



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

J.83

(10/95)

**TRANSMISIONES RADIOFÓNICAS
Y DE TELEVISIÓN**

**SISTEMAS DIGITALES MULTIPROGRAMAS
PARA SERVICIOS DE TELEVISIÓN, SONIDO
Y DATOS DE DISTRIBUCIÓN POR CABLE**

Recomendación UIT-T J.83

(Anteriormente «Recomendación del CCITT»)

PREFACIO

El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones) es un órgano permanente de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución N.º 1 de la CMNT (Helsinki, 1 al 12 de marzo de 1993).

La Recomendación UIT-T J.83 ha sido preparada por la Comisión de Estudio 9 (1993-1996) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 24 de octubre de 1995.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión «Administración» se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

© UIT 1996

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	<i>Página</i>
1 Alcance.....	1
2 Referencias.....	1
3 Términos y definiciones.....	1
4 Símbolos y abreviaturas.....	1
5 Sistemas digitales multiprogramas de distribución por cable.....	3
Anexo A – Sistema digital multiprograma A.....	5
Anexo B – Sistema digital multiprograma B.....	13
Anexo C – Sistema digital multiprograma C.....	25
Anexo D – Sistema digital multiprograma D.....	33

SUMARIO

Esta Recomendación contiene la definición de la estructura de trama, la codificación de canal y la modulación de las señales digitales multiprogramas para servicios de televisión, sonido y datos distribuidos por redes de cable.

La presente Recomendación tiene cuatro Anexos, que especifican los cuatro sistemas digitales de televisión por cable sometidos al UIT-T, lo cual revela que la normalización de los sistemas digitales de televisión por cable está tratándose por primera vez en el UIT-T y que, cuando la UIT emprendió esta tarea de normalización, ya se habían desarrollado e implementado provisionalmente varios sistemas.

La presente Recomendación preconiza que quienes implementen nuevos servicios digitales multiprogramas en redes de cable existentes y futuras utilicen uno de los sistemas cuya estructura de trama, codificación de canal y modulación se especifican en los Anexos de esta Recomendación.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la nueva tecnología digital está llegando a un punto en el que resulta evidente que permite a los sistemas digitales ofrecer ventajas considerables frente a las técnicas analógicas convencionales, en materia de calidad de imagen y de sonido, eficacia del espectro y de potencia, flexibilidad del servicio, convergencia de multimedia y costos de equipo potencialmente menores. Además, aumenta continuamente el uso de la distribución por cable para la entrega de señales de vídeo y de audio a los distintos videntes y oyentes, habiéndose convertido en la forma predominante de distribución en muchas partes del mundo. Es también evidente que la mejor manera de obtener estas ventajas potenciales es con las economías de escala resultantes del uso extendido de sistemas digitales diseñados para su fácil implementación en la infraestructura existente, a fin de aprovechar las muchas sinergias posibles con los correspondientes sistemas audiovisuales.

La presente Recomendación tiene cuatro Anexos, que presentan las especificaciones de los cuatro sistemas de cable de televisión digital sometidos al UIT-T.

Esto revela que la normalización de los sistemas digitales de televisión por cable está tratándose por primera vez en el UIT-T y que, cuando la UIT emprendió esta labor de normalización, ya se habían desarrollado e implementado provisionalmente varios sistemas.

Se alienta a las Administraciones y operadores privados que planean la introducción de servicios de televisión digital por cable a considerar el uso de uno de los sistemas descritos en los Anexos, y a buscar oportunidades de una mayor convergencia, en lugar de desarrollar un sistema diferente basado en las mismas tecnologías.

SISTEMAS DIGITALES MULTIPROGRAMAS PARA SERVICIOS DE TELEVISIÓN, SONIDO Y DATOS DE DISTRIBUCIÓN POR CABLE

(Ginebra, 1995)

1 Alcance

La finalidad de esta Recomendación es definir la estructura de trama, la codificación de canal y la modulación para señales digitales multiprogramas de televisión, sonido y datos de distribución por cable (por ejemplo, los sistemas CATV), posiblemente en múltiplex por división de frecuencia. En otra Recomendación se definen las características de transmisión para señales multiprogramas digitales distribuidas a través de redes de antena colectiva de televisión por satélite (SMATV).

NOTA – La entrada del sistema se especifica como la capa de transporte MPEG-2; esto proporciona cierta capacidad de datos auxiliar en el canal de ida, que se puede emplear para satisfacer las necesidades de los servicios interactivos (la descripción del suministro y las características del canal de retorno está fuera del alcance de esta Recomendación).

Dada su enorme flexibilidad, la capa de transporte MPEG-2 se puede configurar para entregar cualquier combinación deseada de señales de televisión, sonido y datos (en las que el sonido puede estar o no relacionado con el contenido de la señal de video, y con diversos niveles posibles de calidad). Incluso, la capa de transporte se puede destinar por entero a la entrega de programas sonoros, aunque quizá no sea necesario optimizarla para esta aplicación.

El caso específico de la entrega de un múltiplex que sólo contiene señales sonoras puede ser el tema de una futura Recomendación.

El objetivo de esta Recomendación es asegurar que los diseñadores y operadores de las redes de distribución por cable (por ejemplo, CATV) que transportan señales multiprogramas, dispongan de la información que necesitan para poder establecer y mantener redes plenamente satisfactorias. También contiene la información que necesitan los diseñadores y fabricantes de equipos (incluidos receptores) para señales digitales multiprogramas distribuidas por redes de cable.

2 Referencias

Las Recomendaciones siguientes y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones, por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y de otras referencias citadas a continuación. Regularmente se publica una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes.

- [1] Recomendación UIT-R BO.1211 (1995), *Sistemas de transmisión digital multiprograma en servicios de televisión, sonido y datos mediante satélites que funcionan en la gama de frecuencias 11/12 GHz*.
- [2] Recomendación UIT-T H.222.0 (1995) | ISO/CEI 13818-1:1996, *Tecnología de la información – Codificación genérica de imágenes en movimiento e información de audio asociada: Sistemas*.

3 Términos y definiciones

No se utilizan en esta Recomendación términos ni definiciones no convencionales.

4 Símbolos y abreviaturas

4.1 Símbolos

Para los fines de esta Recomendación, se utilizan los siguientes símbolos:

α	Factor de caída (roll-off factor)
A_k, B_k	Bits más significativos a la salida del convertidor de bytes a m-tuplas
byte	Ocho bits
bps	Bits por segundo

f_0	Frecuencia central de canal
f_N	Frecuencia de Nyquist
$g(x)$	Polinomio generador de código RS
$G_{(256)}$	Polinomio generador de campo de primitiva RS
$G_{(16)}$	Polinomio generador aleatorizador
I	Profundidad de intercalación (bytes)
I, Q	Componentes en fase, componentes de fase en cuadratura de la señal modulada
j	Índice de ramal
k	Número de bytes correspondidos hacia n símbolos
m	Potencia de QAM de 2^m -niveles: 4, 5, 6 para 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, respectivamente
M	Profundidad de ramal intercalador convolucional para $j = 1$, $M = N/I$
ms	Milisegundos
n	Número de símbolos correspondidos desde k bytes
N	Longitud de trama protegida contra errores (bytes)
$p(x)$	Polinomio generador de campos RS
$PN(x)$	Secuencia pseudoaleatoria, identificada por el número que sigue al símbolo
r_m	Rizado dentro de banda (dB)
R	Secuencia aleatorizada
R_s	Velocidad de símbolos correspondiente a la anchura de banda de Nyquist bilateral de la señal modulada
R_u	Velocidad binaria útil después del multiplexor de transporte MPEG-2
$R_{u'}$	Velocidad binaria después del codificador exterior RS
q	Número de bits: 2, 3, 4 para 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, respectivamente
T	Número de bytes que pueden corregirse en un paquete protegido contra errores RS
T_s	Periodo de símbolo

4.2 Abreviaturas

A los efectos de esta Recomendación, se utilizan las siguientes abreviaturas:

BB	Banda base (<i>baseband</i>)
BER	Tasa de errores de bits (<i>bit error ratio</i>)
CATV	Televisión por antena colectiva (<i>community antenna television</i>)
C/N	Relación portadora/ruido (<i>carrier to noise ratio</i>)
DTVC	Televisión digital por cable (<i>digital television by cable</i>)
FEC	Corrección de errores en recepción (<i>forward error correction</i>)
FIFO	Primero en entrar, primero en salir (<i>first in first out</i>)
HEX	Hexadecimal
IF	Frecuencia intermedia (<i>intermediate frequency</i>)
IRD	Decodificador receptor integrado (<i>integrated receiver decoder</i>)

LSB	Bit menos significativo (<i>least significant bit</i>)
MMDS	Sistema de distribución multipunto multicanal (<i>multichannel multipoint distribution system</i>)
MPEG	Grupo de expertos en imágenes en movimiento (<i>motion picture experts group</i>)
MSB	Bit más significativo (<i>most significant bit</i>)
MUX	Múltiplex
P	Paridad
PDH	Jerarquía digital plesiócrona (<i>plesiochronous digital hierarchy</i>)
PN	Seudorruido (<i>pseudo noise</i>)
ppm	Partes por millón
PRBS	Secuencia binaria pseudoaleatoria (<i>pseudo-random binary sequence</i>)
QAM	Modulación de amplitud en cuadratura (<i>quadrature amplitude modulation</i>)
QEF	Cuasi sin errores (<i>quasi error free</i>)
RF	Radiofrecuencia
RS	Reed-Solomon
SMATV	Antena colectiva de televisión por satélite (<i>satellite master antenna television</i>)
SNR	Relación señal/ruido (<i>signal to noise ratio</i>)
sps	Símbolos por segundo
Sync	Señal de sincronización (<i>synchronizing signal</i>)
TBD	Por determinar (<i>to be determined</i>)
TDM	Múltiplex por división en el tiempo (<i>time division multiplex</i>)
TS	Flujo de transporte (<i>transport stream</i>)
VLSI	Integración en muy gran escala (<i>very large scale integration</i>)
VSB	Banda lateral vestigial (<i>vestigial sideband</i>)
XOR	OR exclusivo
8-VSB	VSB de 8 niveles
16-VSB	VSB de 16 niveles

5 Sistemas digitales multiprogramas de distribución por cable

Se recomienda que quienes implementen nuevos servicios digitales multiprogramas por redes de cable existentes y futuras utilicen uno de los sistemas cuya estructura de trama, codificación de canal y modulación se especifican en los Anexos de esta Recomendación. Las especificaciones se comparan en el Cuadro 1, que muestra algunas características comunes.

