tiempo únicamente los canales de difusión temprano y tardío pueden transmitirse como dos canales de difusión distintos en una portadora MDT desde un satélite y para diversidad en el tiempo y en el espacio desde dos satélites distintos con dos portadoras MDT, una desde cada satélite.

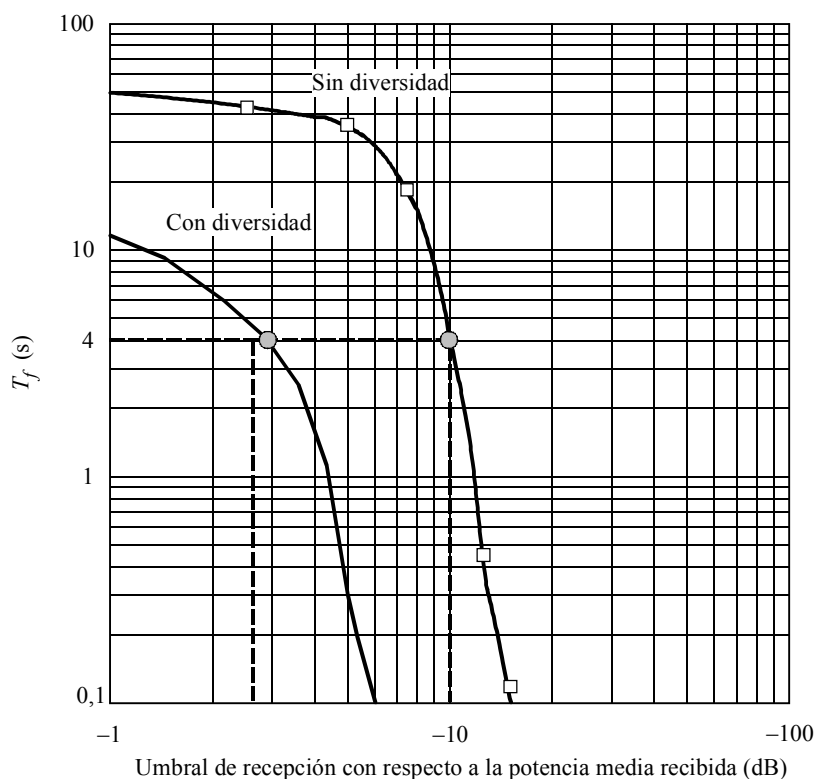
Con respecto a la magnitud del tiempo de retardo necesario para lograr una recepción con diversidad en el tiempo eficaz, pueden consultarse los datos experimentales obtenidos de los estudios llevados a cabo por el Organismo de investigaciones y pruebas aeroespaciales de Alemania (DFVLR actualmente conocido como DLR) en 1985 en Europa en colaboración con el sistema Prosat/Prodat y que aparecen en las actas de la Séptima Conferencia Internacional sobre Comunicaciones Digitales por Satélite (ICDSC-7), Munich, Alemania, 12-16 de mayo de 1986, p. 537-541. Esos experimentos se realizaron mediante el satélite MARECS-A en posición geoestacionaria a 15° de longitud Oeste. Los datos fueron recogidos para un vehículo que se desplazaba por carreteras rurales a la velocidad de 60 km/h. Los resultados de interés específico se representan en la Fig. 3b de la citada referencia. En la Fig. 10 que aparece a continuación se ilustra un subconjunto de los datos extraídos de la Figura citada.

Se muestran dos curvas para recepción móvil por parte de un vehículo desplazándose por una carretera a 60 km/hora. Una de ellas corresponde al caso de diversidad en el tiempo y la otra al caso sin diversidad en el tiempo. Estas curvas representan la relación entre la duración del desvanecimiento rebasado durante el 1% del tiempo (s) en el eje vertical, y el umbral de recepción con respecto a la potencia media recibida (dB) en el eje horizontal. La curva correspondiente al caso sin diversidad demuestra que para un umbral de recepción de -10 dB la duración del desvanecimiento rebasa 4 s o menos la del 1% del tiempo. Con diversidad, este umbral de recepción se reduce a -2,7 dB. A su vez, desvanecimientos con una duración de 4 s o menos se producen durante el 99% del tiempo para un umbral de recepción de -10 dB sin diversidad en el tiempo y de -2,7 dB con diversidad en el tiempo. El sistema descrito en esta Recomendación tendrá un tiempo de retardo de 4,28 s.



FIGURA 10

Duración del desvanecimiento  $\geq T_f$  en función de la relación entre el umbral de recepción y la potencia media recibida (dB) para un tiempo compartido de desvanecimiento = 1% en el caso de recepción de un móvil desplazándose por una carretera con y sin diversidad en el tiempo



1547-10

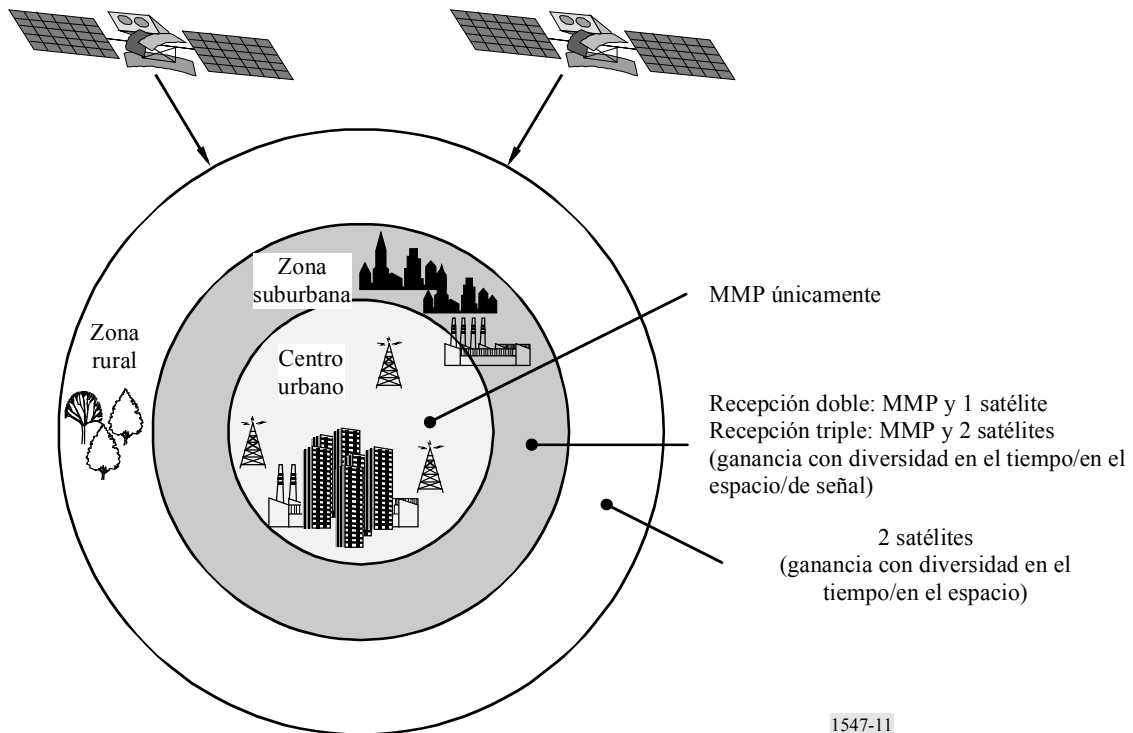
## 2.6 Casos de recepción de señales híbridas por satélite/terrenales

En la Fig. 11 se representan los diversos casos de recepción de señales por satélite con visibilidad directa combinada con recepción de señales terrenales destinadas a móviles. Para estudiar la situación se divide el terreno en tres regiones que se consideran a continuación:

### 2.6.1 Región exterior – Zona en la que predomina la recepción por satélite

La región más exterior, que es la corona circular externa que rodea a la ciudad en la Fig. 11, comprende fundamentalmente zonas rurales abiertas atravesadas por carreteras que interconectan las ciudades principales y carreteras rurales que unen núcleos de población más pequeños. A lo largo de la mayoría de las carreteras y de los caminos rurales será posible la recepción del satélite con visibilidad directa durante una gran parte del tiempo en que el vehículo se está desplazando. Sin embargo, de forma inadvertida un vehículo podrá entrar en regiones pequeñas en las que los edificios y los árboles interferirán con la recepción del satélite con visibilidad directa aunque se disponga de diversidad en el tiempo y espacial. Por consiguiente, en muchas de estas zonas rurales deberán instalarse estaciones terrenales de refuerzo para retransmitir la señal MDT-MMP, especialmente cuando el volumen de servicio lo justifica. Probablemente se tratará de transmisores con p.i.r.e. de 10 dBW a 20 dBW utilizados principalmente para regiones en las que no sería suficiente la disponibilidad del servicio lograda utilizando únicamente las señales de satélite.

FIGURA 11  
Casos de recepción



### 2.6.2 Región intermedia – Señales combinadas por satélite y terrenales

Se trata de una zona de transición entre las zonas urbanas y las zonas suburbanas/rurales. Está compuesta de islas de edificios elevados y polígonos industriales dispersos junto con asentamientos rurales y zonas residenciales suburbanas de edificios de poca altura. Por consiguiente, es probable que la señal del satélite únicamente no sea suficiente para garantizar una plena cobertura. Se necesita un sistema de retransmisión terrenal más intenso que en las zonas rurales. Según lo exija la topología, será necesario instalar repetidores terrenales que radien la señal MDT-MMP a niveles de potencia de 10 dBW a 20 dBW para proporcionar la necesaria disponibilidad del servicio.

