

RECOMENDACIÓN UIT-R BS.1114-1

**SISTEMAS DE RADIODIFUSIÓN SONORA DIGITAL TERRENAL PARA
RECEPTORES EN VEHÍCULOS, PORTÁTILES Y FIJOS EN
LA GAMA DE FRECUENCIAS 30-3 000 MHz**

(Cuestión UIT-R 107/10)

(1994-1995)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que en todo el mundo cada vez hay más interés por la radiodifusión sonora digital terrenal para receptores de vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz para dar cobertura local, regional y nacional;
- b) que la UIT-R había ya adoptado las Recomendaciones UIT-R BS.774 y UIT-R BO.789 para indicar los requisitos necesarios de los sistemas de radiodifusión sonora digital dirigida a receptores de vehículos, portátiles y fijos en aplicaciones terrenales y de satélite, respectivamente;
- c) que las Recomendaciones UIT-R BS.774 y UIT-R BO.789 reconocen las ventajas de la utilización complementaria de los sistemas terrenales y de satélite y plantean la necesidad de un sistema de radiodifusión sonora digital que permita utilizar un receptor común con circuitos comunes de procesamiento VLSI y la fabricación de receptores de bajo coste mediante la producción a gran escala;
- d) que el sistema digital A descrito en el Anexo 1 satisface los requisitos de las Recomendaciones UIT-R BS.774 y UIT-R BO.789 y que se ha probado en condiciones reales efectuando demostraciones de él en diversos países;
- e) que se está examinando una norma de radiodifusión sonora digital por satélite para receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 1 400-2 700 MHz;
- f) que en la séptima Conferencia Mundial de Uniones de Radiodifusión (México, 27-30 de abril de 1992) la Unión Mundial de Radiodifusión resolvió unánimemente:

«1. que se tomen iniciativas para acordar una norma única mundial sobre radiodifusión sonora digital, y

2. instar a las administraciones a examinar las ventajas para el consumidor de disponer de una fuente y una codificación de canales y una realización comunes en la radiodifusión sonora digital con carácter mundial en 1,5 GHz.»;

- g) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (CAMR-92) (Málaga-Torremolinos, 1992) atribuyó la banda 1 452-1 492 MHz al servicio de radiodifusión sonora por satélite y al servicio complementario de radiodifusión terrenal para la transmisión de la radiodifusión sonora digital. Asimismo, se incluyeron atribuciones adicionales a países específicos en la banda 2 310-2 360 MHz y en la banda 2 535-2 655 MHz en las Notas 750B y 757A del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR). Además, la Resolución N.º 527 adoptada en la CAMR-92 abordaba el tema de la radiodifusión sonora digital terrenal en ondas métricas;
- h) que un proceso de normalización en Europa ha dado lugar a la adopción del sistema digital A (Eureka 147 como una Norma ETSI ETS 300 401) para el SRS/SR (sonora) dirigida a receptores en vehículos, portátiles y fijos,

recomienda

1 que el sistema digital A, descrito en el Anexo 1, se utilice para los servicios de radiodifusión sonora digital terrenal destinados a receptores en vehículos, portátiles y fijos en la gama de frecuencias 30-3 000 MHz.

NOTA 1 – La tecnología en este campo está experimentando rápidos desarrollos. De acuerdo con ello, si se desarrollan sistemas adicionales que cumplen los requisitos que aparecen en la Recomendación UIT-R BS.774, también puede recomendarse su utilización señalándolos a la atención del UIT-R. Las administraciones implicadas en los desarrollos de las normas de radiodifusión sonora digital deben hacer todos los esfuerzos necesarios para lograr la armonización, en la medida de lo posible, con otras normas de sistemas ya establecidas o actualmente en fase de elaboración. Por ejemplo, se están desarrollando sistemas de radiodifusión sonora digital que transmiten una señal digital asociada a un servicio analógico existente (normalmente transmitiendo el mismo programa) por el mismo canal o en canal adyacente.

ANEXO 1

Sistema digital A

1 Introducción

El sistema de radiodifusión sonora digital A se ha construido para proporcionar radiodifusión digital multiservicio de alta calidad destinada a receptores a bordo de vehículos, portátiles y fijos. Puede funcionar en cualquier banda de frecuencias hasta 3 000 MHz, para la distribución terrenal, por satélite, híbrida (por satélite y terrenal) y por cable. Se trata de un sistema flexible y de aplicación general de radiodifusión digital de servicios integrados, que permite una amplia gama de opciones de codificación en la fuente y del canal, datos asociados con los programas radiofónicos y servicios de datos independientes, cumpliendo los requisitos flexibles y de amplio alcance en materia de servicio y establecidos en las Recomendaciones UIT-R BO.789 y UIT-R BS.774, en la Publicación especial del UIT-R sobre Radiodifusión sonora digital terrenal y por satélite y en 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 para la radiodifusión de datos y sonido. Se utilizan técnicas digitales avanzadas para eliminar la redundancia y la información visual irrelevantes de la señal fuente; después se aplica una redundancia estrechamente controlada a la señal transmitida, para la corrección de errores. A continuación se dispersa ésta en los dominios de la frecuencia y el tiempo para obtener una señal recuperable de elevada calidad en el receptor fijo y móvil, aún en condiciones de propagación multitrajecto muy difíciles. El aprovechamiento del espectro se realiza intercalando varias señales radiofónicas y una característica especial de reutilización de frecuencias permite una ampliación casi sin límites de las redes de radiodifusión mediante la utilización de transmisores adicionales que funcionan en la misma frecuencia de emisión.

La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques conceptual de la parte de emisión del Sistema.

El sistema digital A ha sido desarrollado por el Consorcio Eureka 147 (DAB – «Digital Audio Broadcasting») y es conocido con el nombre de Sistema Eureka (DAB). Dicho sistema ha recibido el pleno apoyo de la Unión Europea de Radio y Televisión (UER) con vistas a introducir en Europa los servicios de radiodifusión sonora digital para 1995. Desde 1988 el sistema se ha venido probando con éxito en Europa, Canadá, Estados Unidos de América y en otros países de todo el mundo. En el Anexo 1 el sistema digital A se denomina «el Sistema». La especificación completa del mismo aparece como la Norma Europea de Telecomunicaciones ETS 300 401 (véase la Nota 1).