CUADRO 1/J.83

Comparación de las especificaciones en forma resumida para indicar las propiedades comunes

Asunto		Anexo B	Anexo A	Anexo C	Anexo D	
Señales de entrada		Flujo de transporte MPEG-2 modificado. Una suma de comprobación de paridad es sustituida por este byte de sincronismo, que suministra funcionalidad mejorada de delimitación de paquetes y una capacidad de detección de errores independiente de la capa FEC. (Véase B.4)	Flujo de transporte MPEG-2 (Véanse A.3, C.3 y D.3)			
Estructura de trama		Una trama FEC consta de un encabezamiento de sincronización de 6 símbolos de 7 bits seguido por 60 bloques RS, cada uno de los cuales contiene 128 símbolos. Un símbolo RS consta de 7 bits. Por tanto, hay en total 53.802 bits en una trama FEC. (Véase B.5.1)	La organización de trama se basa en la estructura de los paquetes de transporte MPEG-2 (Véanse A.4, C.4 y D.4)			
Codificación de canal	Aleatorización	Trinomio para PRS: $X^3 + X + \alpha^3$ en GF 128 (Véase B.5.4)	Polinomio de 15 bits para PRBS: $1 + X^{14} + X^{15}$ (Véanse A.5.1 y C.5.1)	Polinomio de 16 bits para PRBS: $1 + X + X^3 + X^6 + X^7 + X^{11} + X^{12} + X^{13} + X^{16}$ (Véase D.5.1)		
	FEC	Codificación concatenada, RS(128,122) GF 128 con codificación convolucional (Véase B.5)	RS (204,188) GF 256 (Véanse A.5.2 y C.5.2)	RS (207,187) GF 256 (Véase D.5.2)		
	Intercalación	Intercalación convolucional, profundidad: I = 128 (Véase B.5.2)	Intercalación convolucional, profundidad: I = 12 (Véanse A.5.3, C.5.3)	Intercalación convolucional, profundidad: I = 52 (Véase D.5.3)		
Modulación	Correspondencia de byte a símbolo	Véase B.5.5	Véanse A.6 y C.6.1		Véase D.6.1	
	Codificación diferencial	Véase B.5.5	Véanse A.6 y C.6.2		Ninguna	
	Codificación reticular	Véase B.5.5	Ninguna			
	Anchura de banda	6 MHz	8 MHz	6 MHz		
	Constelación	64-QAM Figura B.13	16, 32, 64-QAM Figura A.7	64-QAM Figura C.7	16-VSB	
	Régimen de caída	18% Véase B.8	15% Véase A.7	13% Véase C.6.4	11.5% Véase D.6.3	
	Características del filtro de banda base	Cuadro B.1	Figura A.8	Figura C.8	Figura D.11	

Anexo A

Sistema digital multiprograma A

(Este anexo es parte integrante de esta Recomendación)

A.1 Introducción

Este anexo es resultado de trabajos sobre radiodifusión de televisión digital por satélite realizados en Europa; describe la estructura de trama, la codificación de canal y la modulación (denominado «el sistema» en este anexo) de la distribución de televisión digital multiprograma por cable. Este sistema puede utilizarse transparentemente con el sistema de modulación/codificación de canal utilizado en la televisión digital multiprograma por satélite (véase la referencia [1]). El sistema permite evolución ulterior a medida que avance la tecnología.

El sistema se basa en MPEG-2 (véase la referencia [2] relativos a la codificación de fuente y multiplexación de transporte. Se basa en la modulación de amplitud en cuadratura (QAM). Permite constelaciones de 16, 32 ó 64-QAM y la extensión futura a constelaciones superiores, tales como 128-QAM y 256-QAM.

La FEC del sistema está diseñada para que mejore la tasa de errores de bits (BER) de 10^{-4} a un margen de 10^{-10} a 10^{-11} , asegurando una operación «cuasi sin errores» (QEF) con aproximadamente un evento erróneo no corregido por hora de transmisión.

A.2 Concepto de sistema de cable

El sistema de cable se definirá como el bloque funcional del equipo que realiza la adaptación de las señales TV de banda base a las características del canal de cable (véase la Figura A.1). En la cabecera del cable pueden considerarse las siguientes fuentes de señal de banda base de TV:

- señal(es) de satélite;
- enlace(s) de contribución;
- fuente(s) de programa(s) local(es).

Los procesos siguientes se aplicarán como se muestra en la Figura A.1.

A.2.1 Interfaz¹⁾ de banda base y sincronismo

Esta unidad adaptará la estructura de datos al formato de la fuente de señal. La estructura de trama estará de acuerdo con la capa de transporte del MPEG-2 incluidos los bytes de sincronismo.

A.2.2 Inversión de sincronismo 1 y aleatorización

Esta unidad invertirá el byte de sincronismo 1 de acuerdo con la estructura de trama de MPEG-2, y aleatoriza el flujo de datos para fines de conformación de espectro.

A.2.3 Codificador Reed-Solomon (RS)

Esta unidad aplicará un código Reed-Solomon (RS) abreviado a cada paquete de transporte aleatorizado para generar un paquete protegido contra errores. Este código también se aplicará al propio byte de sincronismo.

A.2.4 Intercalador convolucional

Esta unidad efectuará una intercalación convolucional de profundidad $I = 12$ de los paquetes protegidos contra errores. La periodicidad de los bytes de sincronismo permanecerá invariable.

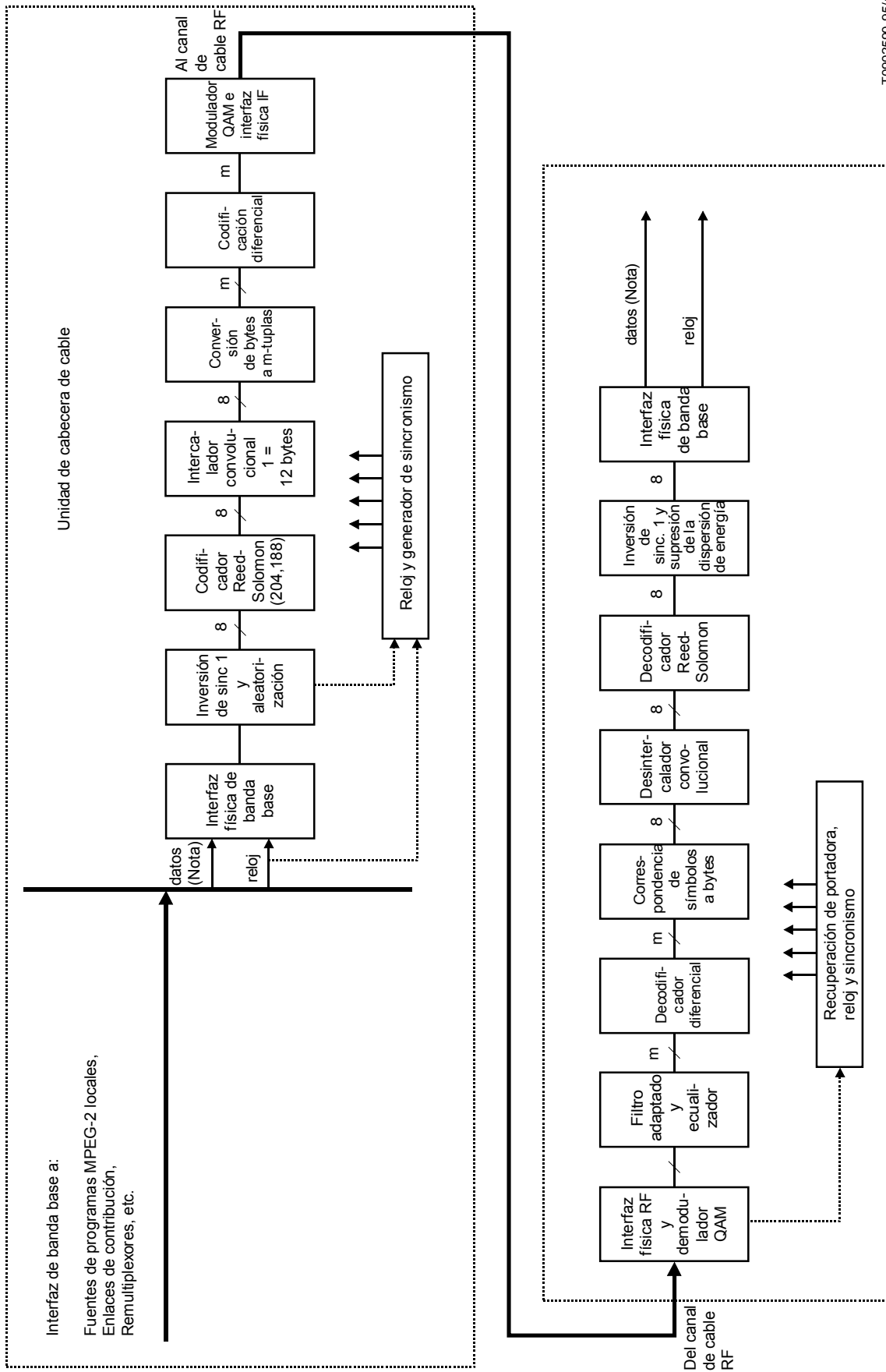
A.2.5 Conversión de bytes a m-tuplas

Esta unidad efectuará una conversión a símbolos QAM de los bytes generados por el intercalador.

A.2.6 Codificación diferencial

A fin de obtener una constelación invariante con la rotación, esta unidad aplicará una codificación diferencial de los 2 bits más significativos (MSB) de cada símbolo.

¹⁾ Las interfaces no forman parte de esta Recomendación.



T0902590-95/00

FIGURA A.1/J.83

NOTA – Paquetes MUX de transporte MPEG-2.

Documento de Trabajo de la Comisión de Cable de la Unión Internacional de Telecomunicaciones

A.2.7 Modulación QAM e interfaz física

Esta unidad efectúa un filtrado en raíz cuadrada de coseno alzado de las señales I y Q previo a la modulación QAM. Esta operación es seguida por la puesta en interfaz de la señal modulada QAM con el canal de cable de radiofrecuencia (RF).

