

## RECOMENDACIÓN UIT-R BO.1211\*

**Sistemas de transmisión digital multiprograma en servicios de televisión, sonido y datos mediante satélites que funcionan en la gama de frecuencias 11/12 GHz\*\***

(Cuestión UIT-R 3/6)

(1995)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que las técnicas de codificación digital en la fuente han llegado a un nivel de madurez con el que, a las velocidades binarias adecuadas para una transmisión eficaz, se pueden obtener ventajas en términos de calidad de imagen y sonido, comparándolas con las de las técnicas analógicas convencionales;
- b) que las técnicas de multiplexación digital pueden ofrecer una mayor flexibilidad para atribuir, en forma dinámica, la velocidad de datos total asociada a cada componente de programa (vídeo, sonido y datos) con el fin de cambiar el número de programas contenidos en el mismo múltiplex y dar cabida a servicios multimedia;
- c) que las técnicas de transmisión digital pueden suponer una mejor eficacia de la utilización del espectro (las velocidades de datos comprendidas entre unos 25 y 50 Mbit/s, incluyendo la protección adecuada en cuanto a errores, pueden tener cabida, por ejemplo, en una asignación de las de la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para la radiodifusión por satélite (Ginebra, 1977) (CAMR RS-77) y una mejor eficacia de potencia, en comparación con las de las técnicas analógicas convencionales, y que pueden configurarse de forma flexible para adaptarse a los recursos específicos en cuanto a anchura de banda y potencia en los satélites;
- d) que las transmisiones digitales pueden exigir menos protección contra la interferencia que las analógicas y por tanto, gracias a esta técnica, se puede mejorar la eficacia de la utilización del espectro;
- e) que los circuitos digitales integrados a gran escala pueden suponer potencialmente una reducción de los costes de los equipos en caso de fabricación en masa;
- f) que pueden diseñarse nuevos sistemas digitales de transmisión multiprograma de televisión a utilizar en los actuales canales de satélite en las bandas de 11/12 GHz;

---

\* La Comisión de Estudio 6 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2001 de conformidad con la Resolución UIT-R 44.

\*\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 4 de Radiocomunicaciones para las aplicaciones de los satélites del servicio fijo por satélite (SFS).

g) que el UIT-R ha realizado amplios estudios con objeto de llegar a una norma mundial sobre los aspectos siguientes:

- requisitos de los sistemas de radiodifusión de televisión digital por satélite;
- concepto de radiodifusión de servicios integrados (ISDB), incluyendo el transporte de los servicios de datos y la información de servicio;
- técnicas habituales de aleatorización para acceso condicional;
- la mayor cantidad posible de elementos comunes para los distintos medios de distribución tales como el satélite, los sistemas de recepción de televisión con antenas colectivas de satélite (SMATV), los transmisores terrenales y el cable;
- posibilidad de implementar el concepto de receptor de televisión integrado universal, al servicio del gran público, con el que puedan obtenerse receptores de precio asequible en todo el mundo;
- posibilidad de una evolución futura compatible hacia la televisión de alta definición (TVAD);
- capacidad de las diversas propuestas técnicas para satisfacer los requisitos mencionados;
- simulaciones por ordenador, así como evaluaciones a nivel de laboratorio y en condiciones reales, de los diversos enfoques del sistema,

*considerando además*

h) que los servicios digitales multiprograma por satélite ya se han iniciado en algunos países y que en otros se ha previsto su explotación a partir de 1995;

j) que los sistemas digitales de transmisión multiprograma de televisión se están desarrollando actualmente en muchas partes del mundo; diversas administraciones de países no europeos están aún estudiando y considerando una decisión respecto a la adopción de normas pertinentes y presentando contribuciones al UIT-R;

k) que más de 150 entidades, incluyendo fabricantes de equipos, sociedades de radiodifusión, operadores de red y administraciones, han firmado un memorando de entendimiento (MoU) para el desarrollo de servicios armonizados de radiodifusión digital de vídeo (DVB) en Europa;

l) que el proyecto DVB ha desembocado en una propuesta de un sistema común para las transmisiones por satélite en la gama de frecuencias 11/12 GHz (denominado sistema DVB-S) que constituye una norma de telecomunicación europea (ETS);

m) que el sistema DVB-S comprende los componentes siguientes, actualmente en desarrollo para la implementación de receptores de consumidor a partir de 1995:

- sistema de codificación de imagen y sonido, multiplexación de transporte y servicio conforme al proyecto de Norma Internacional ISO/CEI 13818;
- sistema de transporte de servicio de datos y aleatorización común e interfaces comunes con el equipo exterior;

n) que el sistema DVB-S tiene el número máximo de elementos comunes (incluyendo la codificación en la fuente, la multiplexación y la codificación exterior Reed-Solomon) con el sistema DVB-C cuya distribución se ha propuesto efectuar por cable, con el sistema DVB-CS cuya distribución se ha propuesto mediante sistemas SMATV y con el sistema DVB-T que se está desarrollando para la radiodifusión terrenal,

*recomienda*

**1** que se considere la estructura de trama, la codificación del canal y los métodos de modulación DVB-S especificados en el Anexo 1 para llegar a una norma mundial que sirva de introducción de los sistemas digitales multiprograma de televisión desde satélites con funcionamiento en la gama de frecuencias de enlace descendente de 11/12 GHz.

NOTA 1 – En respuesta a esta Recomendación, se ha nombrado a un Relator Especial encargado de la elaboración de una norma mundial para los sistemas de transmisión digital multiprograma en servicios de televisión, sonido y datos mediante satélites que funcionan en la gama de frecuencias 11/12 GHz. Este Relator Especial estudiará el sistema DVB-S junto a otros sistemas actuales de transmisión digital multiprograma por satélite con objeto de llegar a una norma de ámbito mundial.

## ANEXO 1

**Sistema de radiodifusión digital para servicios de televisión, sonido  
y datos – Estructura de trama, codificación de canal y modulación  
para servicios por satélite en la banda 11/12 GHz**

Norma ETS – ETS 300421

## ÍNDICE

	<i>Página</i>
1 Alcance .....	4
2 Referencias normativas.....	5
3 Símbolos y abreviaturas.....	5
3.1 Símbolos.....	5
3.2 Abreviaturas .....	6
4 Sistema de transmisión .....	7
4.1 Definición del Sistema .....	7
4.2 Adaptación a las características del transpondedor de satélite.....	8
4.3 Interfaces.....	8
4.4 Codificación de canal.....	8
4.4.1 Adaptación del múltiplex de transporte y aleatorización para la dispersión de energía .....	8
4.4.2 Codificación exterior (RS), entrelazado y organización por tramas ....	9
4.4.3 Codificación interior (convolucional) .....	11
4.5 Conformación en banda base y modulación .....	12
5 Requisitos de la característica de error .....	13

Apéndice 1 (Normativo) – Espectro de la señal a la salida del modulador.....	14
Apéndice 2 (Informativo) – Descripción conceptual del Sistema.....	16
Apéndice 3 (Informativo) – Ejemplos de velocidades binarias en función de la anchura de banda del transpondedor.....	18
Apéndice 4 (Informativo) – Ejemplos de posible utilización del Sistema .....	21

## **1 Alcance**

Este proyecto de norma de telecomunicación europea (ETS) describe el sistema de modulación y codificación de canal (denominado el «Sistema» a efectos de la presente ETS) para servicios digitales multiprograma por satélite de televisión (TV)/televisión de alta definición (TVAD) para distribución primaria y secundaria en las bandas del servicio fijo por satélite (SFS) y del servicio de radiodifusión por satélite (SRS). El Sistema tiene por objeto ofrecer un servicio directo a los hogares (DTH) para decodificadores del receptor integrados (IRD) de usuario así como para sistemas de antenas colectivas (recepción de televisión con antenas colectivas de satélite (SMATV)) y estaciones de cabecera-terminales de televisión por cable, con posibilidad de remodulación (véase [1]).

El Sistema utiliza modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (MDPQ) y una estrategia de protección contra errores concatenados basada en un código convolucional y en un código Reed-Solomon (RS) abreviado.

El Sistema puede utilizarse con distintas anchuras de banda del transpondedor de satélite.