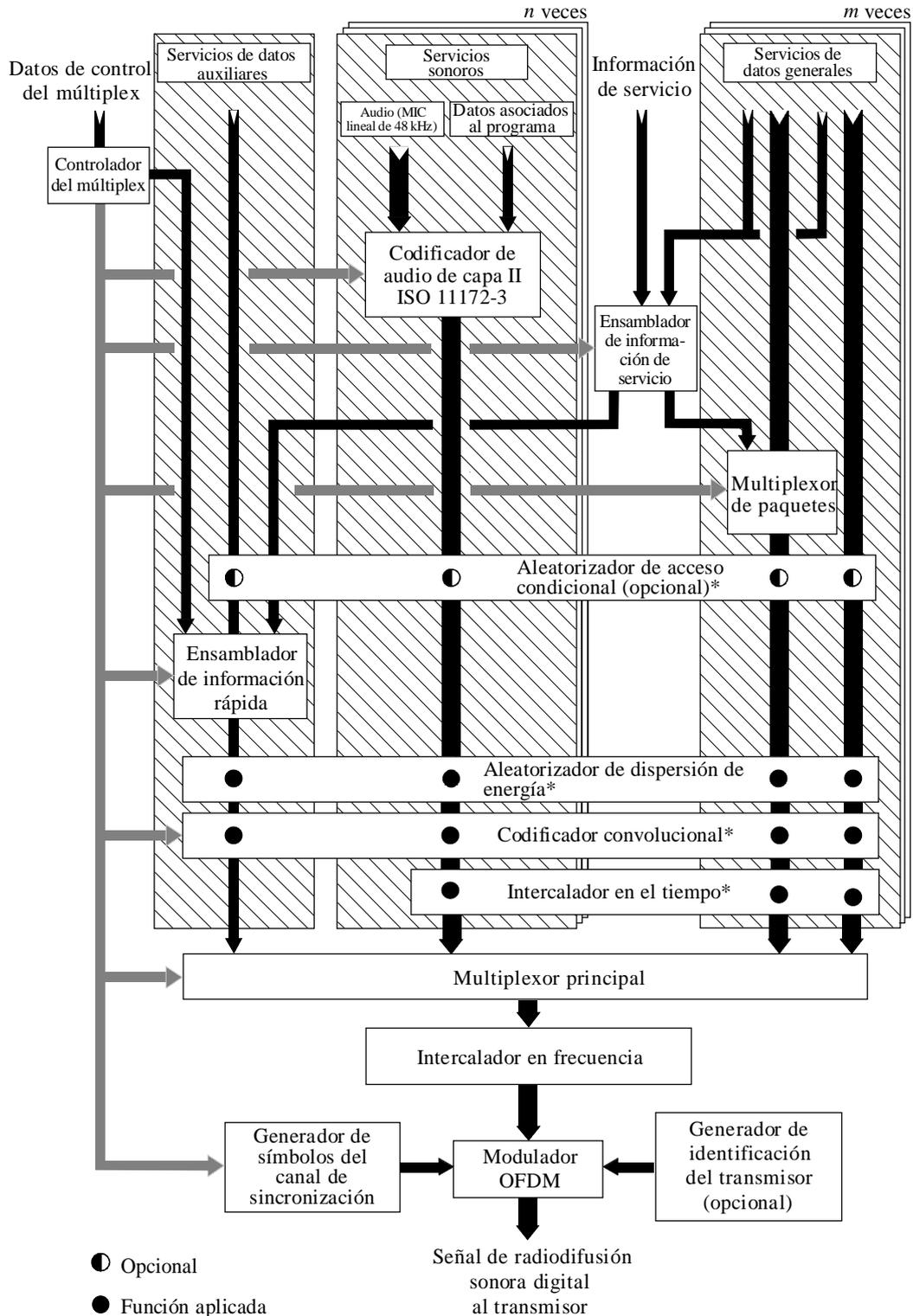
NOTA 1 – Se está considerando la conveniencia de la adición de un nuevo modo de transmisión, que llene el vacío entre los actuales Modos I y II, estimándolo como una mejora compatible con el sistema digital A para permitir una mayor separación en distancia entre los retransmisores cocanal utilizados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

2 Utilización de un modelo por capas

El Sistema es capaz de cumplir con el modelo básico de referencia de interconexión de sistemas abiertos (ISA) de la ISO que se describe en la ISO 7498 (1984). La utilización de este modelo se aconseja en la Recomendación UIT-R BT.807 y el Informe UIT-R BT.1207, figurando en la primera una interpretación adecuada para su utilización con los sistemas de radiodifusión por capas. Según estas orientaciones, el Sistema se describirá en relación con las capas del modelo y el Cuadro 1 que ilustra la interpretación aplicada en este caso.

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

FIGURA 1
Diagrama conceptual de la parte de transmisión del Sistema



CUADRO 1

Interpretación del modelo por capas ISA

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

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

3 Capa de aplicación

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

3.1 Facilidades ofrecidas por el Sistema

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

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

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

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

3.2 Calidad de audio

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

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

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

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

3.3 Modos de transmisión

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

El Cuadro 2 da el retardo de eco acumulativo y la gama nominal de frecuencias para la recepción móvil. La degradación debida al ruido a la frecuencia máxima y en la condición más crítica de propagación multitrayecto, que se produce poco frecuentemente en la práctica, es de 1 dB a 100 km/h.

CUADRO 2

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

Del Cuadro 2 puede deducirse que la utilización de frecuencias elevadas impone una mayor limitación al retardo de eco máximo. El Modo I es el más adecuado para una red terrenal con una sola frecuencia (SFN), porque permite las separaciones máximas entre transmisores. El Modo II es el más adecuado para las aplicaciones radioeléctricas locales que requieren un transmisor terrenal y para la transmisión híbrida satélite/terrenal hasta 1,5 GHz. No obstante, puede utilizarse también el Modo II para una SFN de escala mediana-grande (por ejemplo, en 1,5 GHz), insertando, si es preciso, retardos artificiales en los transmisores y utilizando antenas transmisoras directivas. El Modo III es el más adecuado para la transmisión por satélite y complementaria terrenal para todas las frecuencias hasta 3 GHz.