A.2.8 Receptor de cable

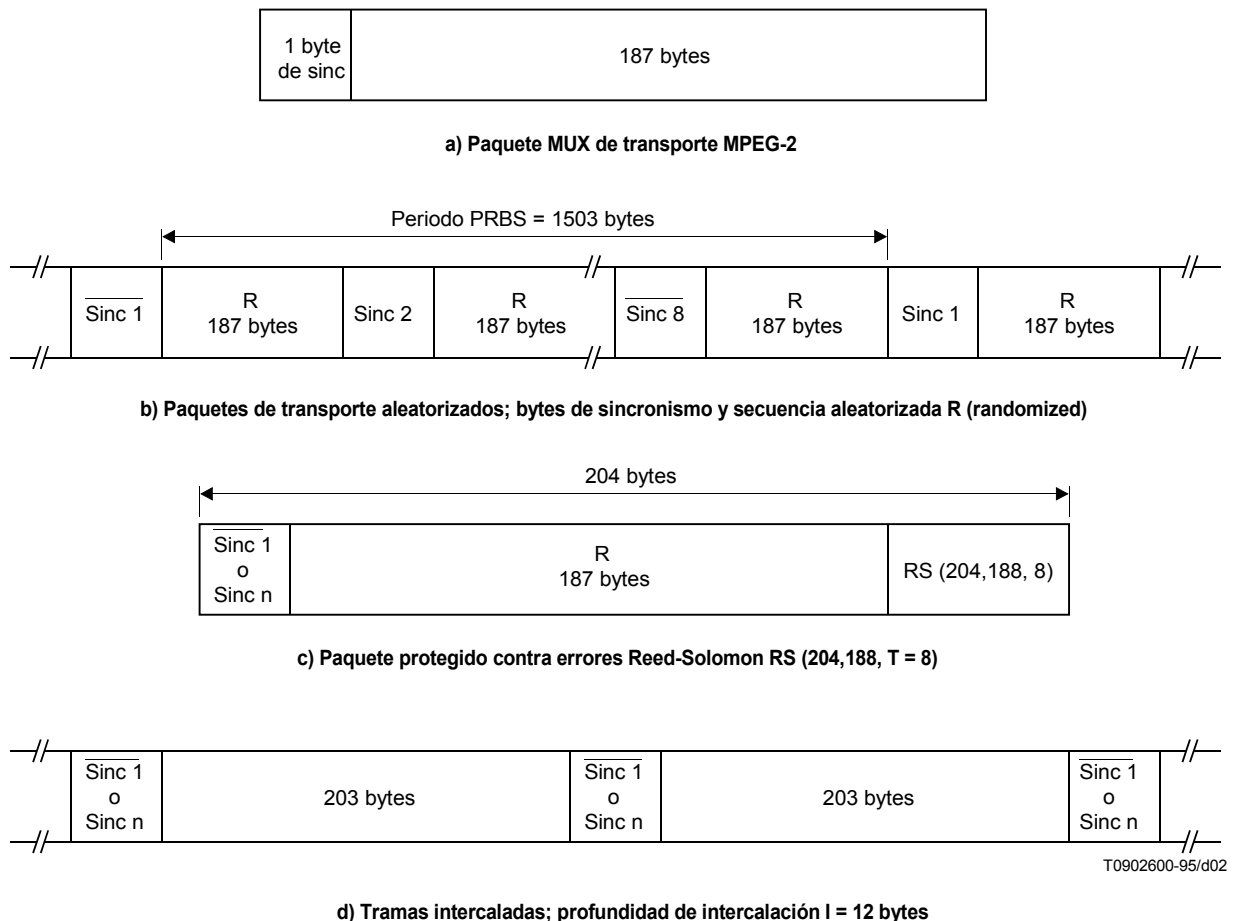
Un receptor del sistema efectuará el procesamiento de señal inverso, que se describe para el proceso de modulación citado, a fin de recuperar la señal de banda base.

A.3 Capa de transporte MPEG-2

La capa de transporte MPEG-2 se define en la referencia [2]. La capa de transporte de datos MPEG-2 se compone de paquetes que tienen 188 bytes, con 1 byte para fines de sincronización, 3 bytes de encabezamiento que contienen identificación del servicio, aleatorización e información de control, seguidos por 184 bytes de MPEG-2 o datos auxiliares.

A.4 Estructura de trama

La organización de las tramas se basará en la estructura de los paquetes de transporte MPEG-2. La estructura de las tramas del sistema se muestra en la Figura A.2.



Sinc 1 Byte de sincronismo complementado no aleatorizado
Sinc n Byte de sincronismo no aleatorizado, n = 2, 3, ..., 8

FIGURA A.2/J.83
Estructura de las tramas

A.5 Codificación de canal

Para conseguir el nivel apropiado de protección contra errores necesarios para la transmisión por cable de datos digitales, se utilizará una FEC basada en la codificación Reed-Solomon. A diferencia del sistema de base (*baseline system*) para satélite descrito en la referencia [1], no se aplicará ninguna codificación convolucional a la transmisión por cable. La protección contra ráfagas de errores se conseguirá mediante intercalación de bytes.

A.5.1 Aleatorización para la conformación del espectro

El flujo de entrada del sistema se organizará en paquetes de longitud fija (véase la Figura A.2), después del multiplexor de transporte MPEG-2. La longitud total del paquete MUX de transporte MPEG-2 es de 188 bytes, incluido un byte de palabra de sincronismo (es decir, 47_{HEX}). El orden de procesamiento en el lado transmisión empezará siempre por el MSB (es decir, 0) del byte de la palabra de sincronismo (es decir, 01000111).

Para satisfacer las condiciones del sistema de satélite (véase la referencia [1]) y asegurar las transiciones binarias adecuadas de la recuperación de reloj, los datos a la salida del multiplex de transporte MPEG-2 serán aleatorizados con arreglo a la configuración representada en la Figura A.3.

El polinomio del generador de secuencias binarias pseudoaleatorias (PRBS) será:

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

La carga de la secuencia «100101010000000» en los registros PRBS, como se indica en la Figura A.3, se iniciará al comienzo de cada 8 paquetes de transporte. Para proporcionar una señal de inicialización al desaleatorizador, el byte de sincronismo MPEG-2 del primer paquete de transporte de un grupo de 8 paquetes se invertirá bit a bit de 47_{HEX} a B8_{HEX}.

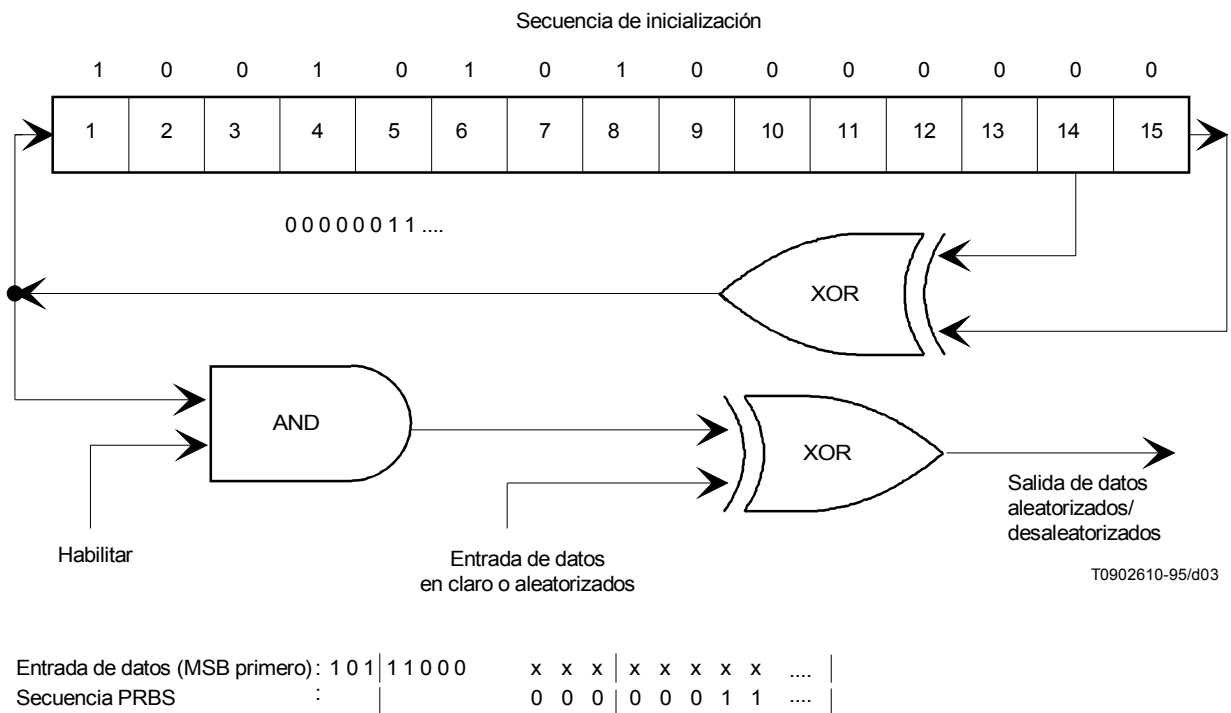


FIGURA A.3/J.83

Diagrama esquemático del aleatorizador/desaleatorizador

El primer bit a la salida del generador PRBS se aplicará al primer bit del primer byte siguiente al byte de sincronismo MPEG-2 (es decir, B8_{HEX}). Para ayudar a otras funciones de sincronización, durante los bytes de sincronismo MPEG-2 de los siete paquetes de transporte siguientes, continúa la generación de PRBS, pero su salida será desactivada, dejando estos bytes sin aleatorizar. El periodo de la secuencia PRBS será por tanto de 1503 bytes.

El proceso de aleatorización estará activo también cuando el flujo de bits de entrada del demodulador es inexistente, o cuando no cumple con el formato del flujo de transporte MPEG-2 (es decir, 1 byte de sincronismo + 187 bytes de paquete). Se hace así para evitar la emisión de una portadora no modulada desde el modulador.

A.5.2 Codificación Reed-Solomon

Tras el proceso de la aleatorización por dispersión de energía, se realizará la codificación Reed-Solomon abreviada en cada paquete de transporte MPEG-2 aleatorizado, con $T = 8$. Esto significa que pueden corregirse 8 bytes erróneos por paquete de transporte. Este proceso añade 16 bytes de paridad al paquete de transporte MPEG-2 para obtener una palabra de código (204, 188).

NOTA – La codificación RS también se aplicará al byte de sincronismo de paquete, ya sea no invertido (es decir, 47_{HEX}) o invertido (es decir B8_{HEX}).

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

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

El código Reed-Solomon abreviado se implementará agregando 51 bytes, todos puestos a cero, antes de los bytes de información a la entrada de un codificador (255,239); después del procedimiento de codificación se descartan estos bytes.

A.5.3 Intercalación convolucional

Siguiendo el esquema de la Figura A.4, se aplicará intercalación convolucional de profundidad $I = 12$ a los paquetes protegidos contra errores [(véase la Figura A.2 c)]. Esto produce una trama intercalada [(véase la Figura A.2 d)].

El proceso de intercalación convolucional se basará en el planteamiento de Forney, que es compatible con el planteamiento Ramsey tipo III, con $I = 12$. La trama intercalada se compondrá de paquetes superpuestos protegidos contra errores y estará delimitada por bytes de sincronismo MPEG-2 (que preservan la periodicidad de 204 bytes).

El intercalador puede componerse de $I = 12$ ramales, cíclicamente conectados al flujo de bytes de entrada por el conmutador de entrada. Cada ramal será un registro de desplazamiento primero en entrar, primero en salir (FIFO), con células de profundidad (M_j) (donde $M = 17 = N/I$, $N = 204 =$ longitud de trama protegida contra errores, $I = 12 =$ profundidad de intercalación, $j =$ índice del ramal). Las células del FIFO contendrán 1 byte y los conmutadores de entrada y de salida serán sincronizados.

Para fines de sincronización, los bytes de sincronismo y los bytes de sincronismo invertido serán siempre encaminados en el ramal «0» del intercalador (correspondiente a un retardo nulo).

NOTA – El desintercalador es similar, en principio, al intercalador, pero los índices de ramal están invertidos (es decir, $j = 0$ corresponde al retardo máximo). La sincronización del desintercalador puede efectuarse encaminando el primer byte de sincronismo reconocido en el ramal «0».