Se proporciona compatibilidad con los servicios de televisión con codificación MPEG-2 [2], con estructura de transmisión síncrona con el múltiplex de paquetes. La explotación de la flexibilidad del múltiplex permite el empleo de la capacidad de transmisión para diversas configuraciones de servicio de TV, incluidos los servicios de sonido y datos. Todos los componentes del servicio se multiplexan por división en el tiempo (MDT) en una sola portadora digital.

El alcance de este proyecto de norma ETS es el siguiente:

- ofrece una descripción general del Sistema para la transmisión de televisión digital por satélite;
- especifica la señal con modulación digital para permitir la compatibilidad entre piezas de equipos desarrollados por distintos fabricantes. Esto se logra describiendo con detalle los principios de procesamiento de la señal en el lado del modulador mientras que el procesamiento en el lado del receptor se deja abierto para poder adoptar distintas soluciones de realización. Sin embargo, es necesario que este proyecto de norma ETS haga referencia a algunos aspectos de la recepción;
- identifica los requisitos generales de calidad de funcionamiento y las características del Sistema a fin de que cumpla los objetivos de calidad de servicio.

## 2 Referencias normativas

Esta norma ETS incorpora disposiciones procedentes de otras publicaciones, mediante referencias fechadas y sin fecha. Estas referencias normativas se citan en los lugares adecuados del texto y las publicaciones se indican a continuación. Para las referencias con fecha, las modificaciones o revisiones posteriores a cualquiera de estas publicaciones se aplican a la presente norma ETS únicamente cuando se incorporen a ella mediante modificación o revisión. En el caso de referencias sin fecha siempre se aplica la última edición de la publicación.

- [1] DTVB 1110/GT V4/MOD 252/ DTVC 18, 7ª edición revisada, enero de 1994: «Baseline modulation/channel coding system for digital multi-programme television by satellite» (Contribución de V4/MOD-B).
- [2] ISO/IEC DIS 13818-1 [junio de 1994]: «Coding of moving pictures and associated audio».
- [3] Forney, G.D. IEEE Trans. Comm. Tech., COM-19, págs. 772-781, octubre de 1971: «Burst-correcting codes for the classic bursty channel».
- [4] Intelsat Earth Station Standards (IESS) N° 308, revisión 6 (26 de octubre de 1990): «Performance characteristics for immediate data rate (IDR) digital carriers».

## 3 Símbolos y abreviaturas

### 3.1 Símbolos

En esta norma ETS, se utilizan los siguientes símbolos:

- $\alpha$ : factor de corte
- $C/N$ : relación señal/ruido
- $d_{libre}$ : distancia libre del código convolucional
- $E_b/N_0$ : relación entre la energía por bit útil y el doble de la densidad espectral de potencia de ruido
- $f_N$ : frecuencia de Nyquist
- $G_1, G_2$ : generadores del código convolucional
- $g(x)$ : polinomio generador del código RS
- $I$ : profundidad de entrelazado (bytes)
- $I, Q$ : componentes en fase, en cuadratura de la señal modulada
- $j$ : índice de derivación del entrelazador
- $K$ : longitud de limitación del código convolucional
- $M$ : profundidad de derivación del entrelazador convolucional para  $j = 1$ ,  $M = N/I$
- $N$ : longitud de trama protegida contra errores (bytes)
- $p(x)$ : polinomio generador del campo RS
- $r_m$ : rizado en banda (dB)
- $R_s$ : velocidad de símbolos correspondiente a la anchura de banda Nyquist bilateral de la señal modulada
- $R_u$ : velocidad binaria útil tras el multiplexor de transporte MPEG-2 [2]
- $R'_u$ : velocidad binaria tras el codificador exterior RS
- $T$ : número de bytes que pueden corregirse en el paquete protegido contra errores RS
- $T_s$ : periodo de símbolo
- $X, Y$ : tren de dibits tras la codificación convolucional de índice 1/2

### 3.2 Abreviaturas

En la presente norma ETS se utilizan las siguientes abreviaturas:

ATOP:	Amplificador por tubo de ondas progresivas
AWGN:	Ruido blanco gaussiano aditivo (additive white Gaussian noise)
BB:	Banda base
BER:	Proporción de bits erróneos
BW:	Anchura de banda
DTH:	Directo a los hogares (direct to home)
ETS:	Norma de telecomunicación europea (European Telecommunication Standard)
FEC:	Corrección de errores en recepción
FI:	Frecuencia intermedia
FIFO:	Registro de desplazamiento «primero en entrar, primero en salir» (first-in, first-out)
FIR:	Respuesta a impulso finita (finite impulse response)
hex:	Notación hexadecimal
IMUX:	Filtro multiplexor de entrada
IRD:	Decodificador del receptor integrado (integrated receiver decoder)
JDP:	Jerarquía digital plesiócrona
MDF:	Múltiplex por división en frecuencia
MDP:	Modulación por desplazamiento de fase
MDP-4:	MDP cuaternaria
MDT:	Múltiplex por división en el tiempo
MPEG:	Grupo de expertos sobre imágenes en movimiento (Moving Pictures Experts Group)
MSB:	Bit más significativo
MUX:	Múltiplex
OBO:	Reducción de la potencia de salida (output back off)
oct:	Notación octal
OMUX:	Filtro multiplexor de salida
P:	Perforación
PRBS:	Secuencia binaria pseudoaleatoria (pseudo random binary sequence)
QEF:	Casi sin error (quasi-error-free)
R:	Secuencia aleatorizada
RF:	Radiofrecuencia
RS:	Reed-Solomon
SFS:	Servicio fijo por satélite
SMATV:	Sistema de recepción de televisión con antenas colectivas de satélite (satellite master antenna television)
SRS:	Servicio de radiodifusión por satélite
TV:	Televisión
TVAD:	Televisión de alta definición
UER:	Unión Europea de Radio y Televisión
UIT:	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIT-T:	Sector de Normalización de las Telecomunicaciones

## 4 Sistema de transmisión

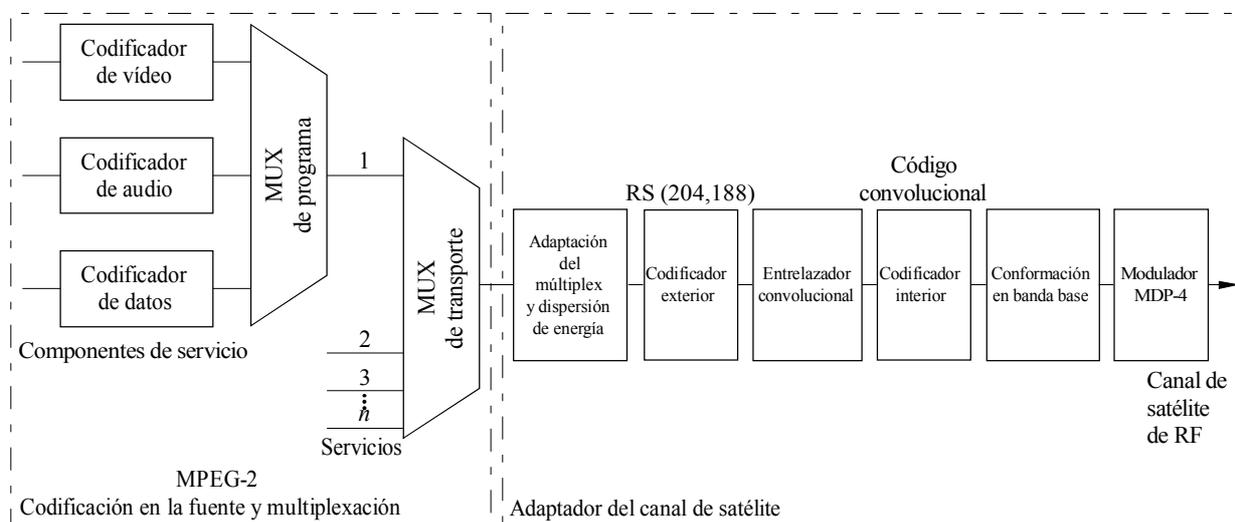
### 4.1 Definición del Sistema

El Sistema se define como el bloque funcional de equipos que realizan la adaptación de las señales de televisión en banda base desde la salida del multiplexador de transporte MPEG-2 [2] a las características del canal de satélite. Los siguientes procesos se aplicarán al tren de datos (véase la Fig. 1):

- adaptación del múltiplex de transporte y aleatorización para la dispersión de energía,
- codificación exterior (es decir, RS);
- entrelazado convolucional;
- codificación interior (es decir, código convolucional perforado);
- conformación en banda base para la modulación;
- modulación

La descripción funcional del Sistema figura en el Apéndice 2.