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

4 Capa de presentación

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

4.1 Codificación de audio en la fuente

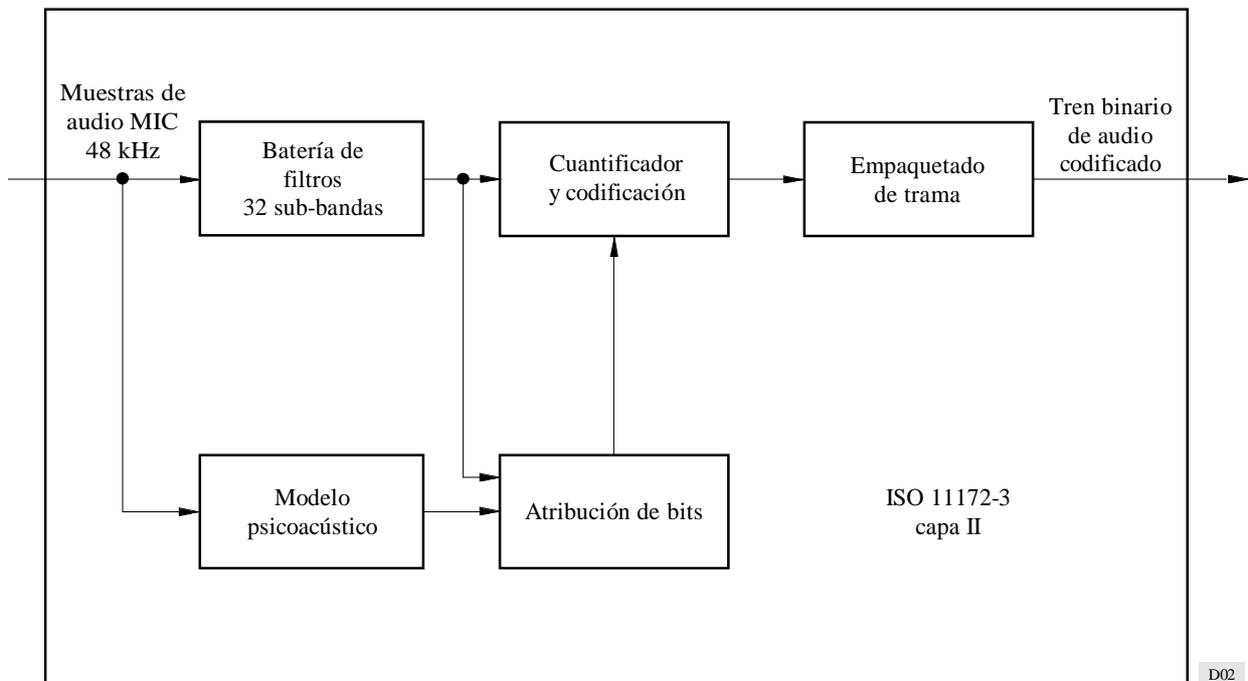
El método de codificación de audio en la fuente utilizado por el sistema es el Capa audio II-ISO/IEC MPEG, que figura en la Norma 11172-3 de la ISO. Este sistema de compresión de codificación sub-banda se conoce también como sistema MUSICAM.

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

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

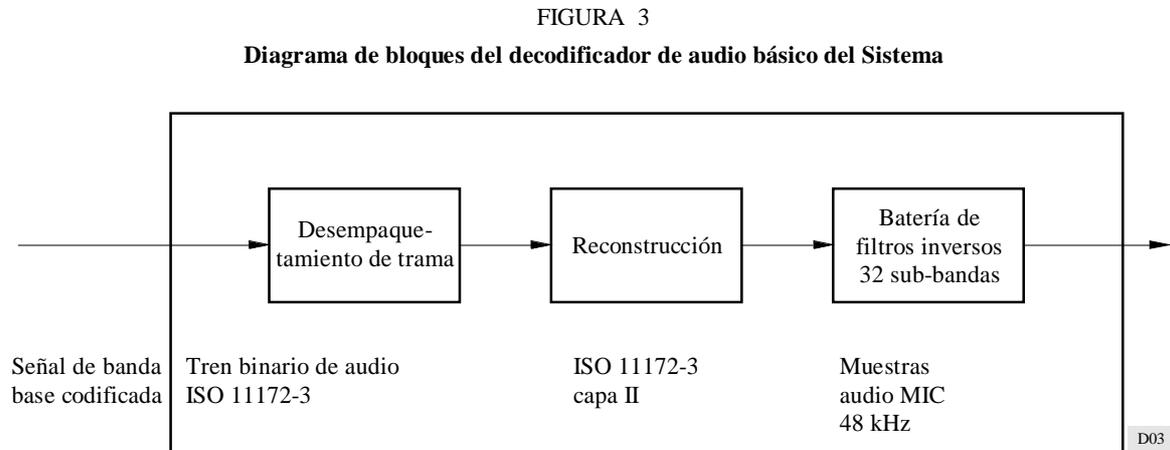
La Fig. 2 muestra un diagrama de bloques de las unidades funcionales del codificador de audio. Las muestras de audio MIC de entrada se aplican al codificador de audio. Un codificador es capaz de procesar ambos canales de una señal estereofónica, aunque puede, alternativamente, tratar una señal monofónica.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

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



4.2 Decodificación de audio

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



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

4.3 Presentación de audio

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

4.4 Presentación de la información de servicio

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

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

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

5 Capa de sesión

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

5.1 Selección de programa

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

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

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

5.2 Acceso condicional

Se proporciona la sincronización y el control de acceso condicional.

El acceso condicional puede aplicarse independientemente a las componentes del servicio (incorporado en el MSC o en el FIC), a los servicios o a todo el múltiplex.

6 Capa de transporte

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

6.1 Servicios de programas

Un servicio de programa comprende generalmente una componente del servicio de audio y, opcionalmente componentes del servicio de datos y/o de audio adicionales, proporcionados por un suministrador del servicio. Toda la capacidad del múltiplex puede estar dedicada a un suministrador del servicio (por ejemplo, difundiendo cinco o seis programas radiofónicos de alta calidad), o puede estar dividida entre varios suministradores del servicio (por ejemplo, difundiendo de forma colectiva unos veinte programas radiofónicos de calidad media).

6.2 Múltiplex de servicio principal

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

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

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

6.3 Datos auxiliares

Hay tres áreas en que pueden cursarse los datos auxiliares en el múltiplex del Sistema:

- el FIC que tiene una capacidad limitada, dependiendo del volumen de la MCI fundamental incluida,
- se prevé especialmente cursar una cantidad moderada de PAD en cada canal de audio,
- todos los datos auxiliares restantes se tratan como servicio separado en el MSC. La presencia de esta información se señala en la MCI.

6.4 Asociación de datos

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

Los PAD que van en cada canal de audio incluyen principalmente información íntimamente relacionada con el programa radiofónico y que, por tanto, no puede enviarse en un canal de datos distinto que pueda estar sometido a un retardo de transmisión diferente.