### 2.6.3 Región interna – Utilización predominante de la señal terrenal

En centros urbanos únicamente los repetidores terrenales proporcionan la cobertura. Si el radio de la cobertura de un transmisor no es suficiente, para cubrir un centro urbano completo se utilizan redes de una sola frecuencia de repetidores múltiples que radian la señal MDT-MMP a niveles de 30 dBW y superiores.

### 2.6.4 Vehículos desplazándose a través de las regiones

A medida que un vehículo se desplaza a través de las varias regiones representadas en la Fig. 11, encontrará diversas intensidades de señal y combinaciones de señales por satélite y señales procedentes de la retransmisión terrenal.

En las zonas rurales abiertas de la corona circular externa un vehículo se encontrará a gran distancia, más allá incluso del horizonte radioeléctrico, de los retransmisores MDT-MMP urbanos más cercanos. Por consiguiente, la señal de satélite será la dominante. En este caso, los dispositivos del receptor de satélite demodularán la portadora o portadoras MDT, recuperarán los canales de difusión temprano y tardío sintonizados y los combinarán mediante una decodificación FEC de máxima probabilidad para obtener los bits del canal de difusión.

Cuando el vehículo se desplaza hacia la región intermedia, empieza a encontrar niveles cada vez mayores de la señal MDT-MMP. El receptor, utilizando sus decodificadores FEC, examina y compara la calidad de la señal terrenal y de la señal por satélite en términos de proporciones de bits erróneos (BER) estimadas ( $BER_{ter}$  y  $BER_{sat}$ ). El receptor continúa sintonizando la señal procedente del satélite mientras dicha señal proporcione una  $BER_{sat} = \Delta \times BER_{ter}$ ,  $\Delta \geq 1$ . Cuando esta última condición pasa a ser no verdadera el receptor conmuta a la señal terrenal. Únicamente cuando la BER de la señal del satélite disminuye a un nivel tal que  $BER_{ter} = \Delta \times BER_{sat}$  la recepción volverá a conmutar nuevamente a la señal del satélite. Si tanto la  $BER_{ter}$  como la  $BER_{sat}$  tienen valores demasiado bajos como para que la recepción sea satisfactoria, dicha recepción se interrumpe.  $\Delta$  puede llegar a tomar un valor de hasta 10.

Un vehículo que se desplace por la región intermedia y también por la región exterior atravesará ciudades, montañas y bosques donde se produce bloqueo de la visibilidad directa hacia el satélite o satélites. Probablemente necesitarán instalarse repetidores de retransmisión terrenal MDT-MMP a fin de lograr una cobertura sin discontinuidades para los viajeros y los residentes locales. Por consiguiente, un receptor pasará alternativamente de la recepción terrenal a la recepción por satélite y viceversa a medida que realice un procesamiento de la calidad de la señal recibida en términos de BER y lleve a cabo la conmutación. Es importante realizar dicha conmutación con un tiempo mínimo de interrupción en aras de la continuidad del servicio. En los servicios de audio pueden tolerarse interrupciones inaudibles pero en el caso de transmisión de datos dichas interrupciones pueden provocar la pérdida de la continuidad del servicio y será necesario tomar las medidas necesarias para evitar dichas interrupciones.

Cuando un vehículo que se está desplazando penetra en la región central, la recepción se realiza fundamentalmente al 100% a través de la señal terrenal porque en el diseño se ha contemplado la instalación de retransmisores terrenales para lograr una cobertura total. Además, una vez que el receptor se engancha a la señal terrenal, el diseño del comparador de calidad de la señal, descrito anteriormente, es tal que impide el retorno a la recepción a través del satélite hasta que la señal procedente de este último es claramente la de mayor nivel. El valor de  $\Delta$  controla este aspecto de la acción de conmutación.

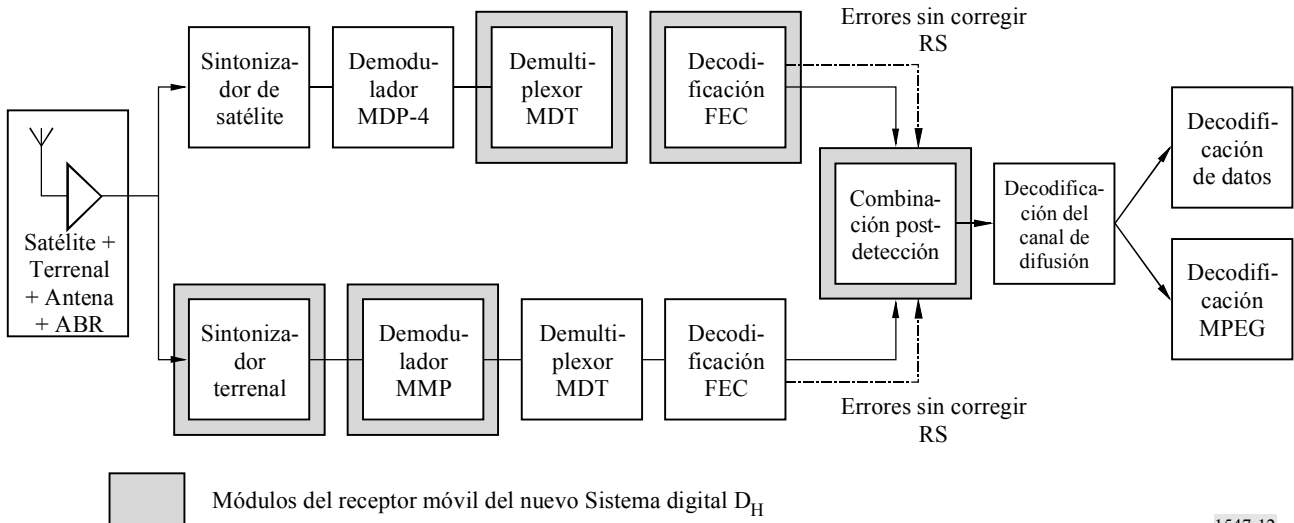
## 2.7 Arquitectura del receptor

A continuación se describen dos arquitecturas de receptor, una para diversidad en el tiempo únicamente y la otra para diversidad en el tiempo y en el espacio.

En la Fig. 12 se muestra el receptor con diversidad en el tiempo únicamente. Utiliza una antena combinada para recepción por satélite y terrenal que se conecta a las dos ramas del receptor, una para el satélite y la otra para la recepción terrenal. La rama para recepción por satélite comprende un sintonizador de satélite que selecciona una portadora de satélite MDT deseada, un demodulador MDP-4 para recuperar el tren de símbolos MDT y un demultiplexor MDT que selecciona un par deseado de canales de difusión temprano y tardío. Un decodificador FEC que utiliza un decodificador reticular FEC de máxima probabilidad de Viterbi combina de forma síncrona la señal temprana retardada y la señal tardía. El retardo de la señal temprana se introduce en el demultiplexor MDT. La sincronización precisa necesaria para realizar la combinación se logra alineando los preámbulos de las tramas de canal de radiodifusión temprano y tardío. El combinador postdetección es un conmutador que selecciona el canal de difusión del lado del receptor de satélite o terrenal basándose en la medida de la calidad antes descrita. La rama MMP del receptor funciona simultánea e independientemente del satélite. Sintoniza la portadora MMP deseada y la demodula en el tren de símbolos MDT. A continuación actúa de idéntica forma en la rama del receptor dedicada al satélite. El combinador postdetección conecta la rama terrenal o la rama de satélite a la salida dependiendo de su declaración lógica en cuanto al grado de calidad. A continuación, el canal de difusión seleccionado se demultiplexa en las componentes de servicio que lo constituyen.