FIGURA 1  
Diagrama de bloques funcional del Sistema



D01

Los servicios DTH por satélite resultan especialmente afectados por las limitaciones de potencia; por consiguiente, la robustez frente al ruido y la interferencia debe ser el principal objetivo de diseño con prioridad sobre la eficacia en la utilización del espectro. Para lograr una eficacia de alta potencia sin penalizar de forma excesiva la eficacia en la utilización del espectro, el Sistema deberá utilizar MDP-4 y concatenación de códigos convolucionales y RS. El código convolucional puede configurarse de manera flexible, lo que permite la optimización del comportamiento del sistema para una anchura de banda del transpondedor de satélite concreto (véase el Apéndice 3).

Aunque el Sistema se optimiza para una sola portadora por transpondedor con múltiplex por división en el tiempo (MDT), puede utilizarse para aplicaciones del tipo multiportadora con múltiplex por división en frecuencia (MDF).

El Sistema es directamente compatible con las señales de televisión con codificación MPEG-2 [2]. La trama de transmisión del módem es síncrona con los paquetes de transporte múltiplex MPEG-2.

Si la señal recibida se encuentra por encima del umbral de  $C/N$  y  $C/I$ , las técnicas de FEC adoptadas en el Sistema se diseñan para ofrecer un objetivo de calidad QEF. Ello significa que se produce menos de un error sin corregir por cada hora de transmisión, lo que corresponde a una BER entre  $1 \times 10^{-10}$  y  $1 \times 10^{-11}$  a la entrada del demultiplexor MPEG-2.

## 4.2 Adaptación a las características del transpondedor de satélite

Las transmisiones de los servicios de televisión digital multiprograma utilizarán satélites en las bandas del SFS y del SRS. La elección de la anchura de banda del transpondedor es función del satélite utilizado y de las velocidades de datos requeridas por el servicio.

La velocidad de símbolos deberá adaptarse a las características del transpondedor en concreto. En el Apéndice 3 aparecen ejemplos basados en simulaciones por ordenador para una cadena ficticia de satélites, sin incluir los efectos de la interferencia.

## 4.3 Interfaces

El Sistema, definido en este proyecto de norma ETS, estará delimitado por las interfaces que figuran en el Cuadro 1.

CUADRO 1

### Interfaces del Sistema

Emplazamiento	Interfaz	Tipo de interfaz	Conexión
Estación de transmisión	Entrada	Múltiplex de transporte MPEG-2 [2]	Del multiplexor MPEG-2
	Salida	FI de 70/140 MHz	A los dispositivos de RF
Instalación de recepción	Salida	Múltiplex de transporte MPEG-2	Al demultiplexor MPEG-2
	Entrada	Debe definirse	De los dispositivos de RF (unidad interna)

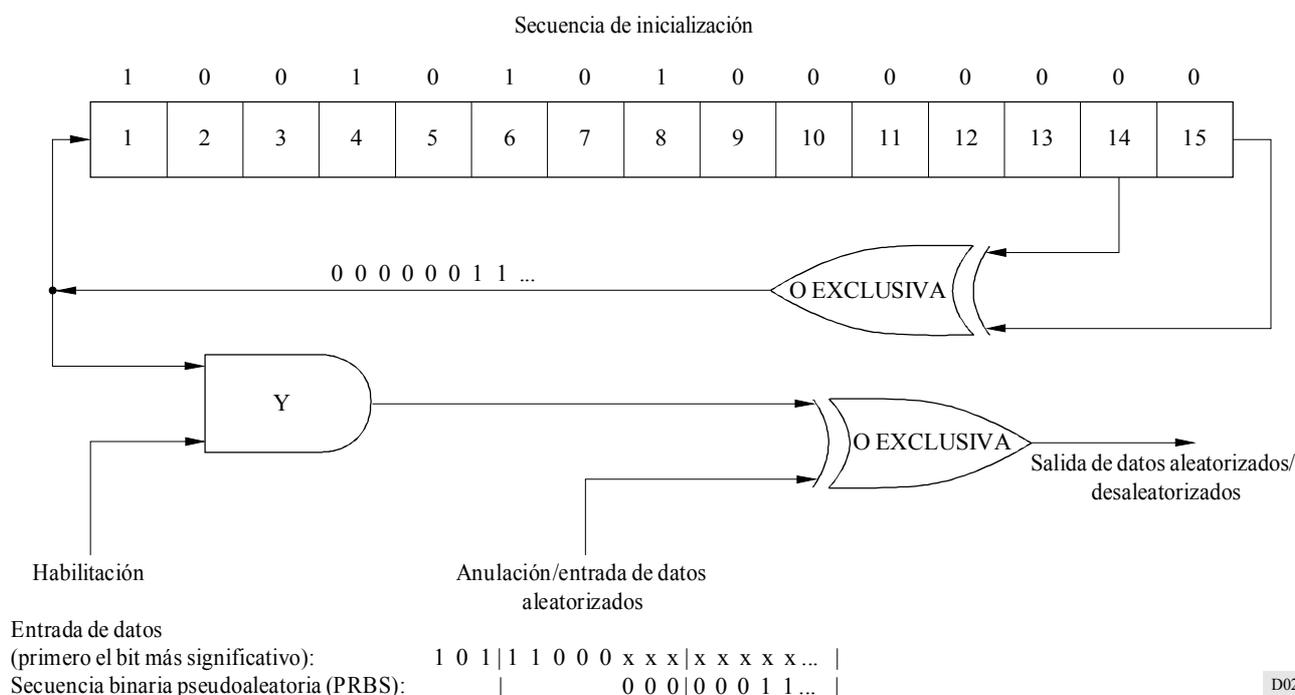
## 4.4 Codificación de canal

### 4.4.1 Adaptación del múltiplex de transporte y aleatorización para la dispersión de energía

El tren de entrada del Sistema se organizará en paquetes de longitud fija (véase la Fig. 3), según el multiplexor de transporte MPEG-2 [2]. La longitud total del paquete del múltiplex de transporte (MUX) MPEG-2 es de 188 bytes, incluyendo un byte de sincronismo de palabra, (es decir,  $47_{\text{hex}}$ ). El orden de procedimiento en el lado de transmisión se iniciará siempre a partir del MSB (es decir, 0) del byte de sincronismo de palabra (es decir, 01000111).

Para ajustarse al Reglamento de Radiocomunicaciones y asegurar las transiciones binarias adecuadas, los datos del múltiplex MPEG-2 de entrada se aleatorizarán de acuerdo con la configuración representada en la Fig. 2.

FIGURA 2  
Diagrama esquemático del dispositivo aleatorizador/desaleatorizador



El polinomio generador de la secuencia binaria pseudoaleatoria será el siguiente:

$$1 + x^{14} + x^{15}$$

La carga de la secuencia «100101010000000» a los registradores PRBS, como se indica en la Fig. 2, se iniciará al principio de cada uno de los ocho paquetes de transporte. A fin de obtener una señal de inicialización para el desaleatorizador, se invierten los bits de un byte de sincronismo MPEG-2 del primer paquete de transporte de un grupo de ocho paquetes, pasando de 47<sub>hex</sub> a B8<sub>hex</sub>. Este proceso recibe el nombre de «adaptación del múltiplex de transporte».

El primer bit a la salida del generador PRBS se aplicará al primer bit (es decir, el bit más significativo) del primer byte tras el byte de sincronismo MPEG-2 invertido (es decir, B8<sub>hex</sub>). Para ayudar a otras funciones de sincronismo, durante los bytes de sincronismo MPEG-2 de los siete siguientes paquetes de transporte, continuará la generación PRBS pero se desactivará su salida, dejando estos bytes sin aleatorizar. Por consiguiente, el periodo de la PRBS será de 1 503 bytes.

El proceso de aleatorización se activará igualmente cuando no exista un tren de bits de entrada en el modulador o cuando no se adapte al formato del tren de transporte MPEG-2 (es decir, un byte de sincronismo + 187 bytes de paquetes). Ello tiene por objeto impedir la transmisión de portadoras no moduladas por el modulador.

#### 4.4.2 Codificación exterior (RS), entrelazado y organización por tramas

La organización de las tramas se basará en la estructura del paquete de entrada (véase la Fig. 3a)).