7 Capa de red

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

7.1 Tramas de audio ISO

Los procesos en el codificador en la fuente de audio se efectúan en tramas audio ISO de 24 ms de duración. La atribución de bits, que varía de una trama a otra, y los factores de escala se codifican y multiplexan con las muestras sub-banda en cada trama de audio ISO. La unidad de empaquetamiento de trama (véase la Fig. 2) ensambla el tren binario real de los datos de salida del cuantificador y la unidad de codificación, y añade otras informaciones, tales como la información de encabezamiento, palabras CRC para detección de errores y PAD que se desplazan junto con la señal de audio codificada. Cada canal de audio contiene un canal PAD con capacidad variable (generalmente 2 kbit/s como mínimo) que puede utilizarse para llevar información íntimamente relacionada con el programa radiofónico. Ejemplos típicos son los textos, la indicación conversación/música y la información de control de gama dinámica (DRC).

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

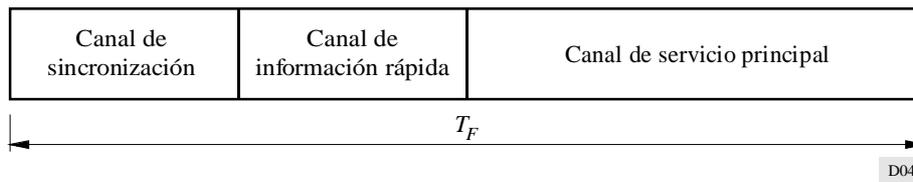
8 Capa de enlace de datos

Esta capa ofrece los medios para la sincronización del receptor.

8.1 Trama de transmisión

Para facilitar la sincronización en el receptor, la señal transmitida se forma con una estructura de trama (véase la Fig. 4). Cada trama de transmisión comprende una secuencia fija de símbolos. El primero es un símbolo nulo para la sincronización aproximada (cuando no se transmite ninguna señal RF), seguido de un símbolo de referencia para lograr una sincronización fina, el CAG, el CAF y las funciones de referencia de fase en el receptor; estos símbolos constituyen el canal de sincronización. Los símbolos siguientes se reservan para el FIC y los símbolos restantes constituyen el MSC. La duración total de la trama, T_F , es de 96 ms o 24 ms, dependiendo del modo de transmisión que se indica en el Cuadro 3.

FIGURA 4
Estructura de la trama múltiplex



CUADRO 3
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 los símbolos OFDM, T_s	1,246 ms	312 μ s	156 μ s
Inversa de la separación entre portadoras, T_u	1 ms	250 μ s	125 μ s
Duración del intervalo de guarda, Δ ($T_s = T_u + \Delta$)	246 μ s	62 μ s	31 μ s
Número de portadoras transmitidas, K	1536	384	192

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

9 Capa física

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

9.1 Dispersión de energía

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

9.2 Codificación convolucional

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

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

Los servicios de datos generales llevan codificación convolucional utilizando una velocidad seleccionada entre varias velocidades uniformes. Los datos del FIC se codifican a velocidad constante de 1/3.

9.3 Entrelazado temporal

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

9.4 Entrelazado de frecuencia

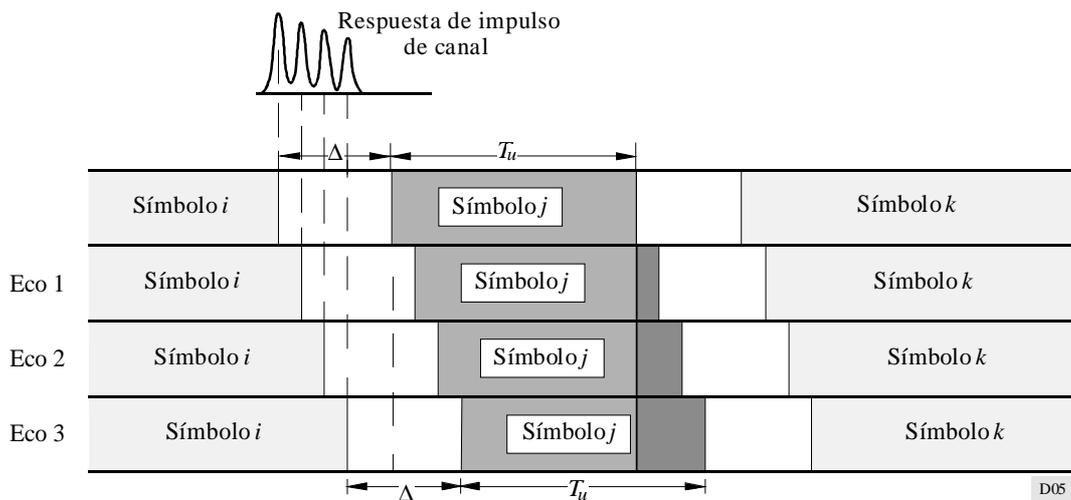
En presencia de propagación por trayectos múltiples, algunas portadoras aumentan su nivel debido a las señales constructivas y otras sufren interferencia destructiva (desvanecimiento selectivo en frecuencia). Por consiguiente, el Sistema proporciona un entrelazado de frecuencia reordenando el tren binario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

9.5 Modulación MDPD-4 OFDM

El Sistema utiliza una MDPD-4 OFDM (múltiplex por división de frecuencia ortogonal). Este esquema cumple exactamente los requisitos de la radiodifusión digital a velocidad binaria elevada destinada a receptores móviles, portátiles y fijos, especialmente en entornos de propagación por trayectos múltiples.

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

FIGURA 5
Contribución constructiva de ecos



Cuando hay propagación por trayectos múltiples, algunas de las portadoras mejoran mediante las señales constructivas, mientras que otras sufren interferencia destructiva (desvanecimientos selectivos en frecuencia). Por tanto, el Sistema incluye una redistribución de los elementos del tren binario digital en el tiempo y en la frecuencia, de forma que las muestras de fuentes sucesivas resultan afectadas por desvanecimientos independientes. Cuando el receptor es

estacionario, la diversidad en el dominio de la frecuencia es el único medio para asegurar la recepción correcta. La diversidad en el tiempo que ofrece el entrelazado temporal no ayuda en un receptor estático. Para el Sistema, la propagación por trayectos múltiples es un tipo de diversidad espacial y se considera una ventaja significativa, en contraste con los sistemas convencionales MF o digitales de banda estrecha en los que la propagación por trayectos múltiples puede destruir completamente un servicio.