FIGURA 12

## Receptor con diversidad en el tiempo únicamente

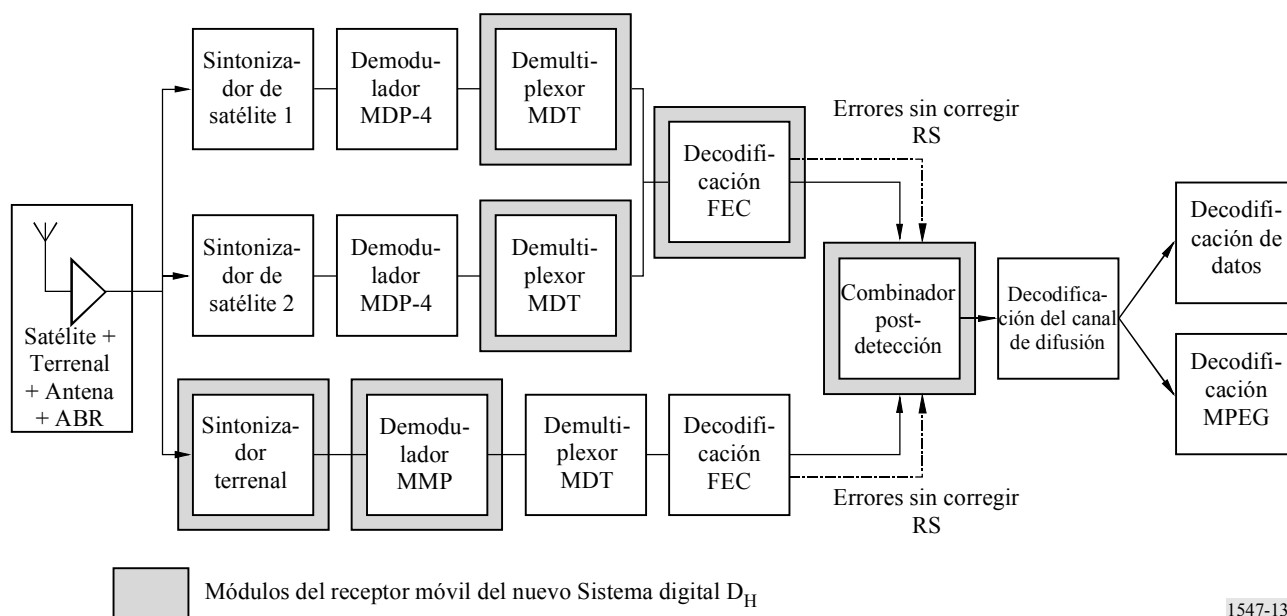


1547-12

El receptor con diversidad en el tiempo y en el espacio se muestra en la Fig. 13. Utiliza tres ramas, dos para la recepción de la señal del satélite y una para la recepción de la señal terrenal. Las tres ramas comparten la misma antena y el mismo amplificador de bajo nivel de ruido (ABR). Una señal de satélite cursará únicamente canales de difusión tempranos y la otra únicamente canales de difusión tardíos. La tercera rama recibe la señal terrenal que comprende una portadora MDT-MMP que transporta la MDT. La MDT transportada a través de la retransmisión terrenal cursa únicamente canales de radiodifusión tempranos recibidos en la estación de retransmisión terrenal directamente desde el satélite. Cada rama de satélite comprende un sintonizador de satélite que selecciona una portadora de satélite MDT deseada, un demodulador MDP-4 para recuperar el tren de símbolos MDT y un demultiplexor MDT. Una rama proporciona el canal de difusión temprano deseado y la otra el canal de difusión tardío emparejado a un decodificador FEC que utiliza decodificación reticular FEC de máxima probabilidad de Viterbi para combinar de forma sincrónica la señal temprana retardada y la señal tardía. El retardo necesario de la señal temprana se logra en el demultiplexor MDT. El alineamiento preciso necesario para la combinación en el decodificador de Viterbi se obtiene alineando los preámbulos de las tramas de los canales de difusión temprano y tardío. La rama MMP del receptor funciona simultánea e independientemente del satélite. Se sintoniza a la portadora MMP y la demodula para recuperar el tren de símbolos MDT, demultiplexa el tren MDT para recuperar el canal de difusión temprano deseado y realiza una decodificación FEC de este último en un decodificador de Viterbi. El último canal de difusión deberá retardarse para sincronizarlo con el canal de difusión recuperado de la rama de satélite. Parte de este retardo habrá sido introducido accidentalmente en las estaciones de retransmisión terrenal al realizar la conversión de MDT a MDT-MMP. La sincronización precisa necesaria para la combinación postdetección se logra alineando los preámbulos de las tramas de los canales de difusión temprano y tardío. El combinador postdetector conecta la rama terrenal o la rama de satélite a la salida, dependiendo de su decisión lógica sobre el que presente la mejor calidad. A continuación, el canal de difusión seleccionado se demultiplexa en sus componentes de servicio constituyentes.

FIGURA 13

## Receptor con diversidad en el tiempo y en el espacio



1547-13

## ANEXO 3

## Sistema digital E

## 1 Introducción

El Sistema digital E está concebido para la prestación de servicios de repetidor en el canal, por satélite y complementarios terrenales para señales de audio de gran calidad y datos multimedia destinados a la recepción en vehículos, y en equipos portátiles y fijos. Se ha concebido para optimizar la calidad de los servicios de repetidor en el canal por satélite y terrenales en la banda de 2 630-2 655 MHz. Ello se logra mediante la utilización de un MDC basado en la modulación MDP-4 con código concatenado, utilizando un código RS y una codificación de corrección de errores convolucional. El receptor del Sistema digital E utiliza tecnologías de circuito integrado a gran escala en microondas y digitales de última generación, con el objetivo principal de obtener unas características de producción de bajo coste y gran calidad.

Los aspectos principales del sistema son:

- Este sistema es el primero de radiodifusión sonora digital que se ensayará en condiciones reales utilizando la banda 2 630-2 655 MHz asignada al SRS (sonora) en algunos países.
- Se adoptó la arquitectura de sistemas MPEG-2 para lograr una multiplexación flexible de los diversos servicios de radiodifusión y la interoperabilidad con otros servicios de radiodifusión digital. Es el primer sistema del SRS (sonora) que adopta los sistemas MPEG-2.
- Se adopta una técnica de AAC MPEG-2 para la codificación audio en la fuente. La técnica AAC da las características más eficaces de comprensión audio para servicios de radiodifusión sonora de gran calidad.

- La recepción en vehículos es el objetivo principal de este sistema. Se confirmó una recepción estable en vehículos a gran velocidad en el transcurso de unas pruebas de verificación.
- La señal del satélite puede recibirse utilizando un único elemento de antena omnidireccional en el plano horizontal y siguiendo un esquema de recepción con diversidad de dos antenas para vehículos.

## 2 Panorámica del sistema

La Fig. 14 muestra la panorámica del sistema. Este sistema de SRS (sonora) consta de una estación terrena de enlace de conexión, un satélite de radiodifusión, dos tipos de emisores de relleno y los receptores portátiles, fijos y de vehículos.

La señal se transmite en primer lugar desde una estación terrena de enlace de conexión a un satélite de radiodifusión, utilizando un enlace ascendente del servicio fijo por satélite (SFS) (por ejemplo, en la banda de 14 GHz). La señal se convierte en el satélite de la banda de 14 GHz a la de 2,6 GHz. La señal en la banda de 2,6 GHz se amplifica en el satélite utilizando un transpondedor hasta llevarla al nivel deseado y posteriormente se transmite a la zona de servicio utilizando una gran antena transmisora en el satélite.

Los principales programas distribuidos por este sistema son servicios de sonido de gran calidad en la primera etapa y servicios multimedia, incluyendo la red de difusión de datos, en la etapa siguiente.

Los radioyentes/telespectadores de este servicio pueden recibir la señal de radiodifusión a través del satélite utilizando pequeñas antenas con directividad reducida. A fin de generar un nivel de p.i.r.e. suficiente para la recepción en vehículos, la estación espacial tendrá que estar equipada con una gran antena transmisora y transpondedores de gran potencia.

Los puntos principales en relación con la propagación de la señal en la banda de 2,6 GHz se refieren al enmascaramiento y al bloqueo del trayecto directo hasta el satélite. Este sistema utiliza dos técnicas para resolver los diversos tipos de enmascaramiento y bloqueo.

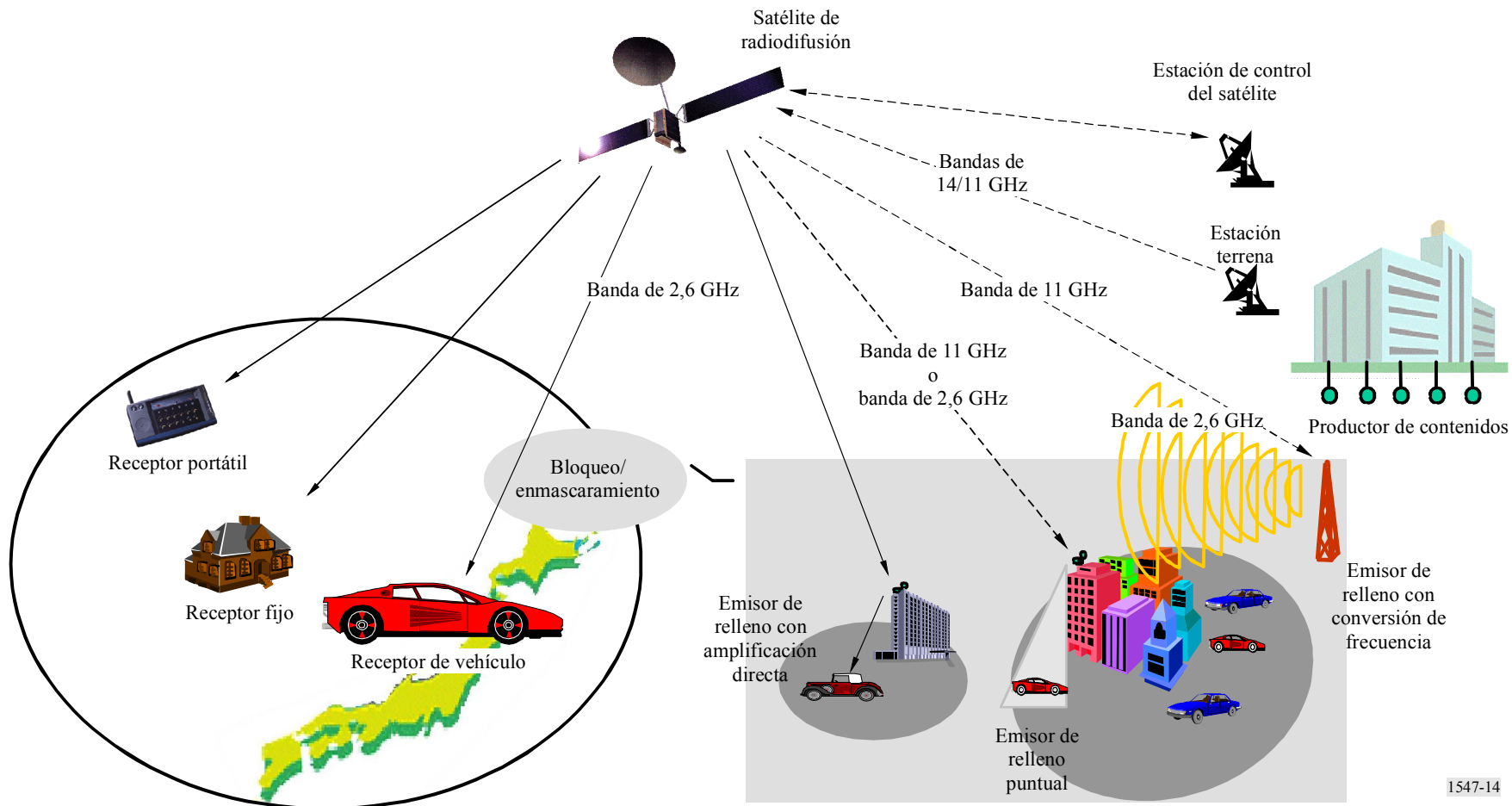
El primero es un desentrelazador binario en el receptor que contrarresta los enmascaramientos y bloqueos causados por pequeños objetos. Estos enmascaramientos y bloqueos se producen en los casos de recepción en vehículos, en forma de ráfagas continuas de ruido en la señal recibida de hasta aproximadamente un segundo.