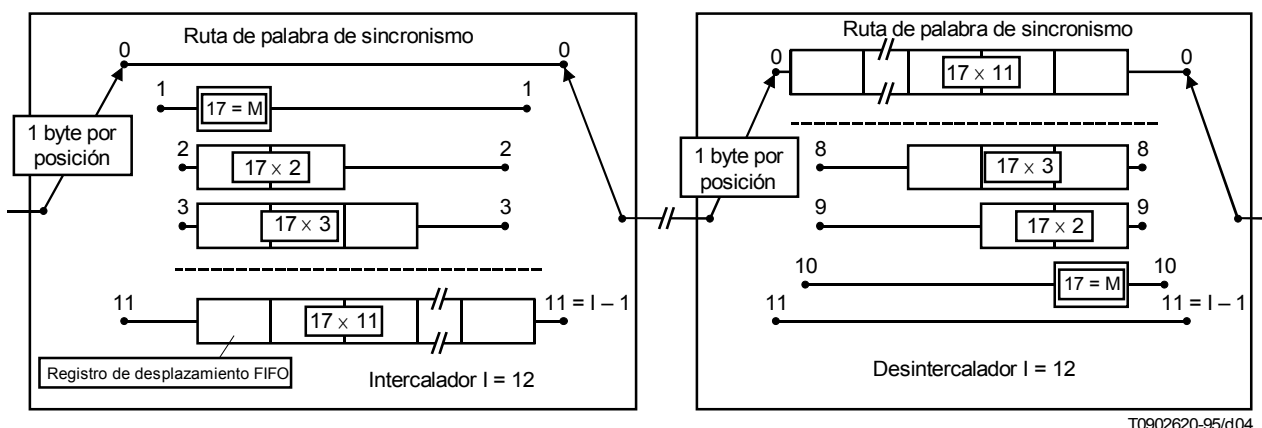


FIGURA A.4/J.83

Diagrama conceptual del intercalador y desintercalador convolucionales

A.6 Correspondencia de bytes a símbolos

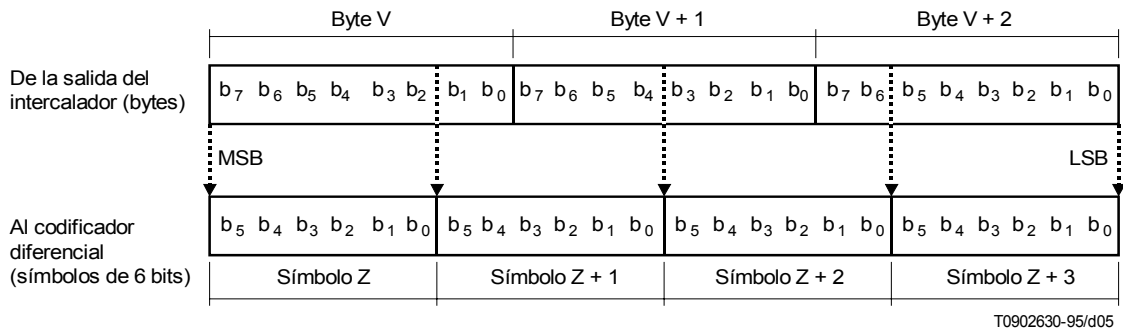
Después de la intercalación convolucional, se efectuará una correspondencia exacta de bytes a símbolos. La correspondencia se basará en el uso de fronteras de bytes en el sistema de modulación.

En cada caso, el MSB del símbolo Z se tomará del MSB de byte V.

Por consiguiente, el siguiente bit significativo del símbolo se tomará del siguiente bit significativo del byte. En el caso de modulación 2^m -QAM, el proceso hará corresponder k bytes hacia n símbolos, de manera que:

$$8k = n \cdot m$$

En la Figura A.5 se ilustra el proceso en el caso de 64-QAM (donde $m = 6$, $k = 3$ y $n = 4$):



NOTAS

- 1 Se entenderá que b_0 es el byte menos significativo (LSB) de cada byte o m-tupla.
- 2 En esta conversión, cada byte produce más de una m-tupla denominada Z, Z + 1, etc., transmitiéndose Z antes que Z + 1.

FIGURA A.5/J.83

Conversión de bytes a m-tuplas para 64-QAM

Los dos bits más significativos de cada símbolo se codificarán diferencialmente a fin de obtener una constelación QAM invariante a la rotación $\pi/2$. La codificación diferencial de los dos MSB vendrá dada por la expresión siguiente:

$$I_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (A_k \oplus I_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (A_k \oplus Q_{k-1})$$

$$Q_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (B_k \oplus Q_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (B_k \oplus I_{k-1})$$

La Figura A.6 da un ejemplo de implementación de conversión de bytes a símbolos.

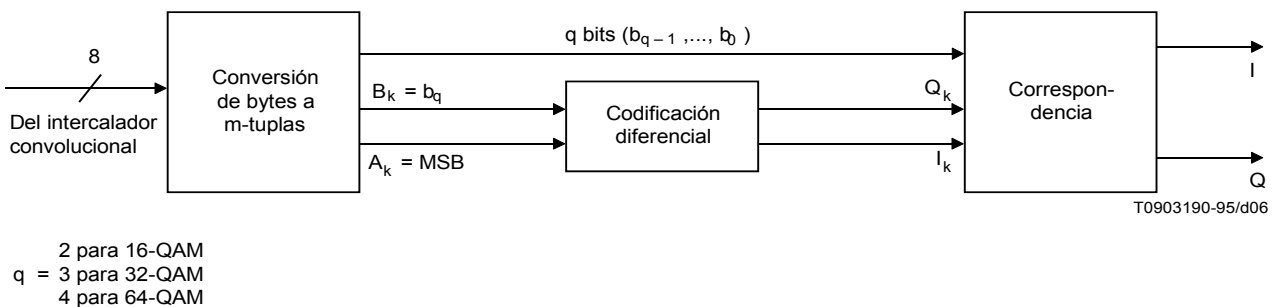


FIGURA A.6/J.83

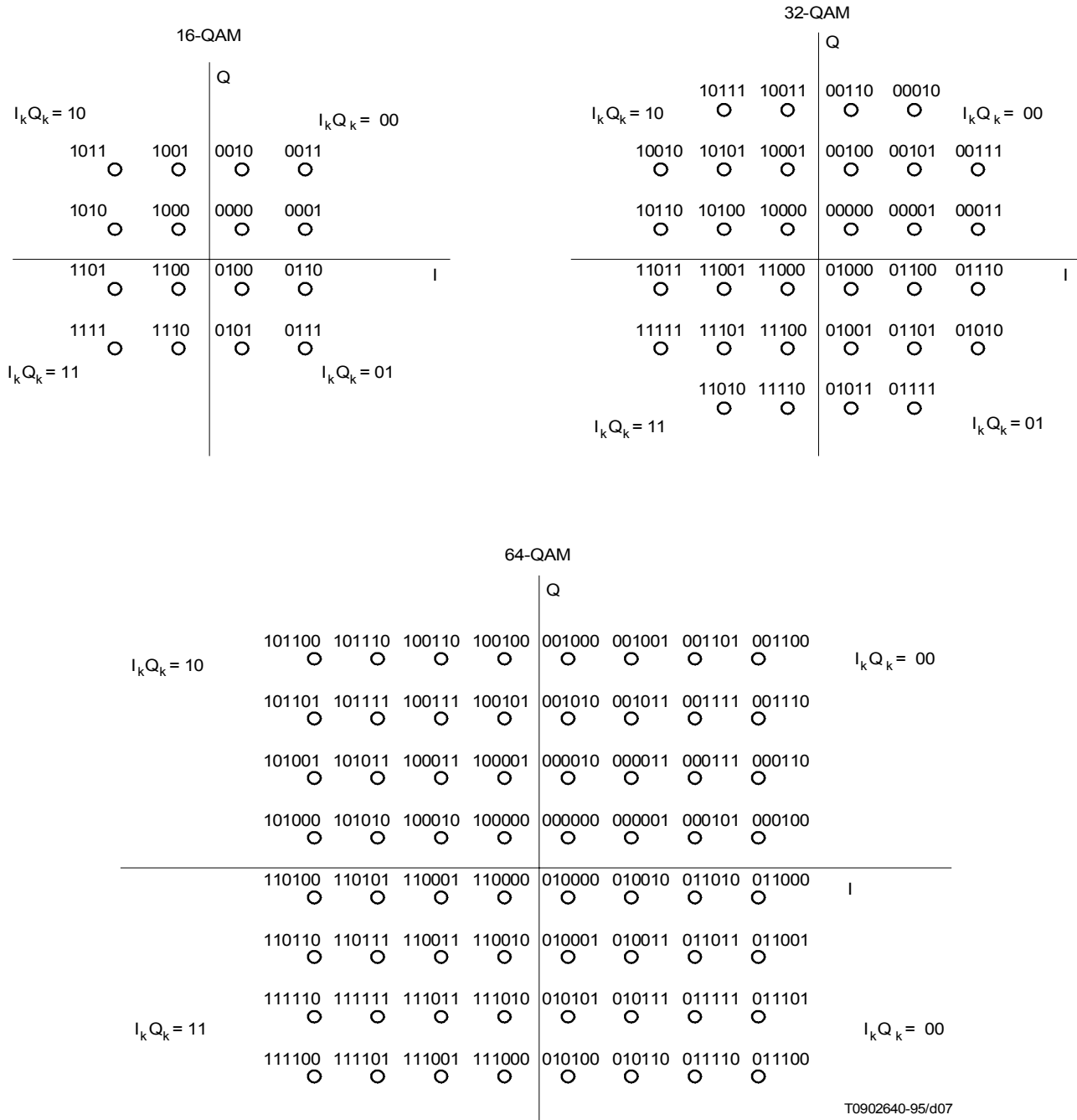
Ejemplo de implementación de la conversión de bytes a m-tuplas y la codificación diferencial de los dos MSB

A.7 Modulación

La modulación del sistema será modulación de amplitud en cuadratura (QAM) con 16, 32 ó 64 puntos en el diagrama de constelación.

Los diagramas de constelación del sistema para 16-QAM, 32-QAM y 64-QAM se representan en la Figura A.7.

Como muestra la Figura A.7, los puntos de constelación del cuadrante 1 se convertirán a los cuadrantes 2, 3 y 4 cambiando los dos MSB (es decir, I_k y Q_k) y haciendo rotar los q LSBs según la regla indicada en el Cuadro A.1.



NOTA – $I_k Q_k$ son los dos MSB de cada cuadrante.

FIGURA A.7/J.83
Diagramas de constelación de 16-QAM, 32-QAM y 64-QAM

Conversión de los puntos de constelación del cuadrante 1 a otros cuadrantes del diagrama de constelación indicado en la Figura A.7

Cuadrante	MSBs	Rotación de LSBs
1	00	
2	10	+ $\pi/2$
3	11	+ π
4	01	+ $3\pi/2$

NOTA – Los receptores soportarán al menos la modulación 64-QAM.

Antes de la modulación, las señales I y Q se filtrarán en raíz cuadrada de coseno alzado. El factor de caída será 0,15.