En todo sistema que pueda beneficiarse de la propagación por trayectos múltiples, cuanto mayor sea la anchura de banda del canal de transmisión, más seguro será el sistema. En el Sistema, se ha elegido una anchura de banda del conjunto de 1,5 MHz para asegurar las ventajas de la técnica de banda ancha, y permitir una cierta flexibilidad en la planificación. El Cuadro 3 indica también el número de portadoras OFDM en esta anchura de banda para cada modo de transmisión.

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

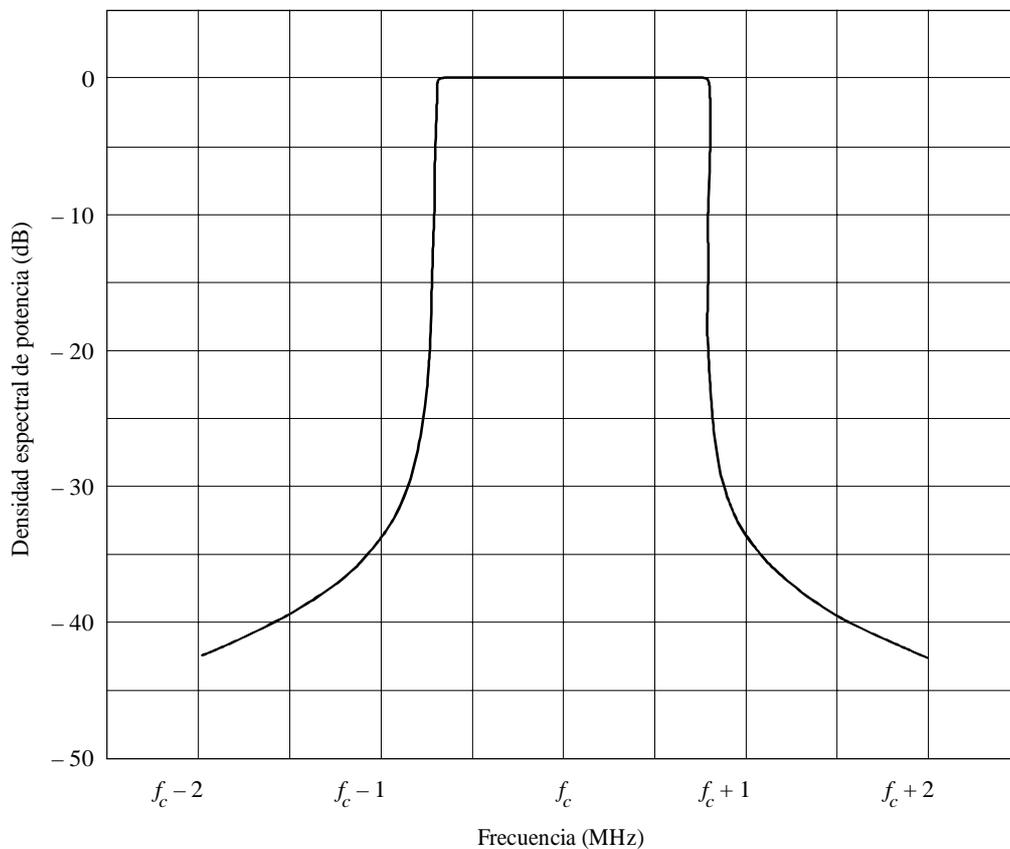
Como los ecos contribuyen a la señal recibida, todos los tipos de receptores (es decir, portátiles, domésticos y en vehículos) pueden utilizar antenas sencillas no directivas.

9.6 Espectro de la señal de transmisión del Sistema digital A

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

FIGURA 6

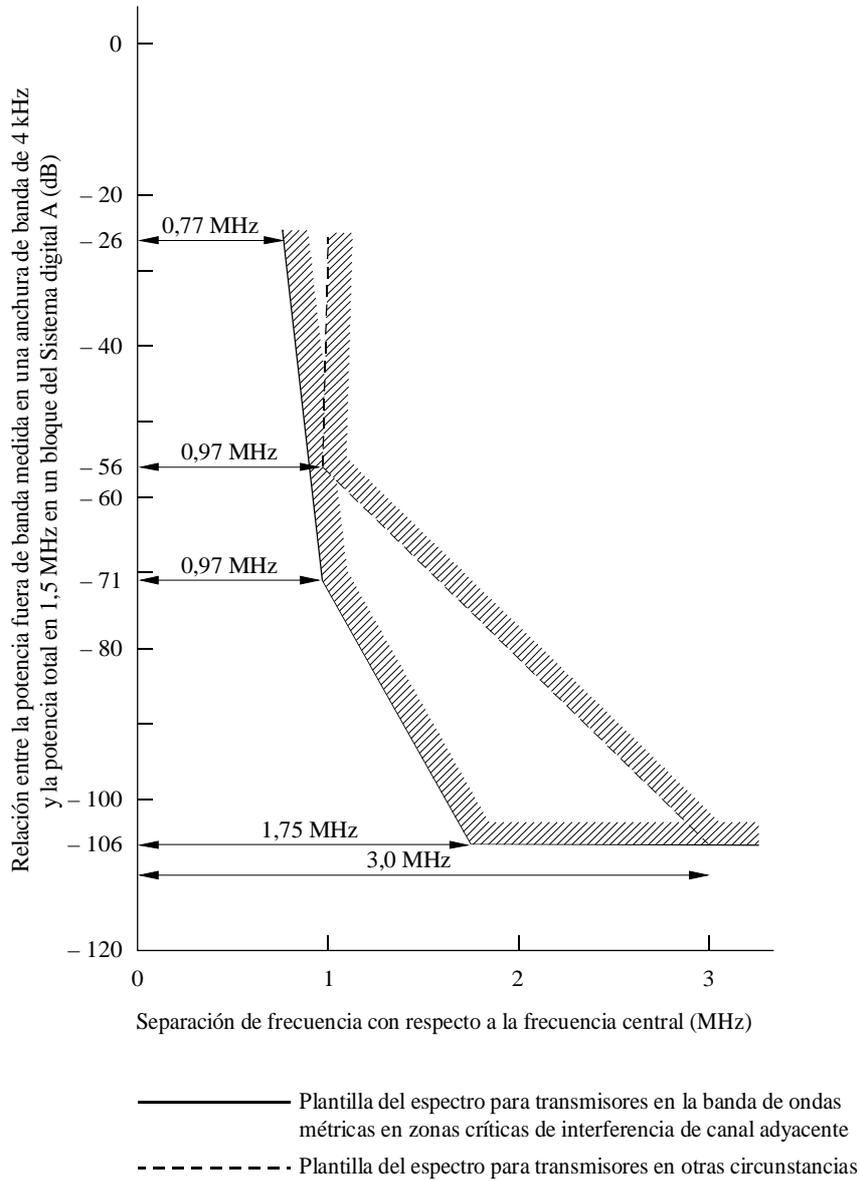
Espectro teórico de la señal de transmisión del Sistema digital A en Modo II



f_c : frecuencia central del canal

El espectro de la señal radiada fuera de banda en cualquier banda de 4 kHz debe venir limitado por una de las plantillas representadas en la Fig. 7.