La ráfaga continua de ruido se dispensa a lo largo de un periodo de tiempo de varios segundos utilizando este desentrelazador que se ajusta a las capacidades de corrección de errores del sistema.

El segundo método para mitigar los desvanecimientos de la señal debidos al enmascaramiento y al bloqueo es la incorporación de emisores de relleno en el diseño del sistema. Dichos emisores de relleno retransmiten la señal del satélite para dar cobertura a la zona que bloquean, por ejemplo, los edificios y las construcciones grandes. Hay dos tipos de emisores de relleno en este sistema, denominados emisor de relleno de amplificación directa y emisor de relleno de conversión de frecuencia, a fin de atender a los distintos tipos de zonas bloqueadas.

En el emisor de relleno de amplificación directa únicamente se amplifica la señal en la banda de 2,6 GHz transmitida desde el satélite. Este tipo de emisor de relleno está inherentemente limitado a un amplificador de baja ganancia para evitar la oscilación no deseada debida al acoplamiento de la señal entre las antenas de transmisión y de recepción. Este emisor de relleno cubre una zona estrecha del trayecto directo en una zona de visibilidad directa de hasta 500 metros de longitud.

FIGURA 14  
Panorámica del sistema



1547-14

Por el contrario, con un emisor de relleno de conversión de frecuencia se trata de dar una cobertura a una zona grande de unos 3 km de radio. La señal de alimentación al satélite utiliza una frecuencia distinta de la de 2,6 GHz, por ejemplo en la banda de 11 GHz.

En dichas circunstancias, el desvanecimiento multitrayecto se produce en la zona en que se reciben más de dos señales de radiodifusión. En este sistema de radiodifusión, se utiliza la técnica MDC para asegurar una recepción estable de la señal con desvanecimientos multitrayecto. Cabe esperar una mejora considerable de las características del receptor en un entorno de desvanecimientos multitrayecto limitados, utilizando una técnica de receptor RAKE.

Los emisores de relleno de tipo puntual que también se presentan en la Fig. 14 pueden mejorar el entorno de desvanecimientos multitrayecto cuando la MDC y el receptor RAKE no pueden efectuar adecuadamente la decodificación sin estos emisores de relleno. Es éste un aspecto importante del sistema MDC. El emisor de relleno de tipo puntual puede utilizar la amplificación o la conversión de frecuencias para satisfacer los requisitos específicos de la zona que se ha de mejorar.

En los sistemas MDC, las diferentes entidades de radiodifusión utilizarán distintos códigos ortogonales para la dispersión de la señal, a fin de transmitir independientemente sus propios programas. La densidad de flujo de potencia (dfp) por unidad de anchura de banda es relativamente pequeña debido a que la señal MDC se dispersa en una amplia banda de frecuencias.

### 3 Capa física y modulación

La Fig. 15 muestra el diagrama de bloques básico del sistema de radiodifusión y la Fig. 16 el diagrama de bloques detallado de la parte correspondiente a la MDC de la Fig. 15. A continuación se exponen los parámetros básicos y las capacidades de codificación y modulación del canal de este sistema de radiodifusión.

FIGURA 15

Diagrama de bloques del sistema de radiodifusión

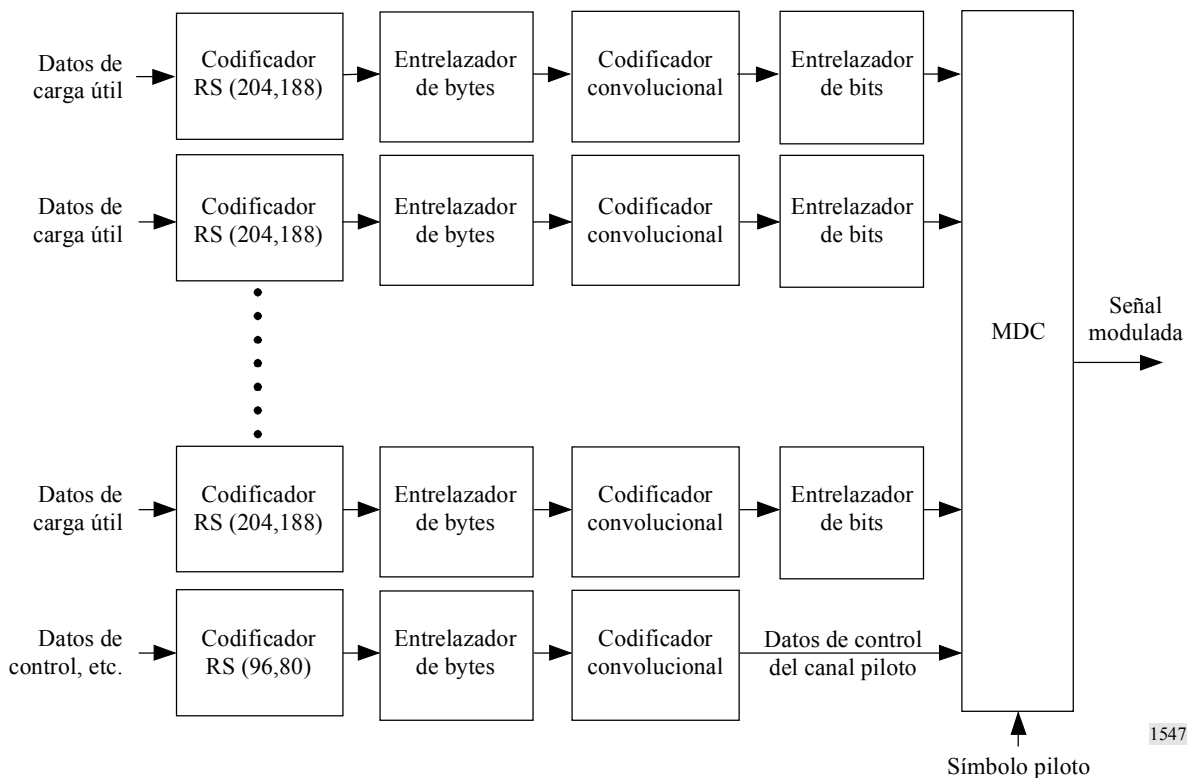
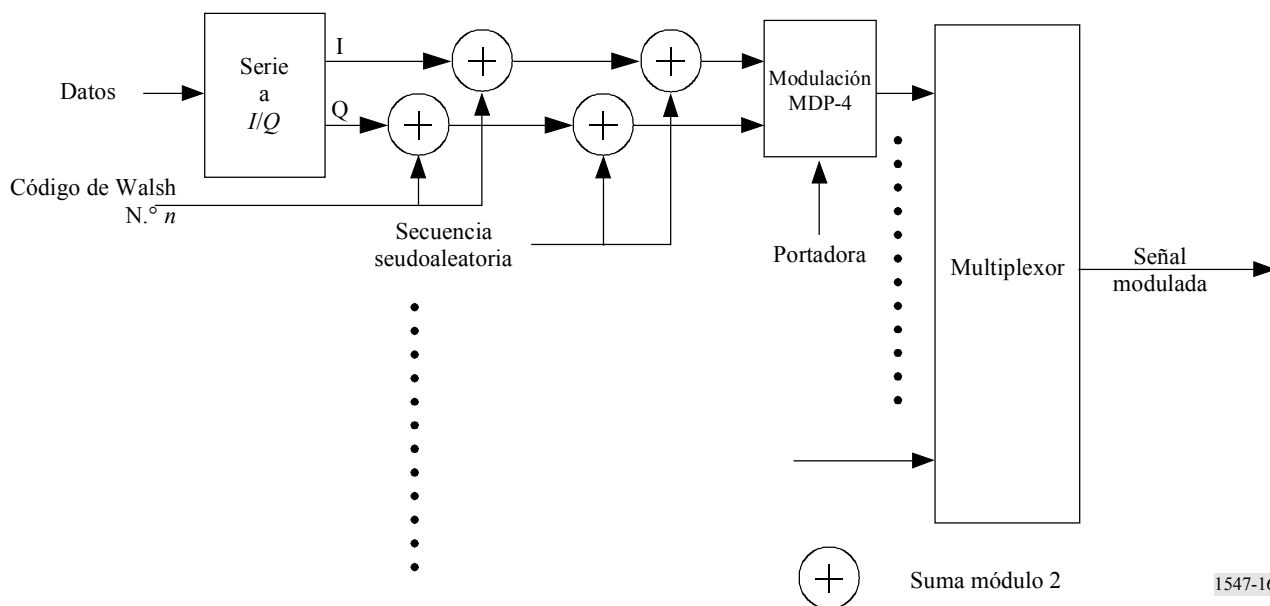




FIGURA 16

Diagrama de bloques detallado del MDC



### 3.1 Banda de frecuencias

Este sistema puede utilizarse en varias bandas de frecuencia, pero el objetivo principal se orienta a la banda 2630-2655 MHz. Como se trata de la banda de frecuencias más alta atribuida al SRS (sonora), es probable que las señales recibidas experimenten la deriva Doppler máxima.