El filtro de raíz cuadrada de coseno alzado tendrá una función teórica definida por la expresión siguiente:

$$H(f) = 1 \text{ para } |f| < f_N(1 - \alpha)$$

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

$$H(f) = 0 \text{ para } |f| > f_N(1 + \alpha)$$

donde

$$f_N = \frac{1}{2 T_s} = \frac{R_s}{2} \text{ es la frecuencia de Nyquist y el factor de caída } \alpha = 0,15.$$

La característica del filtro de transmisor se indica en A.8.

A.8 Características del filtro de banda base

La plantilla representada en la Figura A.8 se utilizará como un requisito mínimo para la implementación de soporte físico del filtro de Nyquist. Esta plantilla tiene en cuenta no sólo las limitaciones de diseño del filtro digital, sino también los artefactos derivados de los componentes de procesamiento analógico del sistema (por ejemplo, conversión de D/A, filtrado analógico, etc.).

El valor del rizado dentro de banda r_m en la banda de paso hasta $(1 - \alpha) f_N$ así como a la frecuencia de Nyquist f_N será inferior a 0,4 dB. El rechazo fuera de banda será superior a 43 dB.

El filtro tendrá una respuesta lineal de fase con el rizado de retardo de grupo $\leq 0,1 T_s$ (ns) hasta f_N ,

donde:

$$T_s = 1/R_s \text{ es el periodo de símbolo.}$$

NOTA – Los valores del rizado dentro de banda y de rechazo fuera de banda indicados en este anexo serán objeto de estudio ulterior.

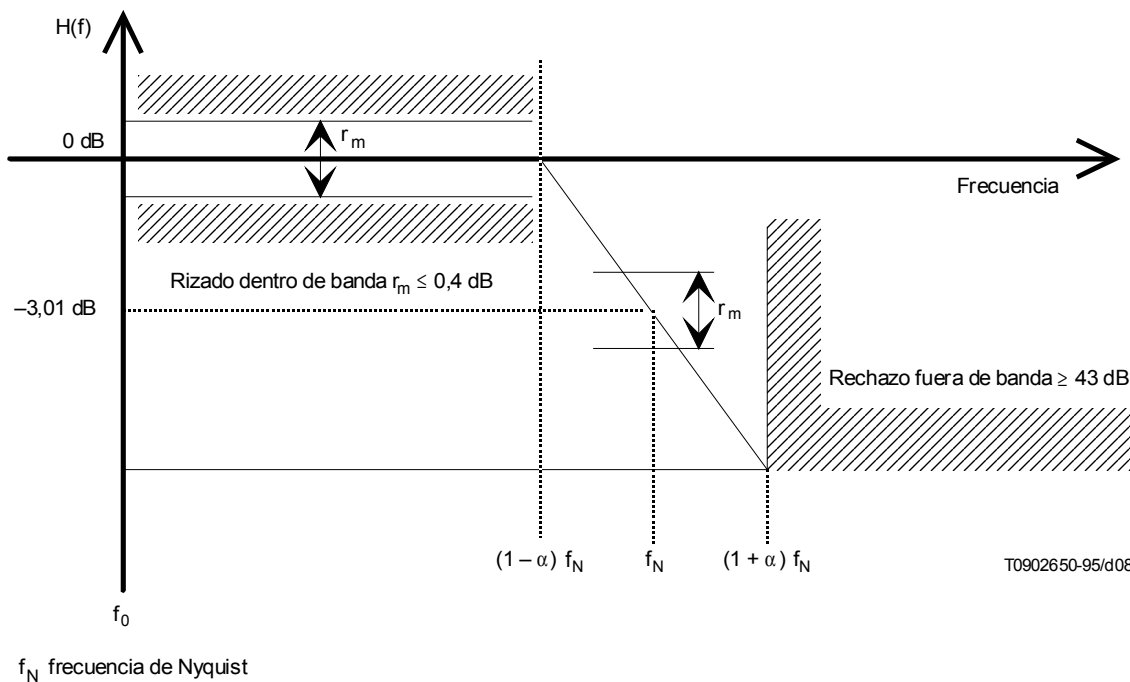


FIGURA A.8/J.83
Característica de amplitud del filtro de banda base semi-Nyquist

Anexo B

Sistema digital multiprograma B

(Este anexo es parte integrante de esta Recomendación)

B.1 Introducción

Este anexo describe la estructura de trama, la codificación de canal y la modulación para la distribución de televisión digital multiprograma por cable. El diseño de la modulación, intercalación y codificación se basa en la prueba y caracterización de los sistemas de cable de América del Norte. La modulación es modulación de amplitud en cuadratura con una constelación de señales de 64 puntos (64-QAM), y la velocidad de símbolos QAM y la anchura de banda ocupada se optimizan para un plan de canales de 6 MHz. La corrección de errores en recepción (FEC) se basa en un planteamiento de codificación concatenada que produce una elevada ganancia de codificación con una complejidad y una tara moderadas. La FEC del sistema se optimiza para operación cuasi sin errores a una velocidad umbral de eventos de error de salida de un evento erróneo por periodo de 15 minutos.

El sistema también permite la ulterior evolución a constelaciones QAM de orden superior e inferior. Actualmente hay en estudio modificaciones adecuadas a la codificación con corrección de errores en recepción y la correspondencia de símbolos QAM, por ejemplo, 256-QAM.

B.2 Concepto de sistema de cable

La codificación de canal y la transmisión son específicas de un determinado medio o canal de comunicación. Las estadísticas de errores de canal y las características de distorsión previstas son críticas al determinar la corrección de errores y la demodulación apropiadas. El canal de cable, que incluye concentración de fibras, se considera principalmente un canal lineal de anchura de banda limitada, con una combinación equilibrada de ruido blanco, interferencia y distorsión multitrayecto. La técnica de modulación de amplitud en cuadratura (QAM) utilizada, junto con la ecualización adaptativa y de la codificación concatenada, es muy adecuada para esta aplicación y este canal.

El diagrama de bloques estratificado básico del procesamiento de transmisión por cable se muestra en la Figura B.1.

Las subcláusulas que siguen definen estas capas desde el «exterior» en, y desde la perspectiva del lado transmisor.

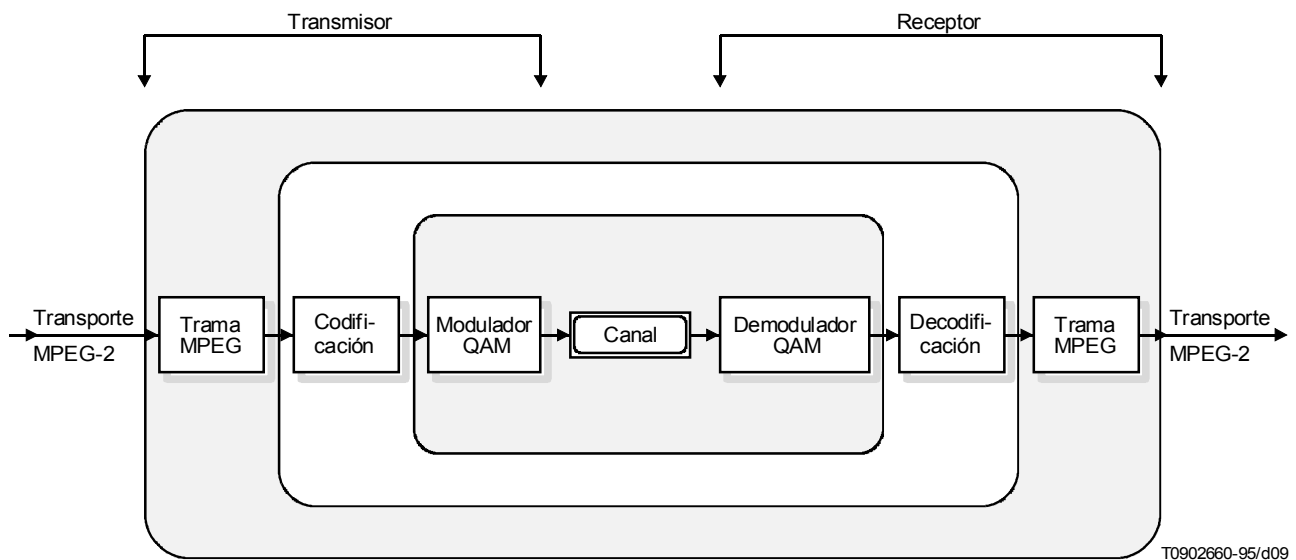


FIGURA B.1/J.83

Diagrama de bloques de transmisión por cable

B.3 Capa de transporte MPEG-2

La capa de transporte MPEG-2 se define en la referencia [2]. La capa de transporte de datos MPEG-2 se compone de paquetes que tienen 188 bytes, con 1 byte para fines de sincronización, 3 bytes de encabezamiento que contienen identificación del servicio, aleatorización e información de control, seguidos por 184 bytes de MPEG-2 o datos auxiliares.

B.4 Trama de transporte MPEG

La trama de transporte MPEG es la capa más exterior del procesamiento. Este bloque de procesamiento recibe un flujo de datos de transporte MPEG-2 compuesto por un flujo continuo de paquetes de longitud fija 188 bytes. Este flujo de datos se transmite en modo serie, con el MSB primero. El primer byte de un paquete se especifica que sea un byte de sincronismo que tenga un valor de 47_{HEX} .

El byte de sincronismo está destinado a facilitar la delimitación de paquetes en un decodificador. El sistema de transmisión por cable ha incorporado un canal adicional de procesamiento para hacer uso de la capacidad de contenido de información de este byte de sincronismo. Una suma de comprobación de paridad es sustituida por este byte de sincronismo, que suministra funcionalidad mejorada de delimitación de paquetes, y una capacidad de detección de errores independiente de la capa FEC.

La suma de comprobación de paridad se calcula a lo largo de los 187 bytes sucesivos que constituyen el contenido de paquetes MPEG-2 inmediatamente precedente (menos el byte de sincronismo). Es entonces posible soportar sincronización de paquetes y detección de errores simultáneas. El decodificador calcula una suma de comprobación móvil del flujo de datos serie, utilizando la detección de una palabra de código válida para detectar el comienzo del paquete. Una vez establecida una condición de alineación bloqueada, la ausencia de una palabra de código válida en el lugar esperado indicará un error de paquete. La bandera de error del paquete puede entonces ser fijada. Una vez que los datos son transmitidos desde el extremo frontal del decodificador, la palabra de sincronismo puede ser reinsertada en lugar de la suma de comprobación para proporcionar un flujo de datos MPEG-2 normalizado.

El decodificador utiliza una matriz de comprobación de paridad para identificar una suma de comprobación válida. El código se ha concebido de manera que cuando se multiplican los 188 bytes apropiados del flujo de bits (incluida la suma de comprobación) con respecto a la matriz de comprobación de paridad, se indica una concordancia positiva cuando el producto calculado produce un resultado 47_{HEX} . Cada una de las 8 columnas de la matriz de comprobación de paridad «P» incluye un vector de 1497 bits, denominado en adelante «C». Este vector se define en la Figura B.2.