El código RS (204,188,  $T=8$ ) abreviado, con respecto al código RS (255,239,  $T=8$ ) original, se aplicará a cada paquete de transporte aleatorizado (188 bytes) de la Fig. 3b) para generar un paquete protegido contra errores (véase la Fig. 3c)). La codificación Reed-Solomon se aplicará igualmente al byte de sincronismo de paquetes, no invertido (es decir, 47<sub>hex</sub>) o invertido (es decir, B8<sub>hex</sub>).

Polinomio generador de código:  $g(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1)(x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15})$ , siendo  $\lambda = 02_{\text{hex}}$ .

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

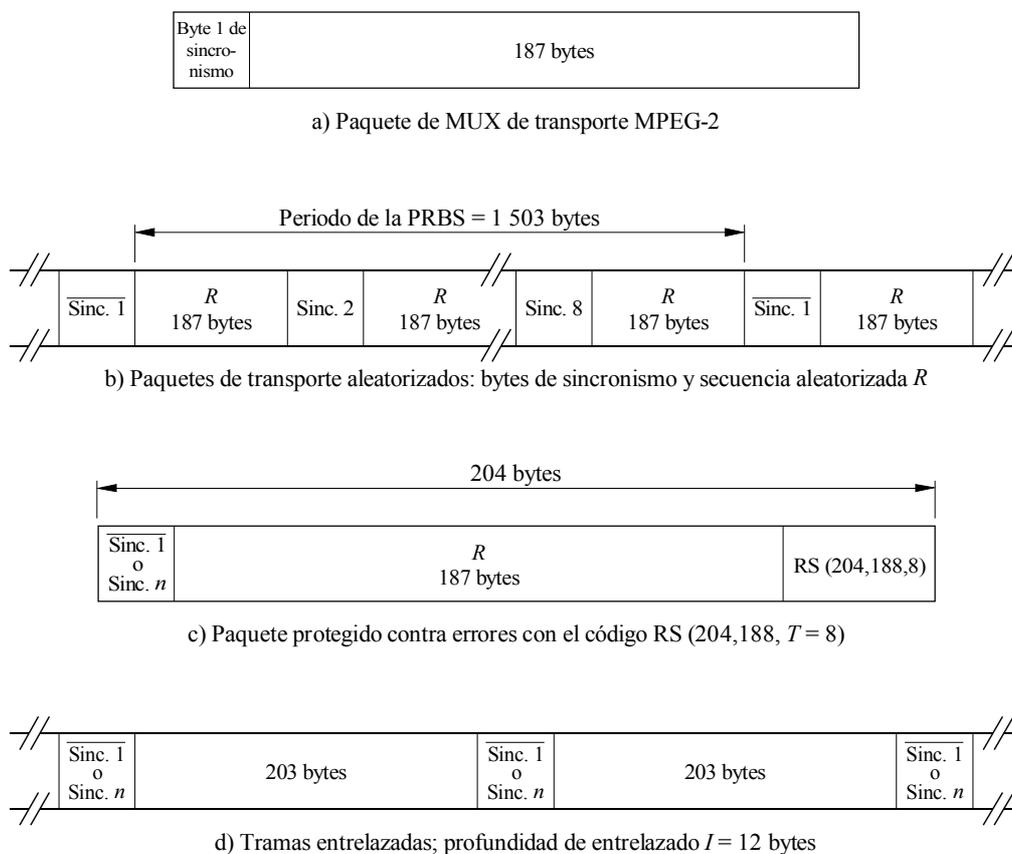
El código Reed-Solomon abreviado puede realizarse añadiendo 51 bytes, puestos todos a cero, antes de los bytes de información a la entrada de un codificador (255,239). Tras el procedimiento de codificación RS se descartarán estos bytes nulos.

Según el esquema conceptual representado en la Fig. 4, se aplicará a los paquetes protegidos contra errores (véase la Fig. 3c)) un entrelazado convolucional con profundidad  $I=12$ . Esto da como resultado una trama entrelazada (véase la Fig. 3d)).

El proceso de entrelazado convolucional se basará en el método de Forney (véase [3]) que es compatible con el método de Ramsey tipo III, con  $I=12$ . La trama entrelazada estará compuesta de paquetes superpuestos protegidos contra errores y vendrá delimitada por los bytes de sincronismo MPEG-2 [2] invertidos o no invertidos (preservando así la periodicidad de 204 bytes).

FIGURA 3

## Estructura de la trama



Sinc. 1: byte de sincronismo complementado sin aleatorizar  
 Sinc.  $n$ : byte de sincronismo sin aleatorizar,  $n = 2, 3, \dots, 8$

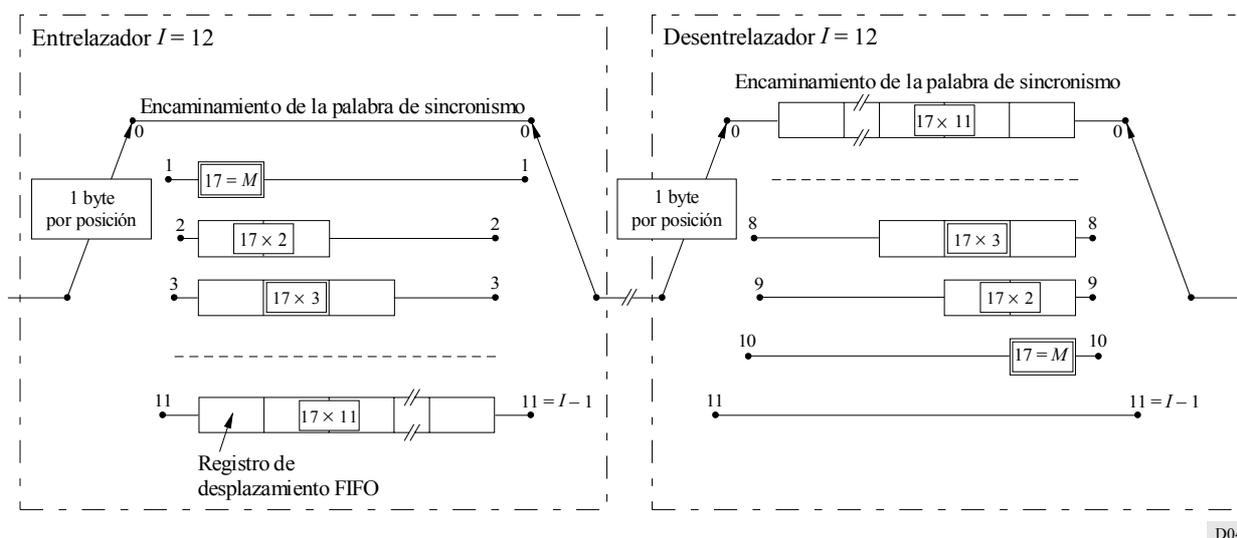
El entrelazador puede estar compuesto de  $I = 12$  derivaciones, conectadas cíclicamente a la entrada del tren de bytes por el conmutador de entrada. Cada derivación consistirá en un registro de desplazamiento FIFO, con célula de profundidad ( $M_j$ ) (siendo  $M = 17 = N/I$ ,  $N = 204 =$  longitud de trama protegida contra errores,  $I = 12 =$  profundidad de entrelazado,  $j =$  índice de derivación). Las células del registro FIFO contendrán un byte y los contadores de entrada y salida estarán sincronizados.

A efectos de sincronización, los bytes de sincronismo y los bytes de sincronismo invertidos se encaminarán siempre en la derivación «0» del entrelazador (lo que corresponde a un retardo nulo).

NOTA 1 – El desentrelazador es similar, en principio, al entrelazador, pero los índices de derivación están invertidos (es decir,  $j = 0$  corresponde al retardo más largo). La sincronización del desentrelazador puede realizarse encaminando el primer byte de sincronismo reconocido en la derivación «0».

FIGURA 4

Diagrama conceptual del entrelazador y desentrelazador convolucional



D04

#### 4.4.3 Codificación interior (convolucional)

El Sistema permitirá una gama de códigos convolucionales perforados basados en un código convolucional de índice 1/2 con una limitación en longitud  $K = 7$ . Ello posibilitará la elección del nivel de corrección de errores más adecuado para un servicio o velocidad de transmisión de datos concretos. El Sistema permitirá igualmente la codificación convolucional con índices de 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8.

El código convolucional perforado se utilizará como indica el Cuadro 2 (véase también la Fig. 5).