FIGURA 7
Plantilla del espectro fuera de banda para una señal de transmisión del Sistema digital A (todos los modos de transmisión)



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

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

10 Características del comportamiento en radiofrecuencia del Sistema digital A

Se han realizado pruebas de evaluación en radiofrecuencia del Sistema digital A utilizando el Modo I en 226 MHz y el Modo II en 1500 MHz para una cierta variedad de condiciones que representan la recepción fija y móvil. Se han efectuado mediciones de la proporción de bits erróneos (BER) en función de la relación S/N en un canal de datos, con las siguientes condiciones:

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

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

siendo:

D : velocidad de transmisión de datos de la fuente

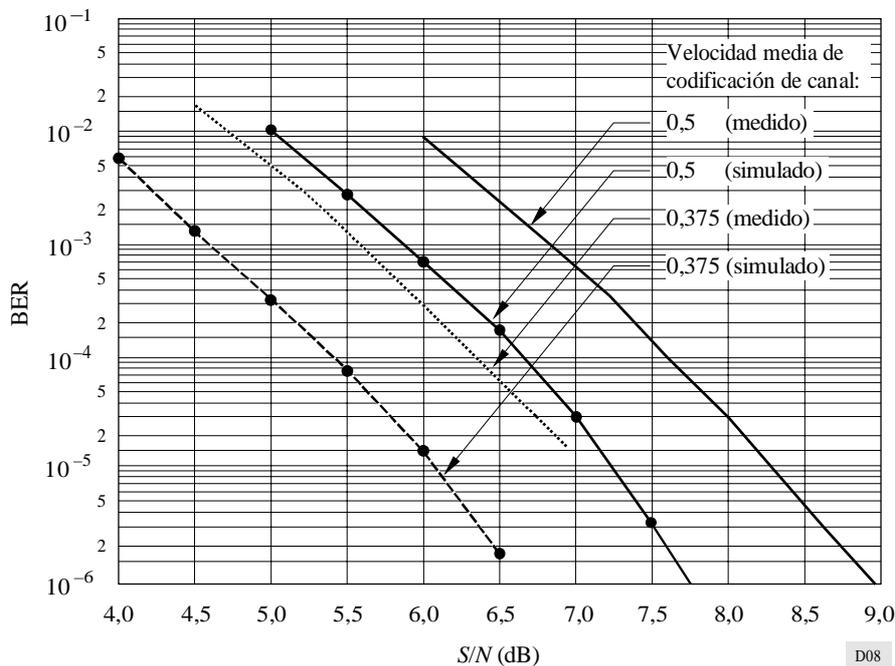
R : velocidad media de codificación de canal.

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

Para ajustar la relación S/N a la entrada del receptor se añadió ruido blanco aditivo gaussiano. Los resultados se representan en las Figs. 8 y 9. Como ejemplo, para $R = 0,5$, los resultados medidos que aparecen en la Fig. 8 pueden compararse con los obtenidos mediante una simulación por ordenador, a fin de comprobar el comportamiento inherente del sistema. Puede observarse que para una BER de 1×10^{-4} se obtiene un margen de realización inferior a 1,0 dB.

FIGURA 8

Proporción de bits erróneos en función de la relación señal/ruido para el Sistema digital A (Modo de transmisión I): canal gaussiano



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

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

Los resultados se muestran en las Figs. 10 y 11.

FIGURA 9

Proporción de bits erróneos en función de la relación señal/ruido para el Sistema digital A (Modo de transmisión II ó III): canal gaussiano

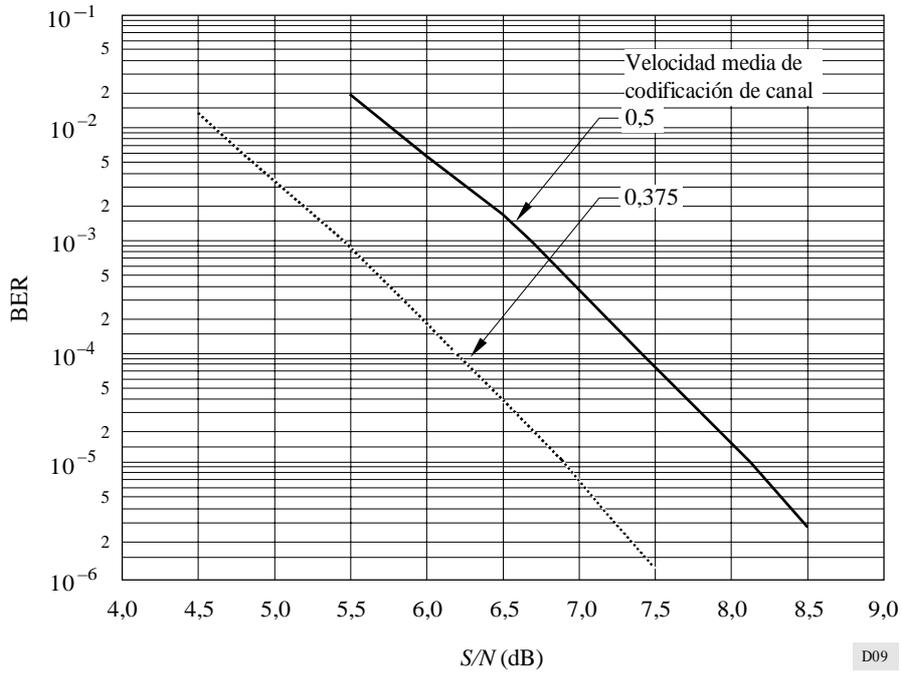


FIGURA 10

Proporción de bits erróneos en función de la relación señal/ruido para el Sistema digital A (Modo de transmisión I, 226 MHz)