A medida que nos desplazamos desde la columna de la izquierda de la matriz «P», la columna «C» de 1497 bits es duplicada en columnas posteriores de la matriz «P», desplazada en una posición de bit. Las posiciones de bit no ocupadas por los datos de la columna se llenan con ceros, como se ilustra en la Figura B.3.

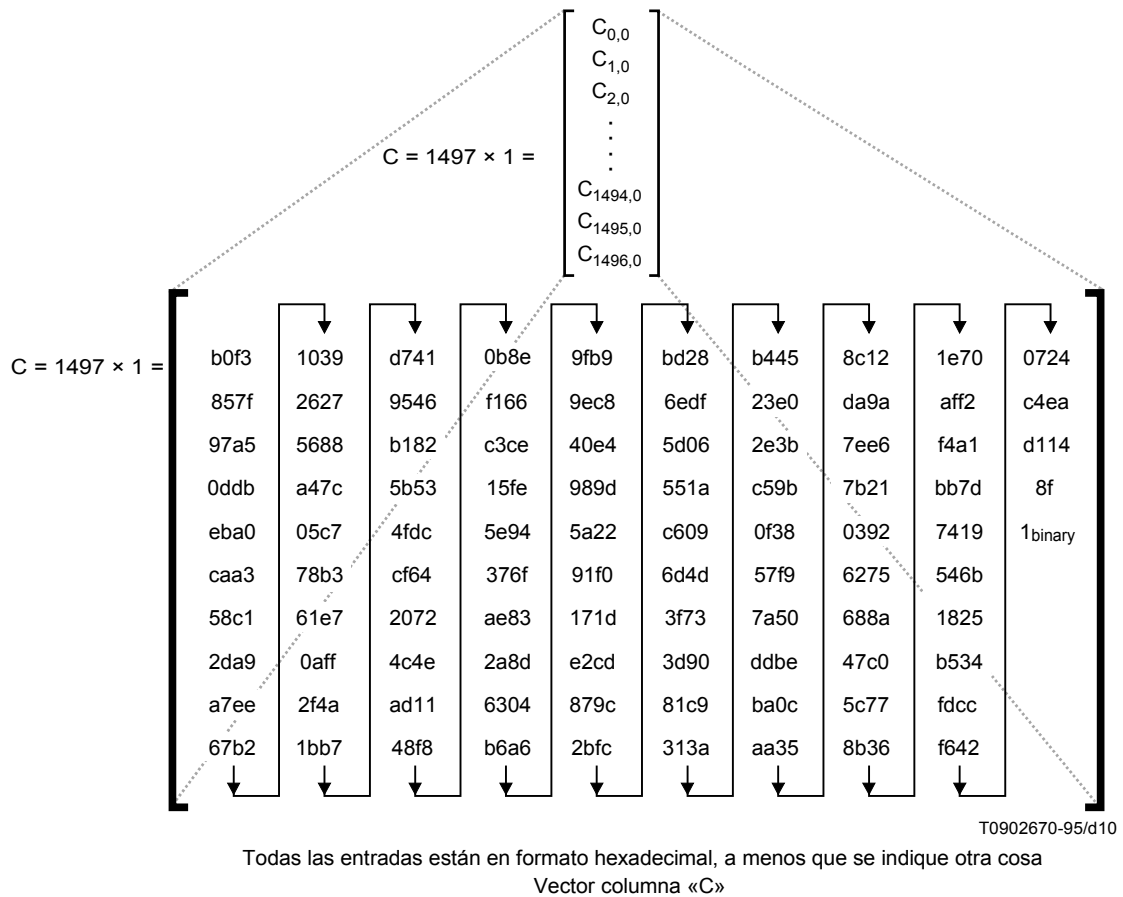


FIGURA B.2/J.83

Vector columna «C» (reproducido dentro de la matriz de verificación de paridad)

Es de señalar que la suma de comprobación se calcula mediante los 187 bytes anteriores y no los 187 bytes aún por recibir por el decodificador de sincronismo MPEG-2, a diferencia de la noción convencional de una estructura de paquete MPEG, en el que el byte de sincronismo suele describirse como el primer byte de un paquete recibido.

El vector recibido «R» lo constituyen los datos MPEG-2 compuestos por 187 bytes seguidos por el byte de suma de comprobación, lo que da un total de 1504 bits. Este vector «R» se multiplica (módulo 2) por la matriz «P» de comprobación de paridad, lo que da un vector «S» de 8 bits de longitud, ilustrado en la Figura B.4.

Se indica que suma de comprobación es válida cuando $S = [0100, 0111] = 47_{\text{HEX}}$.

Es de señalar que este planteamiento por capas soporta la transmisión de formatos de transporte distintos de los del transporte MPEG-2. La cláusula de las tramas se sustituiría por una apropiada al transporte, y todas las demás partes de esta especificación (modulación, codificación, intercalación) serían directamente aplicables.

B.5 Corrección de errores en recepción

La definición de la corrección de errores en recepción (FEC) se compone de cuatro capas de procesamiento. Véase la Figura B.5.

La cláusula FEC utiliza diversos tipos de algoritmos de corrección de errores y técnicas de desintercalación para transportar datos fiablemente por canal de cable.

- Codificación Reed-Solomon (RS) – Proporciona codificación y decodificación de bloques para corregir hasta tres símbolos dentro de un bloque RS.
- Intercalación – Dispersa uniformemente los símbolos, protegiéndolos contra el envío al decodificador RS de una ráfaga de errores de símbolo.

- Aleatorización – Aleatoriza los datos en el canal para permitir una sincronización eficaz del demodulador QAM.
- Codificación convolucional – Proporciona codificación convolucional y decodificación reticular de decisión blanda de errores de canal aleatorios.

En las subcláusulas que siguen se definen estas 4 capas.

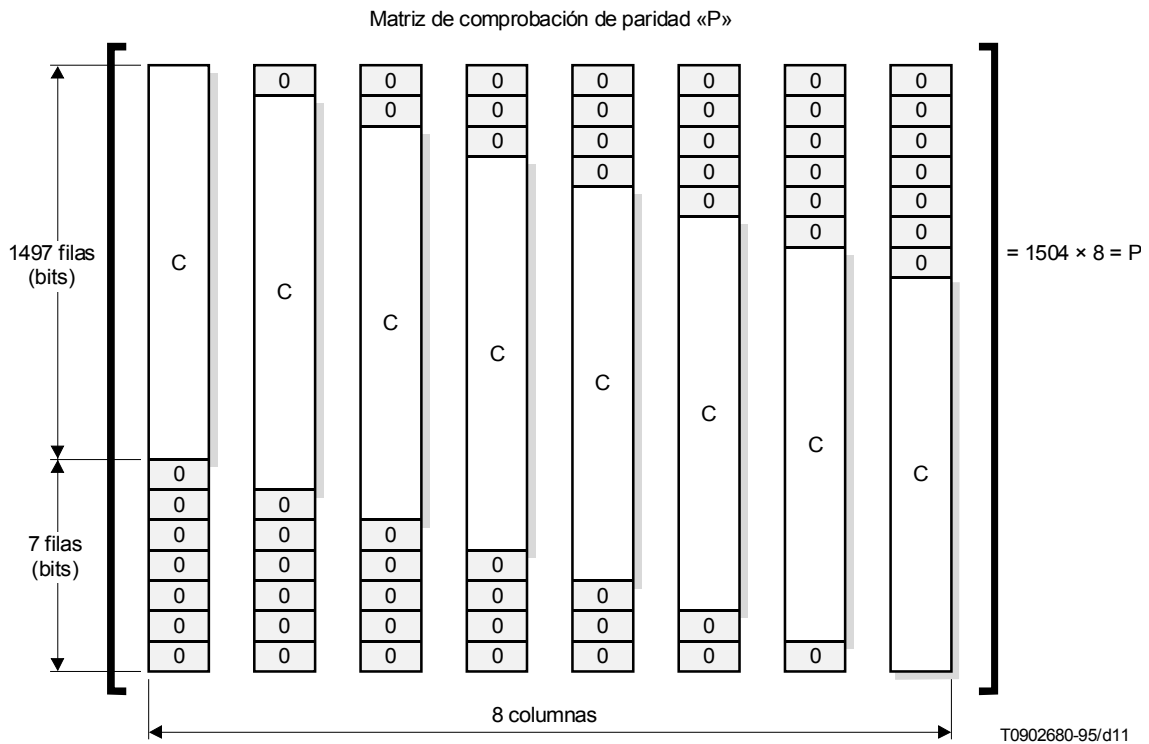


FIGURA B.3/J.83

Estructura de la matriz de comprobación de paridad «P»

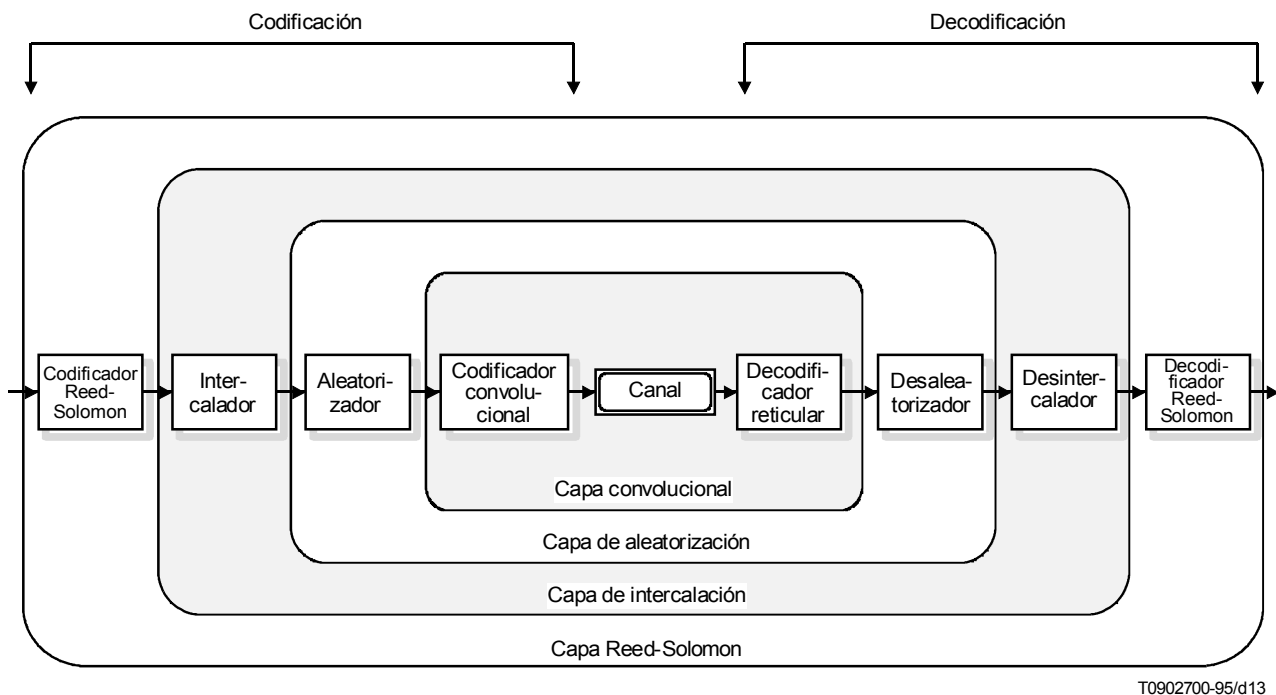
$$\begin{bmatrix} \text{«Vector» R} \\ \text{(Ventana de alineación)} \\ 1 \times 1504 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{«Matriz» P} \\ \text{(Comprobación de paridad)} \\ 1504 \times 8 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{«Vector» S} \\ \text{(Suma de comprobación recibida)} \\ 1 \times 8 \end{bmatrix}$$

$S = [0100 \ 0111] = 47_{\text{HEX}}$

T0902690-95/d12

FIGURA B.4/J.83

Vector MPEG-2 recibido y multiplicación de la matriz de comprobación de paridad



T0902700-95/d13

FIGURA B.5/J.83
Capas de procesamiento en la FEC

B.5.1 Codificación Reed-Solomon

Una trama FEC consta de un encabezamiento de sincronismo de seis símbolos de 7 bits seguido por 60 bloques RS, cada uno de los cuales contiene 128 símbolos. Un símbolo RS consta de 7 bits. De este modo, hay en total 53 802 bits en una trama FEC.