NOTA 1 – En el receptor, cada uno de los índices de codificación y configuraciones de perforado se encuentran en una posición que debe probarse hasta lograr el enclavamiento. Puede resolverse una ambigüedad de fase de valor  $\pi$  en el demodulador decodificando el byte de sincronismo MPEG-2 [2] que delimita la trama de entrelazado.

CUADRO 2  
Definición de código perforado

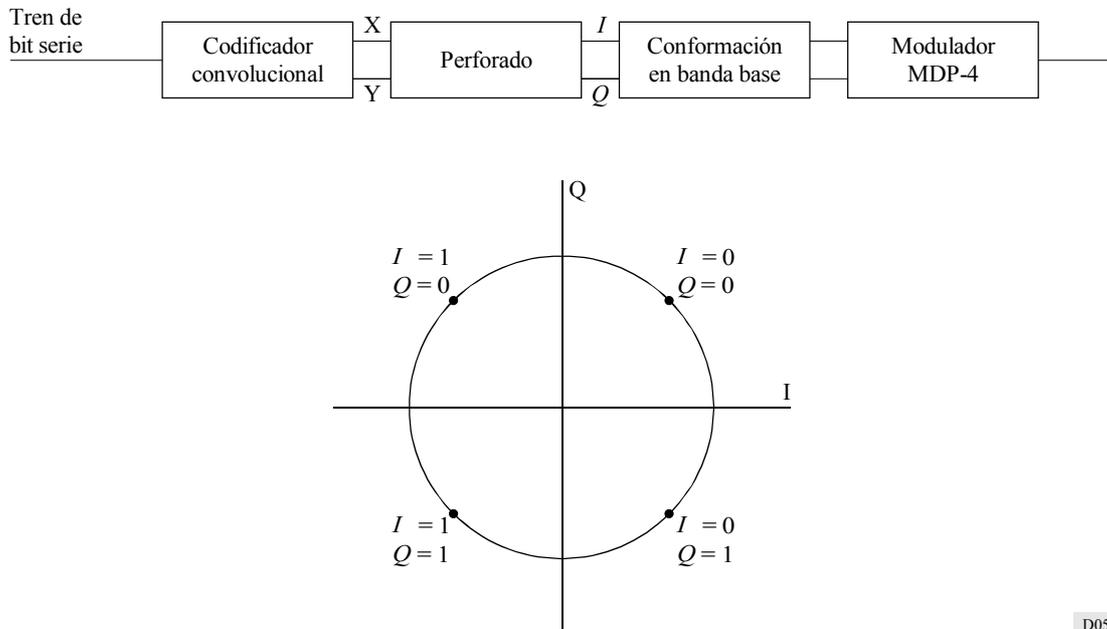
Código original			Índice de código									
			1/2		2/3		3/4		5/6		7/8	
$K$	$G_1$ (X)	$G_2$ (Y)	$P$	$d_{libre}$	$P$	$d_{libre}$	$P$	$d_{libre}$	$P$	$d_{libre}$	$P$	$d_{libre}$
7	171 <sub>oct</sub>	133 <sub>oct</sub>	$X = 1$ $Y = 1$	10	$X = 10$ $Y = 11$	6	$X = 101$ $Y = 110$	5	$X = 10101$ $Y = 11010$	4	$X = 1000101$ $Y = 1111010$	3
			$I = X_1$ $Q = Y_1$		$I = X_1 Y_2 Y_3$ $Q = Y_1 X_3 Y_4$		$I = X_1 Y_2$ $Q = Y_1 X_3$		$I = X_1 Y_2 Y_4$ $Q = Y_1 X_3 X_5$		$I = X_1 Y_2 Y_4 Y_6$ $Q = Y_1 Y_3 X_5 X_7$	

1: Bit transmitido  
0: Bit no transmitido

4.5 Conformación en banda base y modulación

El Sistema utilizará MDP-4 con codificación Gray convencional y correspondencia absoluta (sin codificación diferencial). Se utilizará la correspondencia de bits en el espacio de señales indicada en la Fig. 5.

FIGURA 5  
Constelación MDP-4



D05

Antes de la modulación, a las señales  $I$  y  $Q$  (representadas matemáticamente por una sucesión de funciones en delta de Dirac separadas por la duración de símbolo  $T_s = 1/R_s$ , con el signo adecuado) se les aplicará un filtrado cuadrático de coseno alzado. El factor de corte  $\alpha$  será 0,35.

El filtro cuadrático de coseno alzado en banda base tendrá una función teórica definida por la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 H(f) &= 1 && \text{para } |f| < f_N(1 - \alpha) \\
 H(f) &= \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{sen} \frac{\pi}{2f_N} \left[ \frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right\}^{1/2} && \text{para } f_N(1 - \alpha) \leq |f| \leq f_N(1 + \alpha) \\
 H(f) &= 0 && \text{para } |f| > f_N(1 + \alpha)
 \end{aligned}$$

donde:

$f_N$ : frecuencia de Nyquist

$$= \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2}$$

$\alpha$ : factor de corte

$$= 0,35$$

En el Apéndice 1 aparece una plantilla para el espectro de la señal a la salida del modulador.

## 5 Requisitos de la característica de error

El módem, conectado en el bucle de FI, deberá satisfacer los requisitos de comportamiento de BER en función de  $E_b/N_0$  indicados en el Cuadro 3.

CUADRO 3

### Características del bucle de FI del sistema

Índice de codificación interior	$E_b/N_0$ necesaria para una BER de $2 \times 10^{-4}$ tras una codificación de Viterbi con QEF después de una Reed-Solomon
1/2	4,5
2/3	5,0
3/4	5,5
5/6	6,0
7/8	6,4

NOTA 1 – Las cifras de  $E_b/N_0$  se refieren a la velocidad binaria útil antes de la codificación RS e incluyen un margen de implementación del módem de 0,8 dB y el aumento de anchura de banda de ruido debido a la codificación exterior ( $10 \log 188/204 = 0,36$  dB).

NOTA 2 – QEF significa que se produce menos de un error sin corregir cada hora, lo que corresponde a una BER entre  $1 \times 10^{-10}$  y  $1 \times 10^{-11}$  a la entrada del demultiplexor MPEG-2.

En el Apéndice 4 aparecen algunas cifras indicativas del comportamiento del Sistema por satélite.

## APÉNDICE 1

AL ANEXO 1  
(Normativo)**Espectro de la señal a la salida del modulador**

La Fig. 6 representa una plantilla del espectro de señal a la salida del modulador.

Esta Figura representa igualmente una posible máscara para la realización del soporte físico del filtro modulador de Nyquist, como se especifica en el § 4.5. Los puntos A a S indicados en las Figs. 6 y 7 se definen en el Cuadro 4. La máscara para la respuesta del filtro en frecuencia se basa en la hipótesis señales de entrada en delta de Dirac ideales, separadas por el periodo de símbolos  $T_s = 1/R_s = 1/2f_N$ , mientras que en el caso de señales de entrada rectangulares debe aplicarse a la respuesta del filtro la corrección adecuada en  $x/\text{sen } x$ .

La Fig. 7 representa una máscara del retardo de grupo para la realización del soporte físico modulador de Nyquist.

Las Figs. 6 y 7 se basan en [4], con una ligera modificación debido al factor de corte distinto.