### 3.2 Anchura de banda

La anchura de banda básica es 25 MHz.

### 3.3 Polarización

El sistema utiliza la polarización circular contrapolar, aunque un repetidor terrenal complementario puede utilizar la polarización circular o la lineal.

### 3.4 Modulación

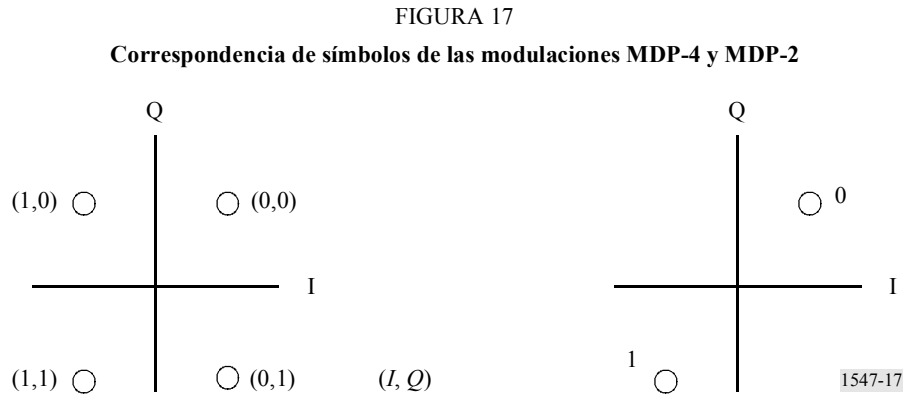
Se adopta el esquema MDC para la modulación en el enlace del satélite y en el enlace de los emisores de relleno terrenales. Tal como se representa en la Fig. 16, una secuencia de datos se convierte en primer lugar a partir de un tren binario serie en secuencias de datos I y Q. A continuación, cada una de las secuencias de datos I y Q se dispersan mediante el mismo código único de Walsh ( $N.º n$ ) y una secuencia  $M$  truncada. Estos datos de la dispersión se modulan en una señal MDP-4. Las señales moduladas, identificando cada una mediante su código de Walsh, se multiplexan entre sí en la misma banda de frecuencias.

#### 3.4.1 Modulación de la portadora

El sistema total de radiodifusión con modulación MDC está constituido por un canal piloto y varios canales de radiodifusión, tal como se representa en la Fig. 15. Un canal de radiodifusión y parte del tren de datos del canal piloto utilizan la MDP-4 para la modulación de componentes, mientras que los símbolos piloto, el símbolo de sincronismo de trama y el contador de trama, definidos en el § 4.3 que van en el tren de datos del canal piloto, se modulan utilizando la modulación por desplazamiento de fase binaria (MDP-2).

### 3.4.2 Correspondencia de símbolos

La Fig. 17 muestra la correspondencia de símbolos de MDP-4 y MDP-2. En este sistema, la señal MDP-4 se demodula utilizando la detección de fase coherente.



### 3.5 Velocidad de segmentos

La velocidad de segmentos es de 16,384 MHz y la ganancia de procesamiento es de 64.

### 3.6 Secuencia de signatura y secuencia de dispersión

Se adoptan códigos de Walsh de 64 bits de longitud y una secuencia  $M$  truncada de 2048 bits de longitud como secuencia de signatura y secuencia de dispersión, respectivamente. Esta secuencia de dispersión se obtiene truncando secuencias de longitud máxima de 4095 bits de largo que se generan utilizando una secuencia de registrador de desplazamiento con realimentación de dos etapas.

### 3.7 Dispersión de datos

Las secuencias de signatura y las de dispersión se añaden en módulo 2 a la secuencia original I y Q, tal como se representa en la Fig. 16.

### 3.8 Factor de caída

La señal transmitida se aplica a un filtro de raíz cuadrada de coseno exponencial. El factor de caída es de 0,22.

### 3.9 Número de canales MDC

Teóricamente, este sistema puede multiplexar 64 canales MDC por el hecho de adoptar un código de Walsh de 64 segmentos de longitud. En las pruebas de verificación, se multiplexaron 30 canales MDC de los 64 posibles para lograr la recepción estable en un entorno multitrayecto.

## 4 Codificación del canal

### 4.1 Codificación con corrección de errores

Se adopta un código concatenado compuesto de un código convolucional  $K=7$  como código interno y un código abreviado RS (204,188) como código externo para el esquema de protección directa de errores.

### 4.1.1 Código exterior

El código exterior es el mismo que en otros sistemas de radiodifusión digital. El código original RS (255,235) se define de la siguiente manera:

Polinomio generador del código:  $g(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1)(x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15})$ , siendo  $\lambda = 02_h$

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

El código abreviado RS puede implementarse añadiendo 51 bytes, puestos todos ellos a cero, en la cabeza de los bytes de información, a la entrada del codificador RS (255,239). Después del procedimiento de codificación RS, estos bytes nulos se descartan.

### 4.1.2 Código interior

En este sistema se adopta un código convolucional  $K = 7$  como código interior. Puede seleccionarse cualquier velocidad de código entre 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8 mediante una técnica de perforación para cada canal de radiodifusión. Estas velocidades de código se señalan utilizando datos de control del canal piloto. Para dicho canal piloto se utiliza el código convolucional de velocidad 1/2.

## 4.2 Entrelazado

Se utiliza el entrelazado convolucional de bytes entre la codificación exterior y la codificación interior. Además, después de la codificación interior se adopta el entrelazado convolucional de bits por agrupación de 3 segmentos.

### 4.2.1 Entrelazado de bytes

El entrelazado de bytes es el mismo que el de los otros sistemas de radiodifusión digital, por ejemplo, DVB-S, DVB-T, RDSI-S e RDSI-T.

### 4.2.2 Entrelazado de bits

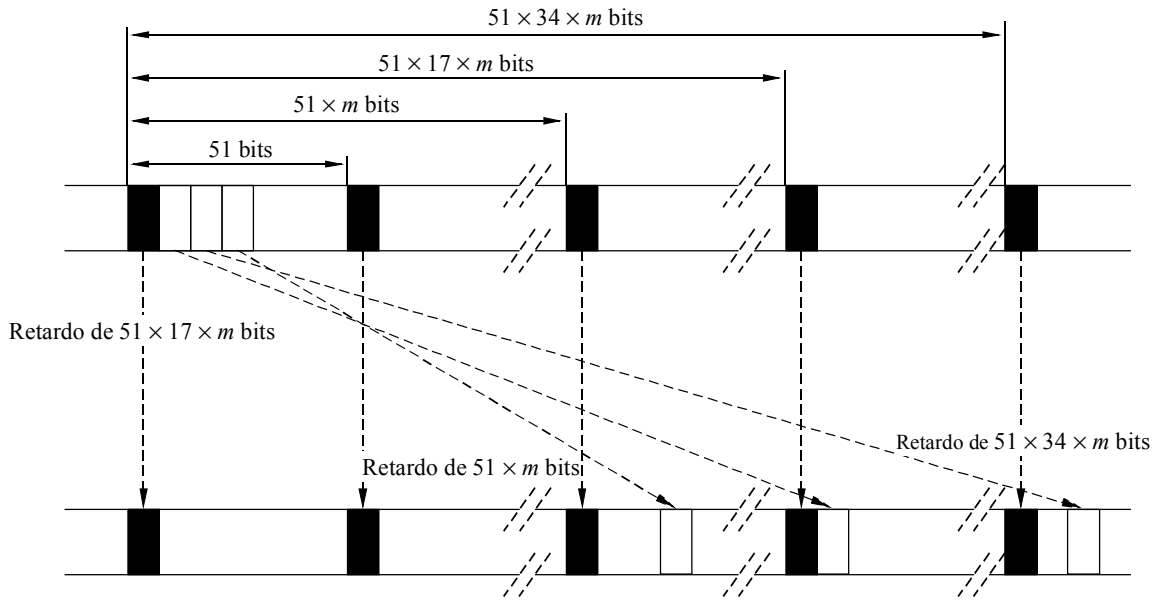
La Fig. 18 muestra el mecanismo de trabajo del entrelazador de bits y la Fig. 19 muestra también el diagrama conceptual de dicho entrelazador y del desentrelazador. El retardo temporal del entrelazador de bits puede seleccionarse entre ocho posiciones posibles que se definen en el Cuadro 3 para cada canal de radiodifusión, utilizando datos de control en el canal piloto. En las pruebas de verificación se seleccionó la posición 5; en este caso, el entrelazador de bits tenía un retardo de 3,257 s para recuperar un silencio de la señal recibida de hasta 1,2 s.

## 4.3 Canal piloto

Los datos de carga útil se transmiten por canales de radiodifusión, mientras que este sistema adopta el canal piloto para simplificar la sincronización del receptor y transmitir datos de control del sistema.