El flujo de transporte MPEG-2 se codificará RS con un código de (128, 122), como se muestra en la Figura B.6.

Seis símbolos de 128 símbolos de un bloque RS son símbolos de paridad, utilizados para corregir hasta tres errores de símbolo ($t = 3$) dentro de cada bloque de los 122 símbolos (896 bits).

El campo Galois (128) se basa en el polinomio primitivo:

$$x^7 + x^3 + 1$$

El código RS ampliado utiliza el siguiente polinomio generador:

$$g(x) = (x + \alpha)(x + \alpha^2)(x + \alpha^3)(x + \alpha^4)(x + \alpha^5)$$

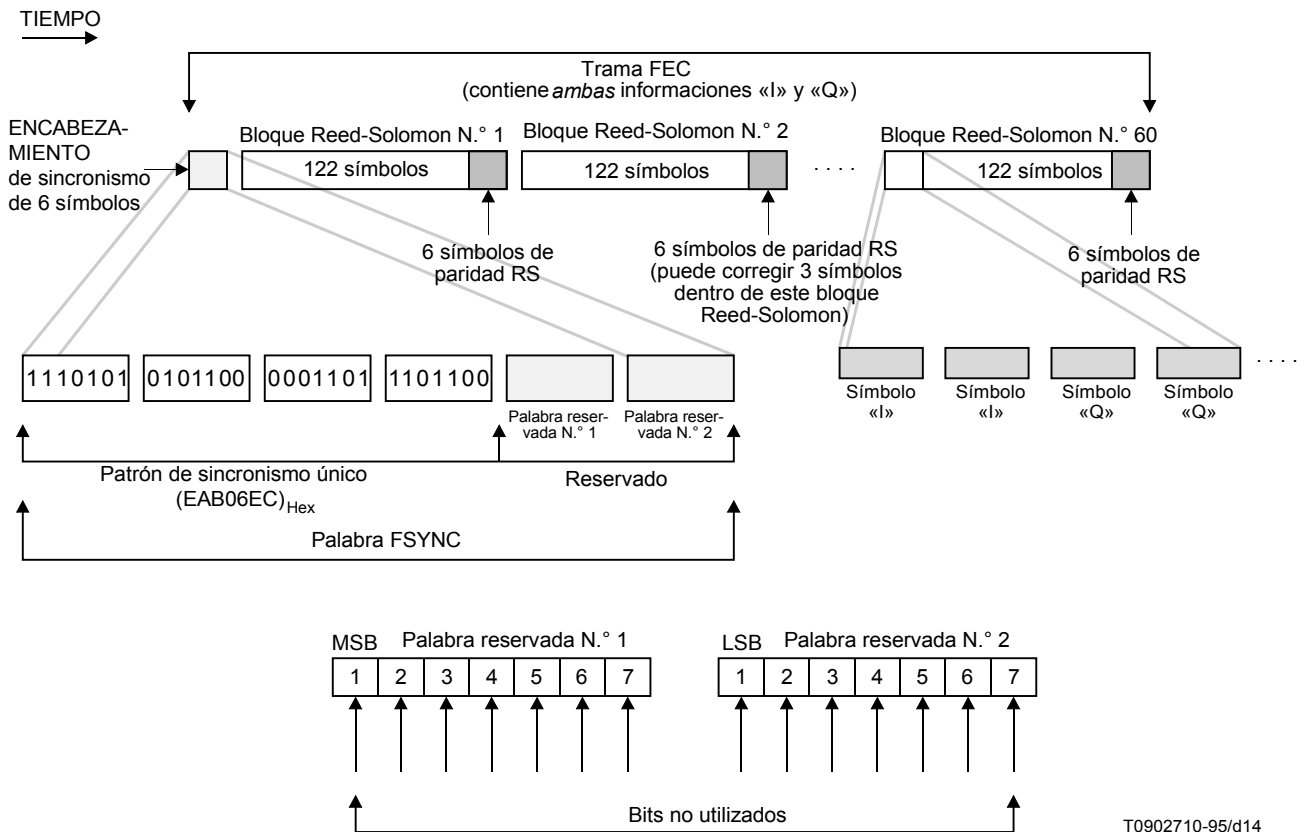
$$g(x) = x^5 + \alpha^{52}x^4 + \alpha^{116}x^3 + \alpha^{119}x^2 + \alpha^{61}x + \alpha^{15}$$

que se utiliza para calcular los 5 símbolos de paridad del código. El sexto símbolo de paridad ampliada se obtiene evaluando la palabra de código de 127 símbolos que se indica a continuación:

$$c(x) = c_0 + c_1x + c_2x^2 + \dots + c_{126}x^{126}$$

en el punto α^6 , donde c_i designa el i -ésimo símbolo de palabra de código. De este modo,

$$c(\alpha^6) = c_0 + c_1\alpha^6 + c_2\alpha^{12} + \dots + c_{126}\alpha^{756}$$



T0902710-95/d14

NOTA – Un símbolo consta de 7 bits.

FIGURA B.6/J.83
Formato de paquete de trama

Los 122 símbolos de datos son también enviados simultáneamente al canal de transmisión. Después de que han sido codificados los 122 símbolos de datos, 6 símbolos de paridad son desplazados al canal de transmisión. Las palabras de código se transmiten en orden de símbolos ascendente, con el MSB primero.

Los 4 primeros símbolos de la palabra FSYNC contiene el patrón de sincronización «único» de 28 bits (1110101 0101100 0001101 110110) o (75 2C 0D 6C)_{HEX}. Será insertado por el codificador y detectado en el decodificador. Los circuitos del decodificador escudriñan este patrón y determinan la ubicación del fin de trama cuando se encuentra. Los dos símbolos restantes se reservan para aplicaciones futuras.

NOTA – No hay ninguna relación de sincronización entre el bloque RS transmitido y los paquetes de flujo de transporte MPEG. La sincronización MPEG-2 es independiente de la sincronización de trama RS, manteniendo una nítida distinción entre estas capas de los sistemas de comunicación.

B.5.2 Intercalación

La intercalación se incluye en el módem entre la codificación de bloque RS y el aleatorizador para permitir la corrección de errores inducidos por ruido en ráfagas. En ausencia de otras degradaciones, la tolerancia de ráfagas es de 80 µs. Para conseguirlo, y para tener en cuenta alguna propagación de errores desde el decodificador reticular, la profundidad de intercalación se ha fijado a 128 símbolos RS.

La intercalación convolucional se ilustra en la Figura B.7. La posición del conmutador de intercalación incrementa la frecuencia de símbolos RS, con una sola salida de símbolos desde cada posición. El primer trayecto del intercalador tiene un retardo nulo, el segundo tiene un solo periodo de símbolo de retardo, el tercero dos periodos de símbolo de retardo, y así sucesivamente, hasta el 128-ésimo trayecto, que tiene 127 símbolos de periodos de retardo. Esto se invierte para el desintercalador en el decodificador de cable, de manera que el retardo neto de cada símbolo RS es el mismo a través del intercalador y del desintercalador. El ruido en ráfagas del canal produce una serie de símbolos incorrectos. Estos son difundidos a lo largo de muchos bloques RS por el desintercalador, de manera que los errores de símbolo resultantes por bloque están dentro de la gama de la capacidad de corrección del decodificador RS.

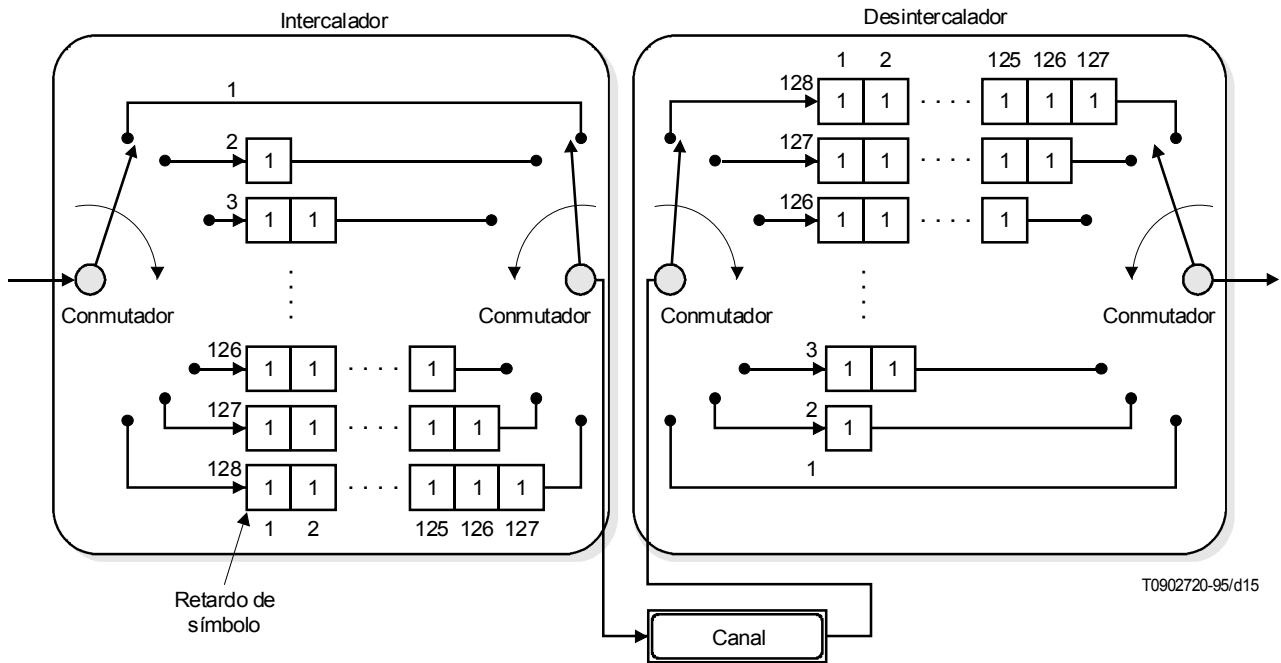


FIGURA B.7/J.83
Diagrama de bloques funcional de la intercalación

B.5.3 Inserción de encabezamientos de trama

El insertador de encabezamientos de trama inserta los seis símbolos de encabezamiento RS al comienzo de una trama FEC, como se aprecia en la Figura B.6. Esta inserción se produce después del intercalador. El patrón de sincronismo de trama dentro de los símbolos de encabezamiento se utiliza para sincronizar la trama FEC en el receptor. La estructura de bloques y de símbolos se alinea con el comienzo de la trama. El patrón de sincronismo se diseña de forma que tenga baja autocorrelación.