FIGURA 6

Plantilla para la máscara de espectro de la señal a la salida del modulador

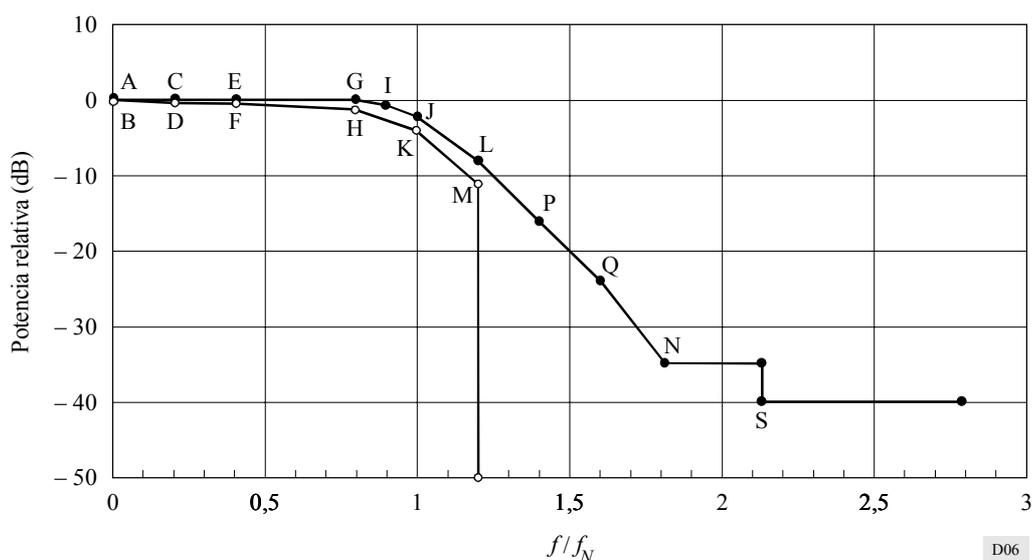
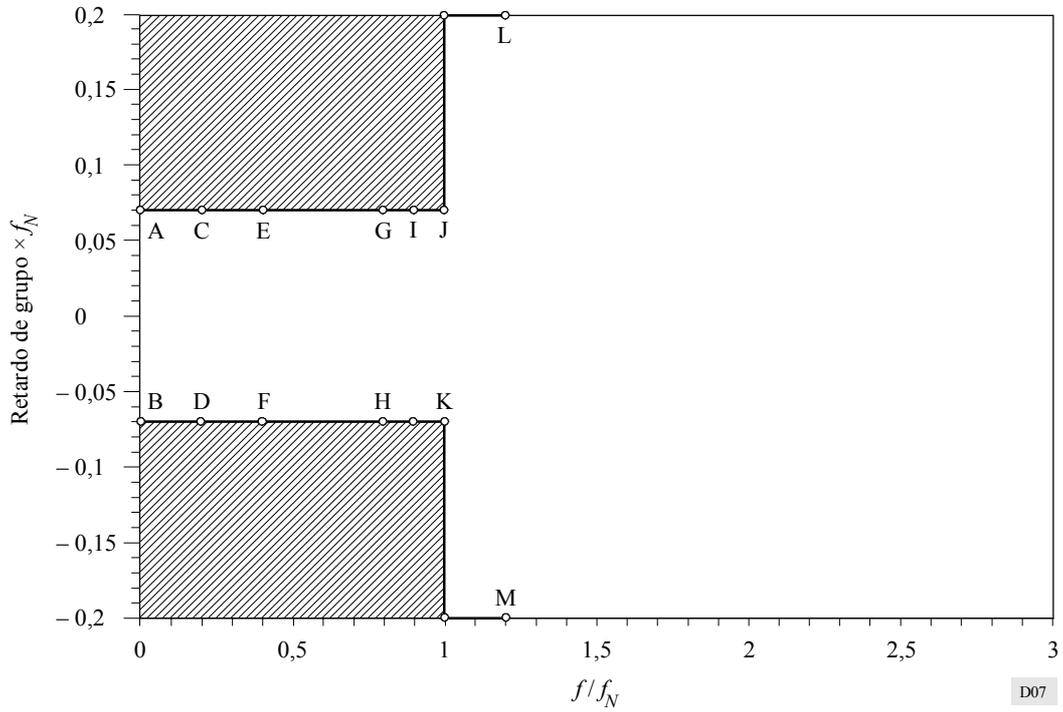


FIGURA 7  
Plantilla del retardo de grupo del filtro del modulador



CUADRO 4

Definición de los puntos indicados en la Fig. 6

Punto	Frecuencia	Potencia relativa (dB)	Retardo de grupo
A	$0,0 f_N$	+0,25	$+0,07/f_N$
B	$0,0 f_N$	-0,25	$-0,07/f_N$
C	$0,2 f_N$	+0,25	$+0,07/f_N$
D	$0,2 f_N$	-0,40	$-0,07/f_N$
E	$0,4 f_N$	+0,25	$+0,07/f_N$
F	$0,4 f_N$	-0,40	$-0,07/f_N$
G	$0,8 f_N$	+0,15	$+0,07/f_N$
H	$0,8 f_N$	-1,10	$-0,07/f_N$
I	$0,9 f_N$	-0,50	$+0,07/f_N$
J	$1,0 f_N$	-2,00	$+0,07/f_N$
K	$1,0 f_N$	-4,00	$-0,07/f_N$
L	$1,2 f_N$	-8,00	-
M	$1,2 f_N$	-11,00	-
N	$1,8 f_N$	-35,00	-
P	$1,4 f_N$	-16,00	-
Q	$1,6 f_N$	-24,00	-
S	$2,12 f_N$	-40,00	-

## APÉNDICE 2

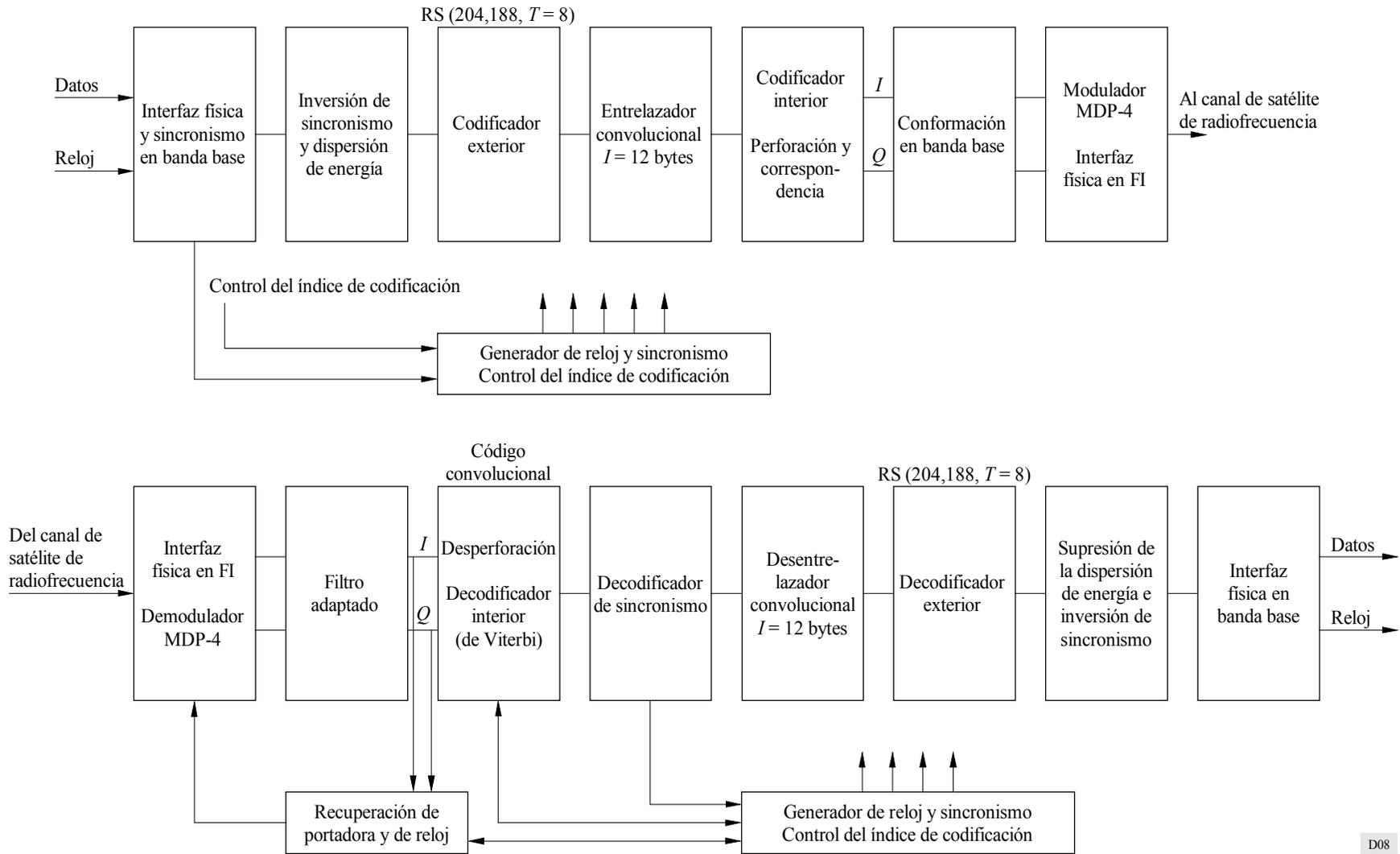
AL ANEXO 1  
(Informativo)**Descripción conceptual del Sistema**

El modulador y el demodulador pueden realizar las funciones indicadas en el diagrama de bloques de la Fig. 8.