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

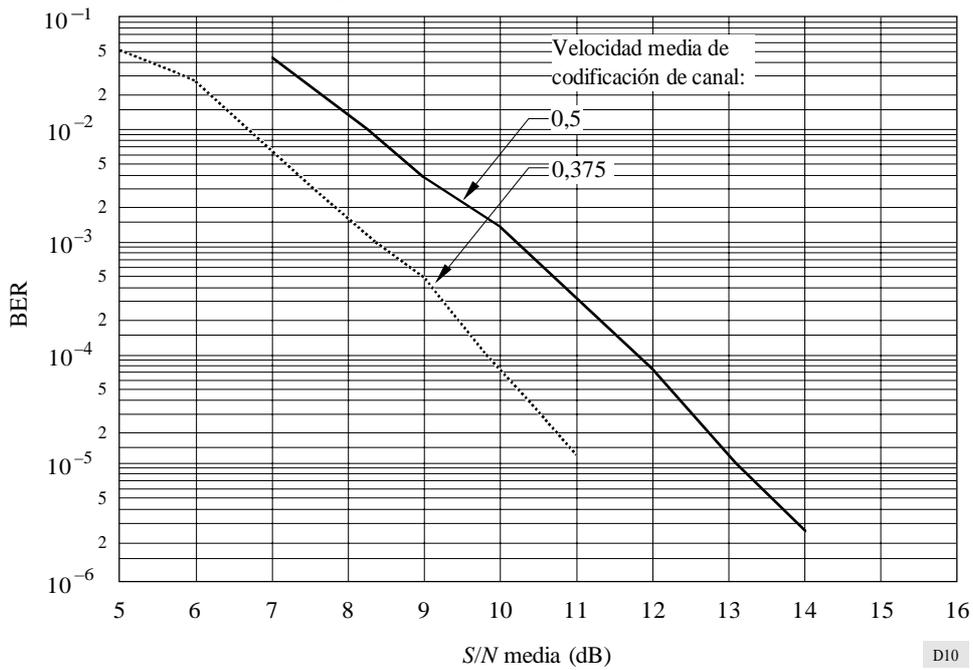
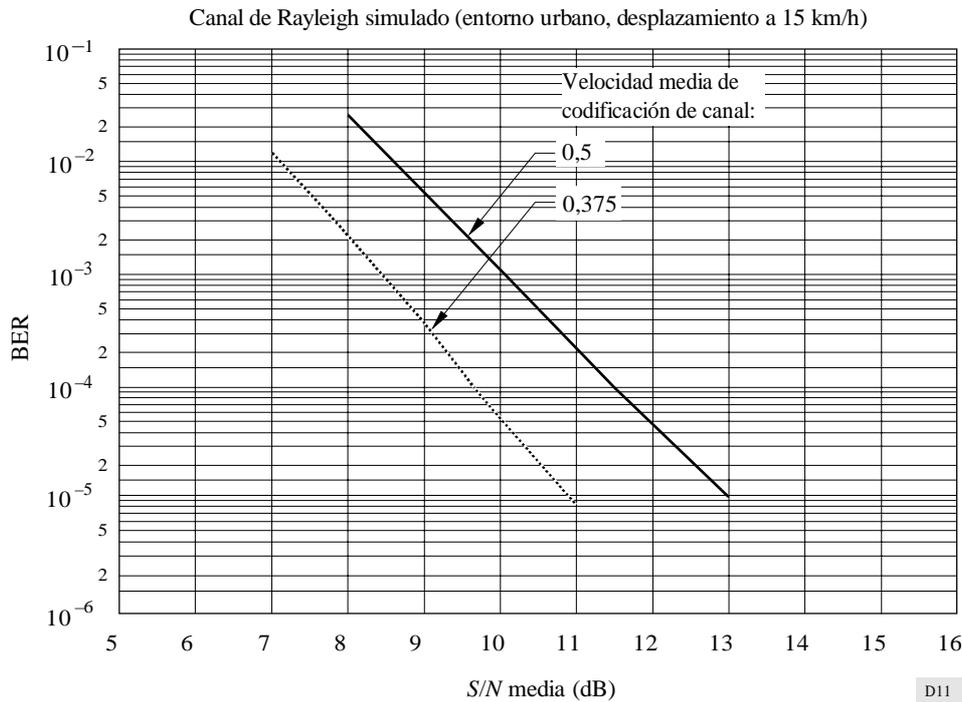


FIGURA 11

Proporción de bits erróneos en función de la relación señal/ruido para el Sistema digital A (Modo de transmisión II, 1 480 MHz)



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

Se han realizado mediciones de la BER en función de la relación S/N en los canales de datos utilizando un simulador de canal con desvanecimiento. Las simulaciones del canal de Rayleigh corresponden a la Fig. 4 en la documentación Cost 207 (zona rural, no montañosa, 0-5 μ s) y con el receptor desplazándose a una velocidad de 130 km/h. Los resultados se muestran en las Figs. 12 y 13.

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

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

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

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

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

CUADRO 4

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

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

CUADRO 5

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

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

CUADRO 6

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

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

FIGURA 12

Proporción de bits erróneos en función de la relación señal/ruido para el Sistema digital A (Modo de transmisión I, 226 MHz)