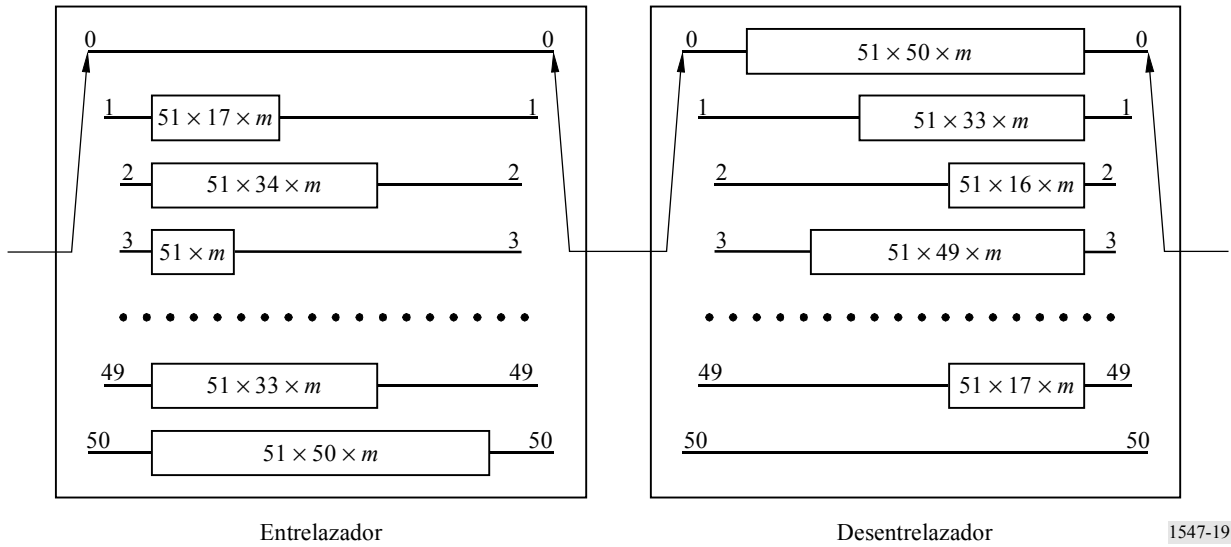
El canal piloto tiene tres funciones. La primera es transmitir la palabra única para el sincronismo de trama y el cómputo de tramas para el sincronismo de supertrama. La segunda es enviar símbolos piloto. La tercera es transmitir datos de control para facilitar las funciones del receptor.

FIGURA 18  
Entrelazador de bits



1547-18

FIGURA 19  
Diagrama conceptual del entrelazador y desentrelazador de bits



1547-19

CUADRO 3

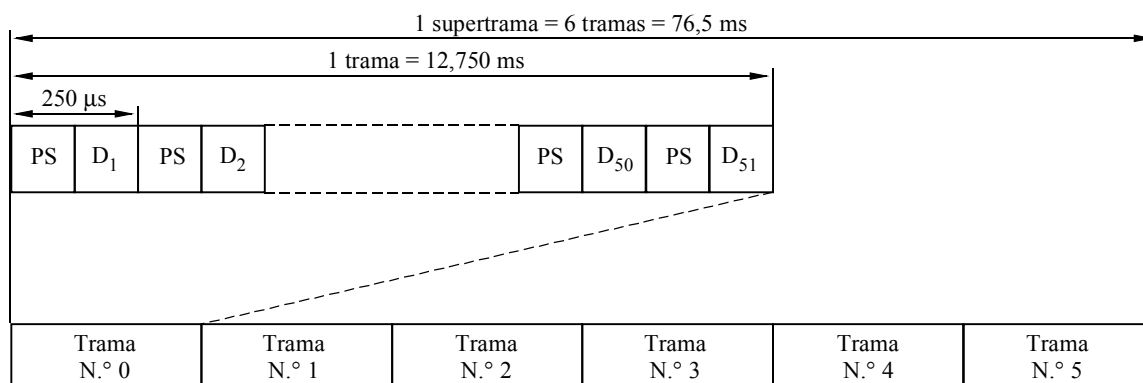
Posiciones seleccionables del tamaño del entrelazador de bits

Posición	Valor del parámetro <i>m</i>
0	0
1	53
2	109
3	218
4	436
5	654
6	981
7	1 308

### 4.3.1 Trama y supertrama

La Fig. 20 muestra la trama y la supertrama de transmisión del sistema.

FIGURA 20  
Trama y supertrama en el canal piloto



PS: símbolo piloto (32 bits)  
 D<sub>1</sub>: palabra única (32 bits)  
 D<sub>2</sub>: contador de tramas (32 bits)  
 D<sub>3</sub>-D<sub>51</sub>: datos de control, etc.

1547-20

Se inserta un símbolo piloto cada 250 μs, tal como se describe en el punto siguiente. Una trama de transmisión comprende 51 periodos de inserción de un símbolo piloto que tiene un periodo de 12,75 ms. El primer símbolo D<sub>1</sub> (4 bytes o 32 bits) distinto de los símbolos piloto es la palabra única.

Seis unidades de trama de transmisión constituyen una supertrama de transmisión, que tiene un periodo de 76,5 ms. El segundo símbolo, D<sub>2</sub> es el cómputo de tramas que ayuda al receptor a establecer el sincronismo de supertrama. Todo canal de radiodifusión con tasa de perforación arbitraria puede sincronizarse en un periodo de supertrama, porque éste es el mínimo común múltiplo de los intervalos temporales unitarios de cada canal de radiodifusión con toda posible velocidad de perforación del código convolucional.

### 4.3.2 Símbolo piloto

Los datos especiales incluidos en el canal piloto son los símbolos piloto compuestos de series de datos 1 continuas, de 32 bits de longitud. Utilizando estos símbolos piloto, el receptor puede analizar los perfiles de la señal recibida (análisis de búsqueda de trayecto) y los resultados se utilizan para ayudar a la función del receptor RAKE. Los símbolos piloto se transmiten cada 250 μs.

A fin de mejorar la precisión del análisis de búsqueda de trayecto, el canal piloto puede tener más potencia de señal que la de un canal de radiodifusión. En las pruebas de verificación, el canal piloto tenía el doble de potencia de la señal que la de un canal de radiodifusión.

## 5 Multiplexación de servicio

Se adopta la Norma ISO/CEI 13818-1 (sistemas MPEG-2) como múltiplex de servicio. Considerando la interoperabilidad máxima entre una serie de sistemas de radiodifusión digital, por ejemplo, DVB-S, DVB-T, RDSI-S e RDSI-T, este sistema puede intercambiar trenes de datos de radiodifusión con otros sistemas de radiodifusión a través de este punto de interfaz.

En este sistema pueden adoptarse algunos servicios futuros si dichos servicios de radiodifusión futuros tienen capacidades de adaptación para utilizar sistemas MPEG-2.

## 6 Codificación de la fuente

### 6.1 Codificación de audio en la fuente

Para este sistema se utiliza la técnica AAC MPEG-2 (Norma ISO/CEI 13818-7). A fin de utilizar el tren binario AAC en un entorno de sistemas MPEG-2, se adopta el tren de transporte de datos audio.

### 6.2 Codificación de los datos

Son aplicables diversos tipos de radiodifusión de datos, incluyendo la monomedio (por ejemplo, codificación de vídeo en la fuente, texto) y la multimedia (mezcla de audio, vídeo, texto y datos), siempre que estas estructuras cumplan con las características de los sistemas MPEG-2.

## 7 Ejemplo de una aplicación del Sistema digital E

### 7.1 Enlace de satélite

En este ejemplo, se supone un satélite geoestacionario con una gran antena de transmisión. La señal de enlace de conexión procede de una estación terrena que funciona en la banda de 14 GHz, mientras que el enlace de servicio (enlace descendente) va hacia la zona de servicio japonesa en la banda de 2,6 GHz. A continuación se indican las características principales del satélite.

- Frecuencia de la señal de enlace de conexión: bandas de 14 GHz
- Frecuencia del enlace descendente: 2 642,5 MHz
- Anchura de banda del enlace descendente: 25 MHz
- p.i.r.e.: más de 67 dBW (Dentro de la zona de servicio, incluyendo las pérdidas de puntería de la antena.)

#### 7.1.1 Espectro

La Fig. 21 muestra el espectro de la señal de salida de la estación de radiodifusión por satélite, en el caso de reducción de la potencia de salida en 2 dB. En este caso se simula la señal de salida utilizando un amplificador no lineal que tenga una característica de entrada/salida similar a la de un transpondedor típico de satélite.