Debido a la similitud de los diagramas de bloque del modulador y demodulador, sólo se describe este último:

- *Interfaz FI y demodulador MDP-4*: Esta unidad lleva a cabo la función de demodulación coherente en cuadratura y la conversión analógica/digital, proporcionando una «decisión flexible» de la información  $I$  y  $Q$  al decodificador interior.
- *Filtro adaptado*: Esta unidad realiza el filtrado de conformación del impulso complementario del tipo coseno alzado de acuerdo con el factor de corte. La utilización del filtro digital de respuesta a impulso finita (FIR) puede proporcionar la ecualización de las distorsiones lineales de canal en el IRD.
- *Unidad de recuperación de portadora/reloj*: Este dispositivo recupera la sincronización del demodulador. La probabilidad de generación de deslizamientos en toda la gama completa de valores  $C/N$  del demodulador debe ser muy baja.
- *Decodificador interior*: Esta unidad efectúa el primer nivel de decodificación de la protección contra errores. Debe funcionar con una BER de «decisión rígida» equivalente del orden de  $1 \times 10^{-1}$  a  $1 \times 10^{-2}$  (según el índice de codificación adoptado) y debe producir una BER de salida de  $2 \times 10^{-4}$  o inferior. Esta BER de salida corresponde a un servicio QEF tras la corrección del código exterior. Es posible que esta unidad haga uso de información de «decisión flexible». Esta unidad se encuentra en disposición de intentar cada uno de los índices de codificación y configuraciones de perforación hasta lograr el enclavamiento. Además, pueden resolver una ambigüedad de fase de demodulación de  $\pi/2$ .
- *Codificador del byte de sincronismo*: Decodificando los bytes de sincronismo MPEG-2 [2], este decodificador proporciona la información de sincronización para el desentrelazado. También puede recuperar la ambigüedad  $\pi$  del demodulador MDP-4 (no detectable por el decodificador de Viterbi).
- *Desentrelazador convolucional*: Este dispositivo permite la aleatorización de las ráfagas de errores a la salida del decodificador interior byte a byte a fin de mejorar la capacidad de corrección de errores en ráfaga del decodificador exterior.
- *Decodificador exterior*: Esta unidad proporciona un segundo nivel de protección contra errores. Está en posición de ofrecer una salida QEF (es decir, una BER entre  $1 \times 10^{-10}$  y  $1 \times 10^{-11}$  aproximadamente) en presencia de ráfagas de errores a la entrada con una BER de aproximadamente  $7 \times 10^{-4}$  o mejor, con intercalado de bytes infinito. En el caso de profundidad de intercalado  $I = 12$ , se supone una BER de  $2 \times 10^{-4}$  para QEF.

FIGURA 8  
 Diagrama de bloques conceptual del Sistema en el lado de transmisión y de recepción



D08

- *Supresión de la dispersión de energía*: Esta unidad recupera los datos de usuario eliminando el diagrama de aleatorización empleado a efectos de dispersión de energía y cambia el byte de sincronismo invertido a su valor normal de byte de sincronismo MPEG-2.
- *Interfaz física en banda base*: Esta unidad adapta la estructura de datos al formato y protocolo requeridos por la interfaz externa.

NOTA 1 – El sistema MPEG-2 [2] ofrece la posibilidad de ajustar el bit de bandera de error en el encabezamiento del paquete si se sobrepasa la capacidad de corrección del código exterior.

## APÉNDICE 3

### AL ANEXO 1 (Informativo)

#### Ejemplos de velocidades binarias en función de la anchura de banda del transpondedor

La velocidad de transmisión de símbolos  $R_s$  puede adaptarse a las características concretas del transpondedor a fin de lograr la máxima capacidad de transmisión compatible con la degradación de la señal aceptable debida a las limitaciones en anchura de banda del transpondedor. En el Cuadro 5 aparecen ejemplos de la capacidad de velocidad binaria útil  $R_u$  que puede lograrse en un transpondedor de satélite con una anchura de banda BW correspondiente a una  $BW/R_s = 1,28$ .

CUADRO 5

#### Ejemplos de velocidades binarias en función de la anchura de banda del transpondedor

BW (a -3 dB) (MHz)	BW' (a -1 dB) (MHz)	$R_s$ (para $BW/R_s = 1,28$ ) (MBd)	$R_u$ (para MDP-4 + convolucional de 1/2) (Mbit/s)	$R_u$ (para MDP-4 + convolucional de 2/3) (Mbit/s)	$R_u$ (para MDP-4 + convolucional de 3/4) (Mbit/s)	$R_u$ (para MDP-4 + convolucional de 5/6) (Mbit/s)	$R_u$ (para MDP-4 + convolucional de 7/8) (Mbit/s)
54	48,6	42,2	38,9	51,8	58,3	64,8	68,0
46	41,4	35,9	33,1	44,2	49,7	55,2	58,0
40	36,0	31,2	28,8	38,4	43,2	48,0	50,4
36	32,4	28,1	25,9	34,6	38,9	43,2	45,4
33	29,7	25,8	23,8	31,7	35,6	39,6	41,6
30	27,0	23,4	21,6	28,8	32,4	36,0	37,8
27	24,3	21,1	19,4	25,9	29,2	32,4	34,0
26	23,4	20,3	18,7	25,0	28,1	31,2	32,8

NOTA 1 –  $R_u$  se refiere a la velocidad binaria útil tras la MUX MPEG-2.  $R_s$  (velocidad de símbolos) corresponde a la anchura de banda a -3 dB de la señal modulada.

NOTA 2 – Las cifras del Cuadro 5 corresponden a una degradación de la relación  $E_b/N_0$  de 1,0 dB (con respecto al canal AWGN) para el caso de un factor de corte de 0,35 y un índice de codificación de 2/3, incluidos los efectos de los filtros IMUX y OMUX y del ATOP.

Para distintos requisitos de servicio pueden adoptarse otros valores de la relación  $BW/R_s$ , dependiendo del compromiso logrado entre la capacidad de transmisión y la degradación de la relación  $E_b/N_0$ .

Las Figs. 9 y 10 muestran las características de los filtros IMUX y OMUX adoptadas en simulaciones por ordenador, con una anchura de banda total de 33 MHz (a  $-3$  dB).