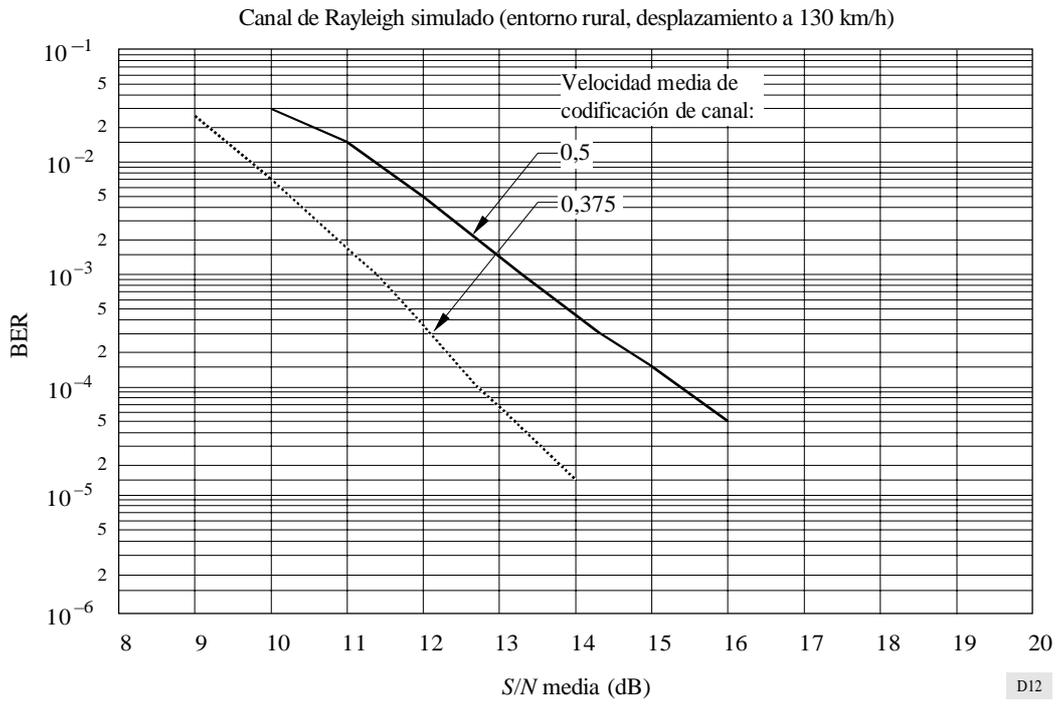
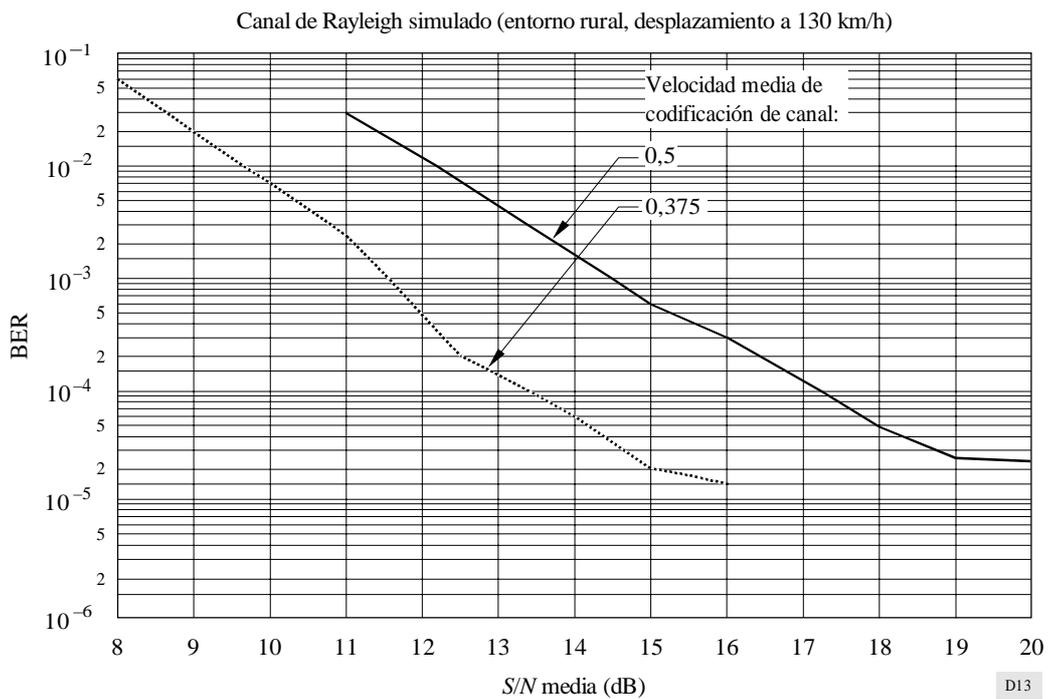


FIGURA 13

Proporción de bits erróneos en función de la relación señal/ruido para el Sistema digital A (Modo de transmisión II, 1 480 MHz)

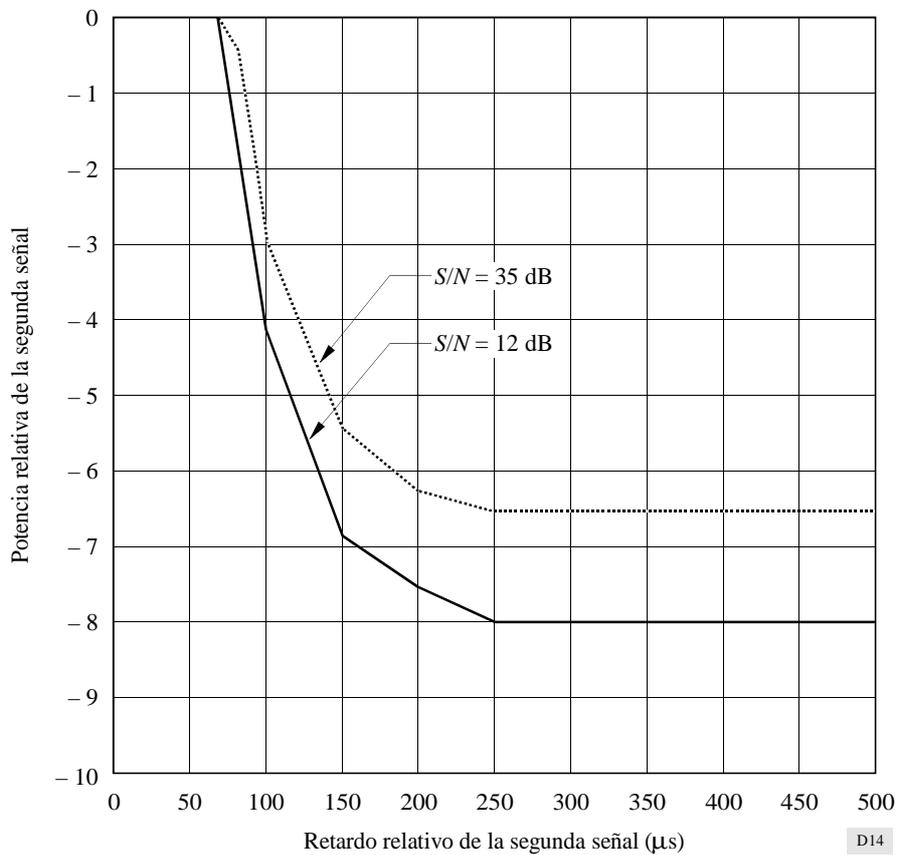


10.5 Capacidad de funcionamiento en redes de una sola frecuencia

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

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

FIGURA 14
Ejemplo de la capacidad de la red de una sola frecuencia para el Sistema digital A (Modo de transmisión II)



D14