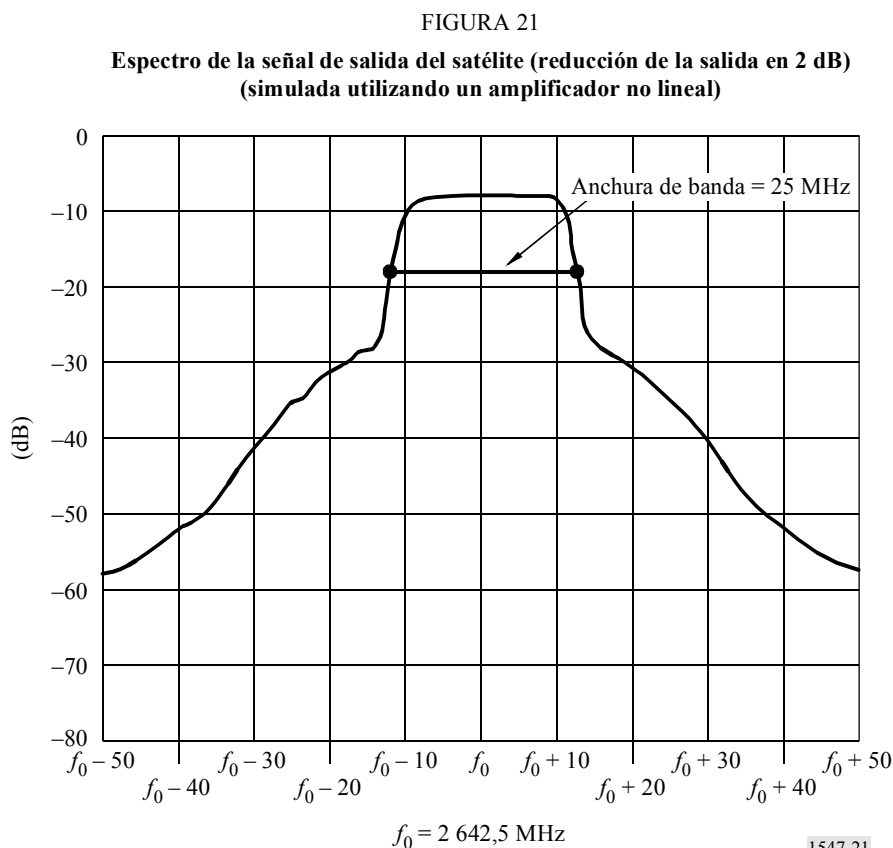
#### 7.1.2 BER y $C/N_0$ , en el entorno de ruido gaussiano blanco aditivo (AWGN, *additive white gaussian noise*)

Se midió la relación de BER en función de la  $C/N_0$  en un entorno AWGN para varios tipos de reducción de la potencia de salida y desplazamiento de frecuencia.

La Fig. 22 muestra la relación entre la BER y la  $C/N_0$  para distintos valores de reducción de la potencia de salida en un simulador de satélite. A menos que se señale lo contrario, para medir la relación entre la BER y la  $C/N_0$  que se describe en este punto se supusieron las condiciones siguientes:

- La BER se midió en el punto que sigue a la decodificación de Viterbi.
- La velocidad de codificación utilizada en la codificación convolucional fue de 1/2.

- La velocidad de datos después del decodificador de Viterbi era de 256 kbit/s.
- Se utilizó una antena de 2 ramas con diversidad.



Según la Fig. 22, cuando en el simulador de satélite se fija la reducción de la salida en el punto de funcionamiento (2 dB) la  $C/N_0$  requerida, que en este sistema se define como la  $C/N_0$  cuando la  $BER = 2 \times 10^{-4}$ , es de 56,4 dB(Hz). Como el valor teórico de la  $C/N_0$  requerida para un receptor ideal es de 54,3 dB(Hz), las pérdidas de implementación medidas son de 2,1 dB.

Cuando se fija la reducción de la potencia de salida en 1 dB por debajo del punto de funcionamiento, la  $C/N_0$  requerida aumenta en 0,1 dB. Por otro lado, cuando se fija la reducción de la potencia de salida en 1 dB por encima del punto de funcionamiento, la  $C/N_0$  se reduce en 0,1 dB. Así pues, las degradaciones de la BER debidas a esta falta de linealidad son muy pequeñas, mientras que sus degradaciones son más patentes.

La Fig. 23 muestra la relación entre la BER y la  $C/N_0$  para distintas separaciones de frecuencia en el receptor. Véase que la reducción de la potencia de salida era de 2 dB y que las demás condiciones distintas del nivel de separación de frecuencia eran las mismas que las de la Fig. 22. Según la Fig. 23, la degradación de la  $C/N_0$  requerida era de 0,3 dB en cada caso de separación de frecuencia de  $\pm 264\text{ Hz}$  ( $= \pm 1 \times 10^{-7}$  a 2 642,5 MHz), por lo que la degradación debida a una separación de frecuencia de hasta  $\pm 264\text{ Hz}$  es pequeña.

Durante estos ensayos, se observó la calidad del sonido recibido y se confirmó que no se detectaba una degradación inferior al nivel perceptible, mientras que la BER medida era inferior a  $2 \times 10^{-4}$  a la salida del decodificador de Viterbi. También se verificó la función de selección de programa y se confirmó que la función de cambio a otro programa funcionaba satisfactoriamente cuando se recibía correctamente el contenido de la radiodifusión.

FIGURA 22

Relación entre la BER y la  $C/N_0$  en un entorno AWGN para distintos niveles de reducción de la salida del transpondedor

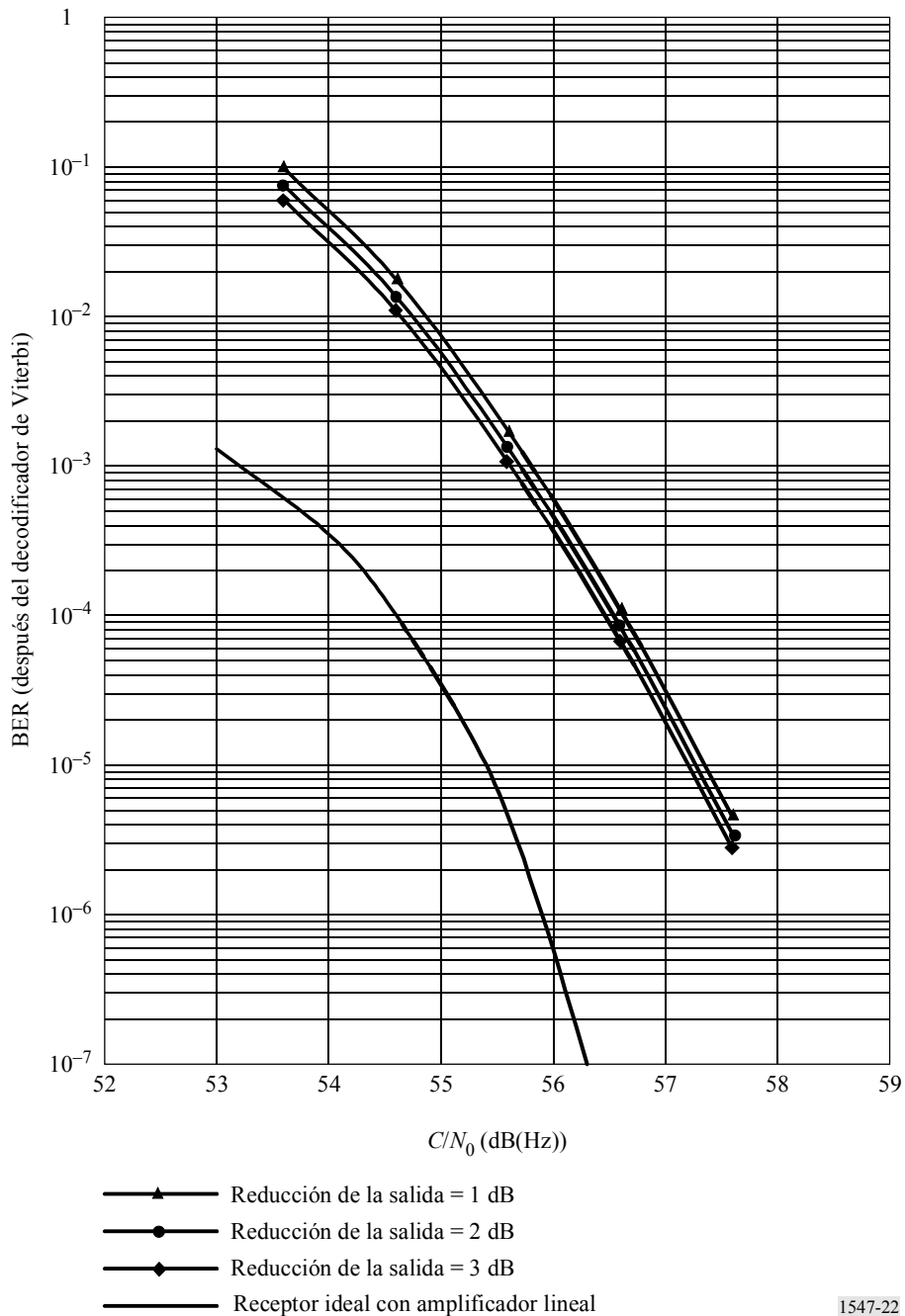
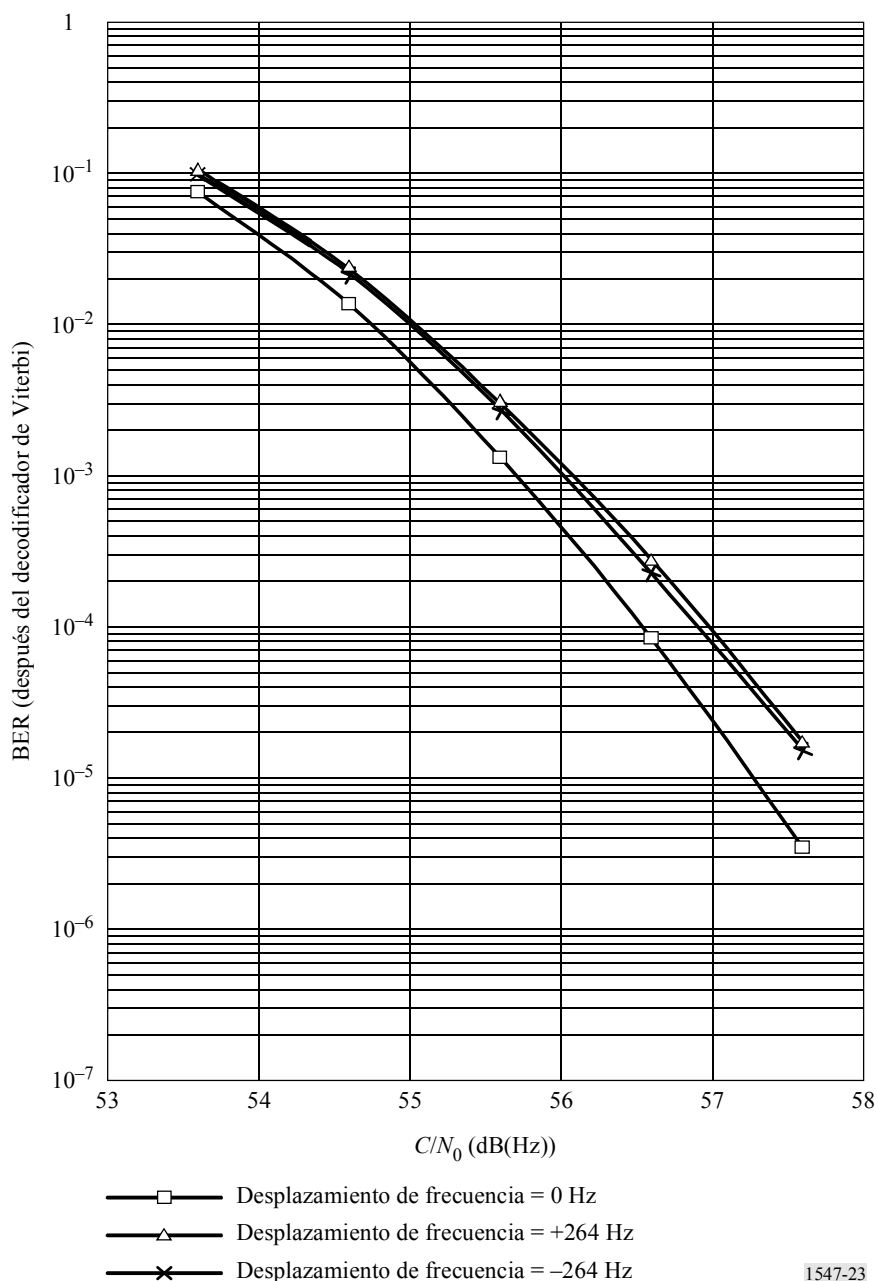