FIGURA 9  
Características del filtro IMUX ficticio

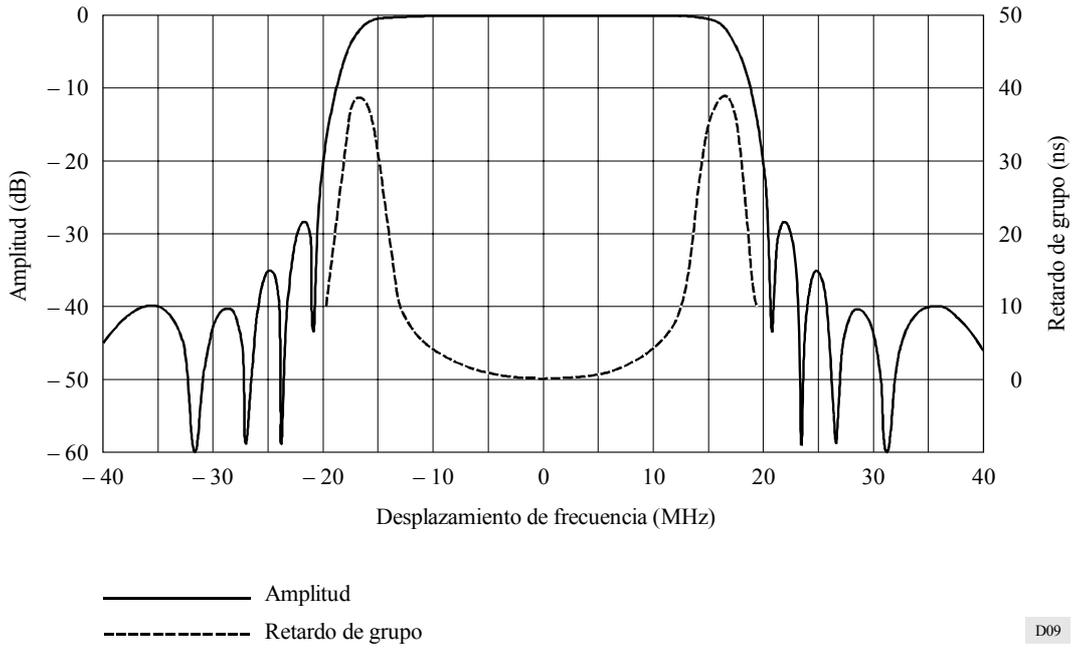
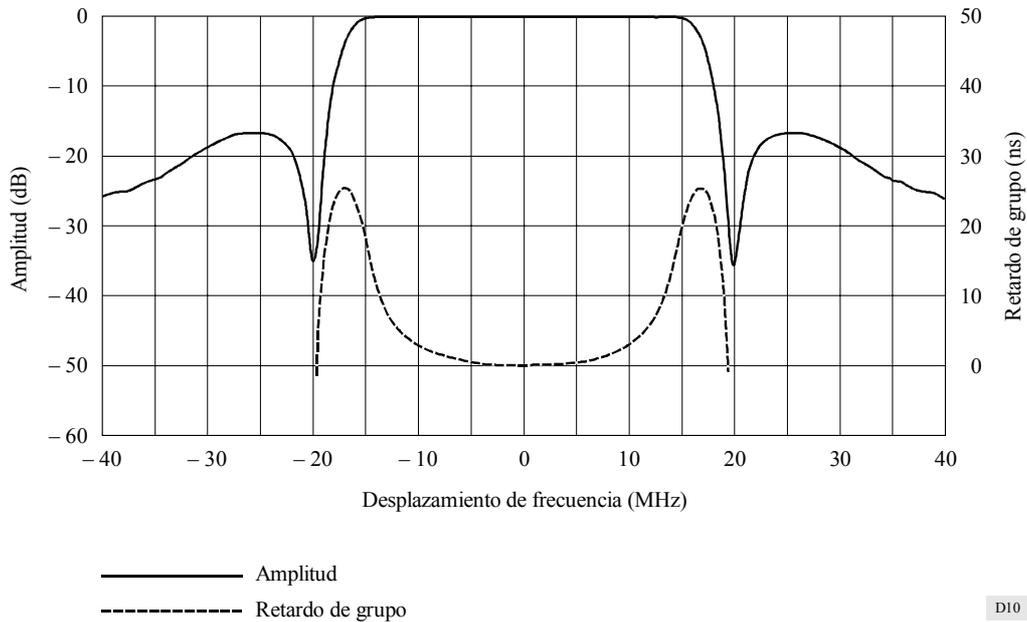


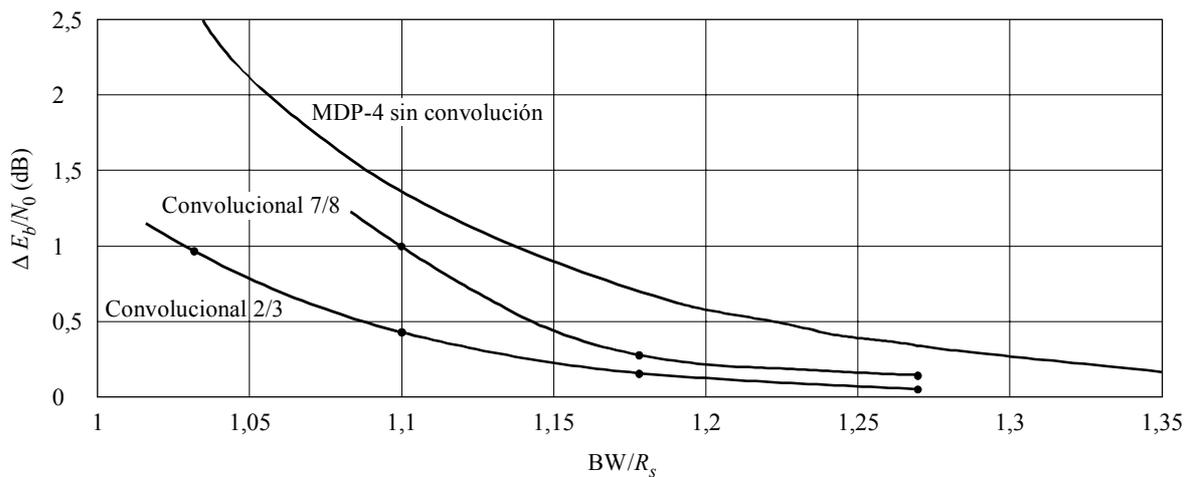
FIGURA 10  
Características del filtro OMUX ficticio



La Fig. 11 representa un ejemplo de la degradación de  $E_b/N_0$  en un transpondedor de satélite simulado por ordenador (ATOP con reducción de la potencia de salida (ATOP OBO) = 0 B) debida a las limitaciones en anchura de banda en los filtros IMUX y OMUX (véanse las Figs. 9 y 10) para una relación  $BW/R_s$  comprendida entre 1 y 1,35. La degradación de 0 dB de referencia se refiere al caso de un transpondedor de satélite sin limitaciones en anchura de banda ( $BW = \infty$ , ATOP OBO = 0 dB). Los resultados se han obtenido mediante simulaciones por ordenador con índices de codificación convolucional interior de 2/3 y 7/8, con una BER de  $2 \times 10^{-4}$ . Para características del filtro de transpondedor distintas pueden obtenerse otros resultados. Cuando se emplean los resultados de la Fig. 11 deben preverse los márgenes adecuados para tener en cuenta las inestabilidades térmicas y de envejecimiento en las características del transpondedor.

FIGURA 11

Ejemplo de degradación debida a la limitación en anchura de banda del transpondedor



Reducción de potencia del ATOP = 0,0 dB  
 BER =  $2 \times 10^{-4}$

D11

## APÉNDICE 4

AL ANEXO 1  
(Informativo)**Ejemplos de posible utilización del Sistema**

En el Cuadro 6 aparecen posibles ejemplos de utilización del Sistema para una anchura de banda nominal del transpondedor (a  $-3$  dB) de 33 MHz. Se dan distintos índices de codificación interior con las velocidades binarias correspondientes.

CUADRO 6

**Ejemplo del comportamiento del Sistema con un transpondedor de 33 MHz**

Velocidad binaria $R_u$ (tras la MUX) (Mbit/s)	Velocidad binaria $R'_u$ (tras RS) (Mbit/s)	Velocidad de símbolos (MBd)	Índice de codificación convolucional interior	Índice de codificación RS exterior	$C/N$ (33 MHz) (dB)
23,754	25,776	25,776	1/2	188/204	4,1
31,672	34,368	25,776	2/3	188/204	5,8
35,631	38,664	25,776	3/4	188/204	6,8
39,590	42,960	25,776	5/6	188/204	7,8
41,570	45,108	25,776	7/8	188/204	8,4

NOTA 1 – Las cifras del Cuadro 6 se refieren a resultados de simulaciones por ordenador logrados en una cadena de satélites ficticia, incluyendo los efectos de los filtros IMUX y OMUX y del ATOP (véanse las Figs. 9 y 10) con un factor de corte de modulación de 0,35. Las cifras de la relación  $C/N$  se basan en la hipótesis de una decodificación Viterbi de decisión flexible en el receptor. Se ha adoptado la relación  $BW/R_s = 1,28$ .

NOTA 2 – Las cifras para la relación  $C/N$  incluyen una degradación calculada de 0,2 dB debida a las limitaciones en anchura de banda de los filtros IMUX y OMUX, una distorsión no lineal de 0,8 dB en el ATOP en saturación y una degradación del módem de 0,8 dB. Las cifras se refieren a una BER de  $2 \times 10^{-4}$  antes de la codificación RS (204,188), lo que corresponde a una situación de QEF en la salida del codificador RS. No se ha tenido en cuenta la degradación debida a la interferencia.

La Fig. 12 muestra que el ejemplo indicado en el Cuadro 6 con un índice de codificación convolucional interior de 2/3 sería adecuado para la conexión a una red terrenal con jerarquía digital plesiócrona (JDP) a 34,368 Mbit/s, incluida la misma protección contra errores Reed-Solomon utilizada por el satélite.

FIGURA 12  
Ejemplo de conexión del Sistema con una red terrenal  
con jerarquía digital plesiócrona