FIGURA 23

Relación entre la BER y la  $C/N_0$  en un entorno AWGN para distintos desplazamientos de frecuencia



1547-23

## 7.2 Emisor de relleno

### 7.2.1 Emisión de relleno de amplificación directa

El objetivo principal del emisor de relleno con amplificación directa es recibir la señal de radiodifusión directamente del satélite de radiodifusión para amplificarla y retransmitirla a la zona con señal bloqueada.

- Frecuencia de recepción: 2 630-2 655 MHz
- Frecuencia de transmisión: 2 630-2 655 MHz
- p.i.r.e.: 1,7 dBm
- Zona de cobertura: área con visibilidad directa hasta 500 m de la estación.

### 7.2.2 Emisor de relleno de conversión de frecuencia

Este equipo recibe señales del alimentador en las bandas de 11/12 GHz procedentes del satélite, las convierte a la banda 2,6 GHz, las amplifica hasta el nivel deseado y las transmite a la zona de señal bloqueada. A continuación se indican las características principales del equipo.

- Frecuencia de recepción: bandas de 11/12 GHz
- Frecuencia de transmisión: 2 630-2 655 MHz
- p.i.r.e.: 60,7 dBm
- Cobertura: zona circular de hasta 3 km de radio.

### 7.3 Resultados experimentales de recepción en vehículos a gran velocidad

Uno de los aspectos principales de este sistema es su capacidad para la recepción en vehículos. Durante los ensayos de verificación, se examinó minuciosamente en el laboratorio y mediante pruebas en condiciones reales la recepción en vehículos a gran velocidad. La Fig. 24 muestra la relación entre la BER y la  $C/N_0$  para ensayos de laboratorio. Sólo hay una pequeña degradación de las características de la BER para 50 km/h, 100 km/h y 150 km/h. Los ensayos en condiciones reales de recepción en vehículos a gran velocidad se efectuaron para velocidades de hasta 100 km/h en la autopista Chuo, a lo largo del lado occidental de la zona metropolitana de Tokio.

### 7.4 Modelo del receptor

A continuación se indican las características de un receptor típico de vehículos para este sistema y la Fig. 25 representa el diagrama de bloques del receptor típico de vehículo.

- Frecuencia central: 2 642,5 MHz
- Anchura de banda de la señal de entrada: 25 MHz
- Factor de calidad ( $G/T$ ): Superior a  $-21,8$  dB ( $K^{-1}$ )
- Ganancia de la antena: Superior a 2,5 dBi para la recepción del satélite  
Superior a 0 dBi para la recepción terrenal
- Factor de ruido: Inferior a 1,5 dB
- Demodulación: El símbolo piloto ayuda a la demodulación coherente y al receptor RAKE con 6 dedos
- Diversidad: Diversidad con dos antenas
- Filtro de recepción: Filtro de raíz cuadrada de coseno alzado con caída  
(El factor de caída es 22%)
- Decodificación del código convolucional: Decodificación de Viterbi flexible
- Pérdidas de realización: Inferiores a 2 dB (degradación respecto al valor teórico y  $BER = 2 \times 10^{-4}$ ).

FIGURA 24  
 Relación entre la BER y la  $C/N_0$  para recepción a gran velocidad  
 (50 km/h, 100 km/h y 150 km/h)

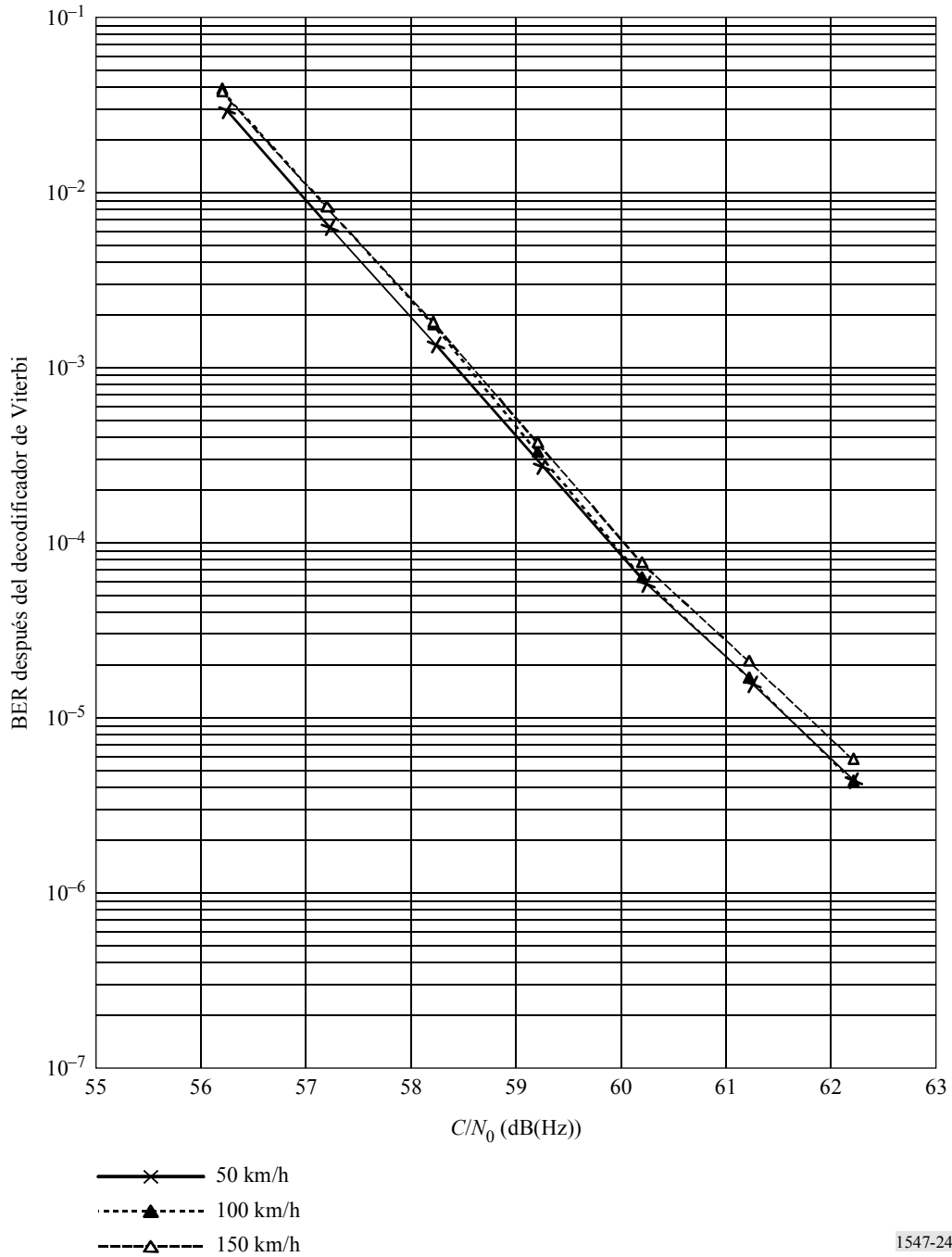


FIGURA 25  
Diagrama de bloques de un receptor típico