B.5.4 Aleatorización

El aleatorizador es la tercera capa de procesamiento en el diagrama de bloques de la FEC. El aleatorizador hace posible una distribución uniforme de los símbolos en la constelación, que permite al módem mantener un bloqueo adecuado. El aleatorizador añade una secuencia de ruido pseudoaleatorio (PN) a la señal transmitida para asegurar una secuencia transmitida aleatoria.

El aleatorizador es inicializado durante los símbolos de encabezamiento de trama FEC y es activado inmediatamente después de estos 6 símbolos. De este modo, el propio encabezamiento no es aleatorizado. La inicialización se define como la precarga al estado «todos unos», para la estructura del aleatorizador representada más adelante.

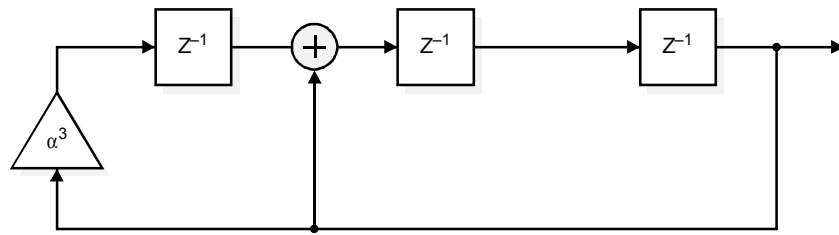
El aleatorizador utiliza un registro de desplazamiento de realimentación lineal especificado por un trinomio GF(2⁷). Este polinomio sólo tiene un coeficiente distinto de cero y distinto de la unidad, y se define como sigue:

$$f(x) = x^3 + x + \alpha^3$$

La estructura del aleatorizador se muestra en la Figura B.8.

B.5.5 Modulación con codificación reticular

Como parte del esquema de codificación concatenada, se emplea codificación reticular para el código interno. Permite la introducción de redundancia para mejorar la SNR incrementando la constelación de símbolos sin incrementar la velocidad de símbolos. Por tanto, se denomina más correctamente «modulación con codificación reticular». En la Figura B.9 se muestra un diagrama de bloques del modulador con codificación reticular.

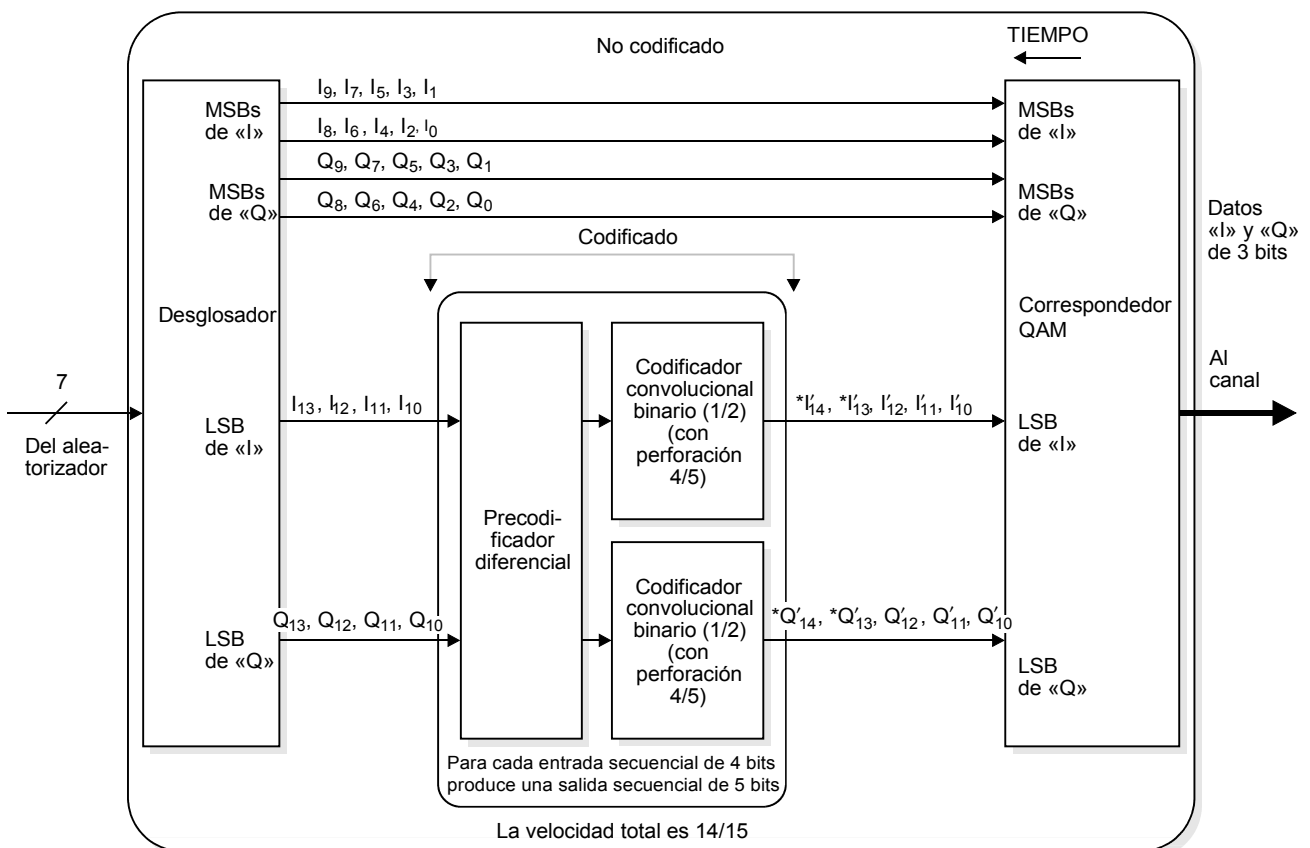


El polinomio aleatorizador

$$f(x) = x^3 + x + \alpha^3$$

T0902730-95/d16

FIGURA B.8/J.83
Aleatorizador (de bytes de 7 bits)



T0902740-95/d17

FIGURA B.9/J.83
Diagrama de bloques del modulador con codificación reticular

La entrada al modulador con codificación reticular es una secuencia de símbolos de 7 bits, que se desglosan en pares de símbolos «I» y símbolos «Q», como se ilustra en la figura B.9. El total de los pares de «I» y «Q» combinados es de 28 bits. Este dual combinado «I» y «Q» se divide a su vez en bits en dos grupos: dos trenes de bits superiores o sin codificación de MSB o un tren de bits inferior o sin codificación de LSB. La Figura B.10 muestra más detalles del flujo de datos, especialmente para el procesamiento de «I».

El modulador con codificación reticular incluye un codificador convolucional binario de velocidad binario 1/2 con perforación que se utiliza para introducir la redundancia en los LSB de los símbolos «I» y «Q». Codificar sólo los LSB de «I» y «Q» proporciona una ganancia SNR apropiada. El codificador convolucional es un codificador de velocidad 1/2 no sistemático de 16 estados, con el generador:

$$G1 = 010\ 101, G2 = 011\ 111\ (25,37_{\text{octal}})$$

o, lo que es equivalente, la matriz generatriz

$$[1 \oplus D^2 \oplus D^4, 1 \oplus D \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^4].$$

NOTA – «D» se utiliza para representar el elemento de retardo «z⁻¹».

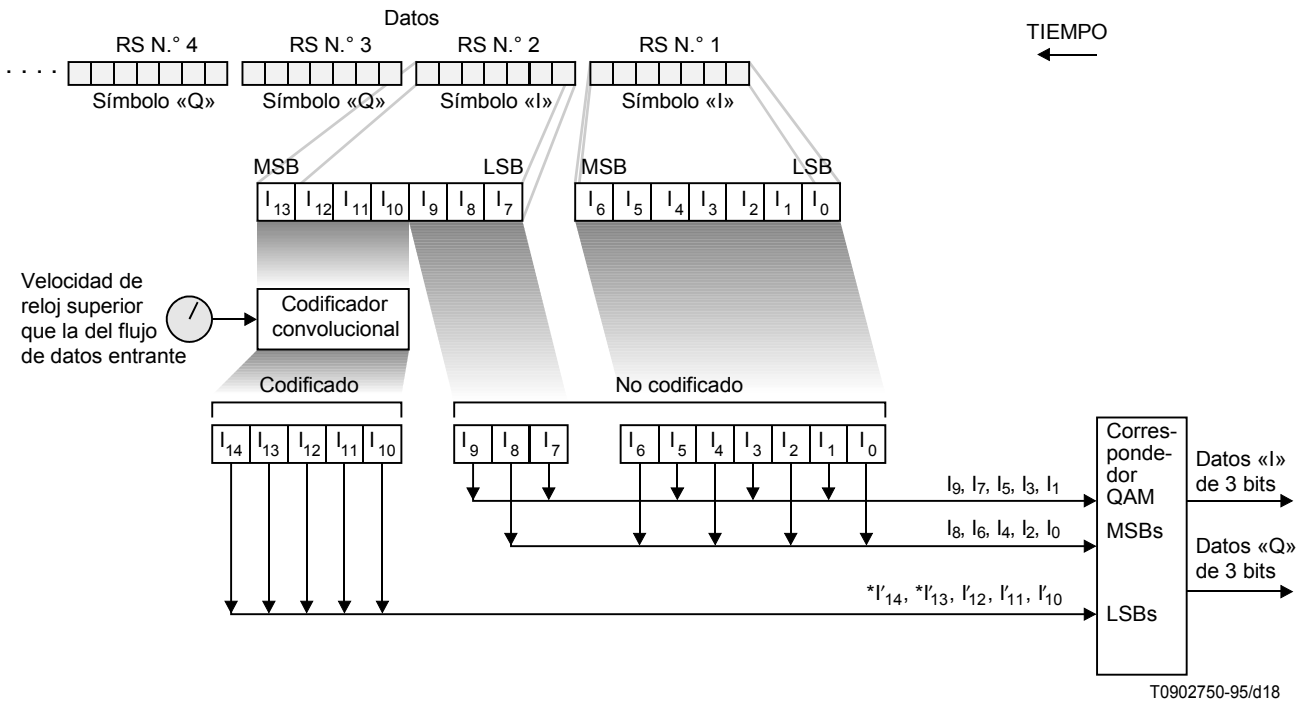
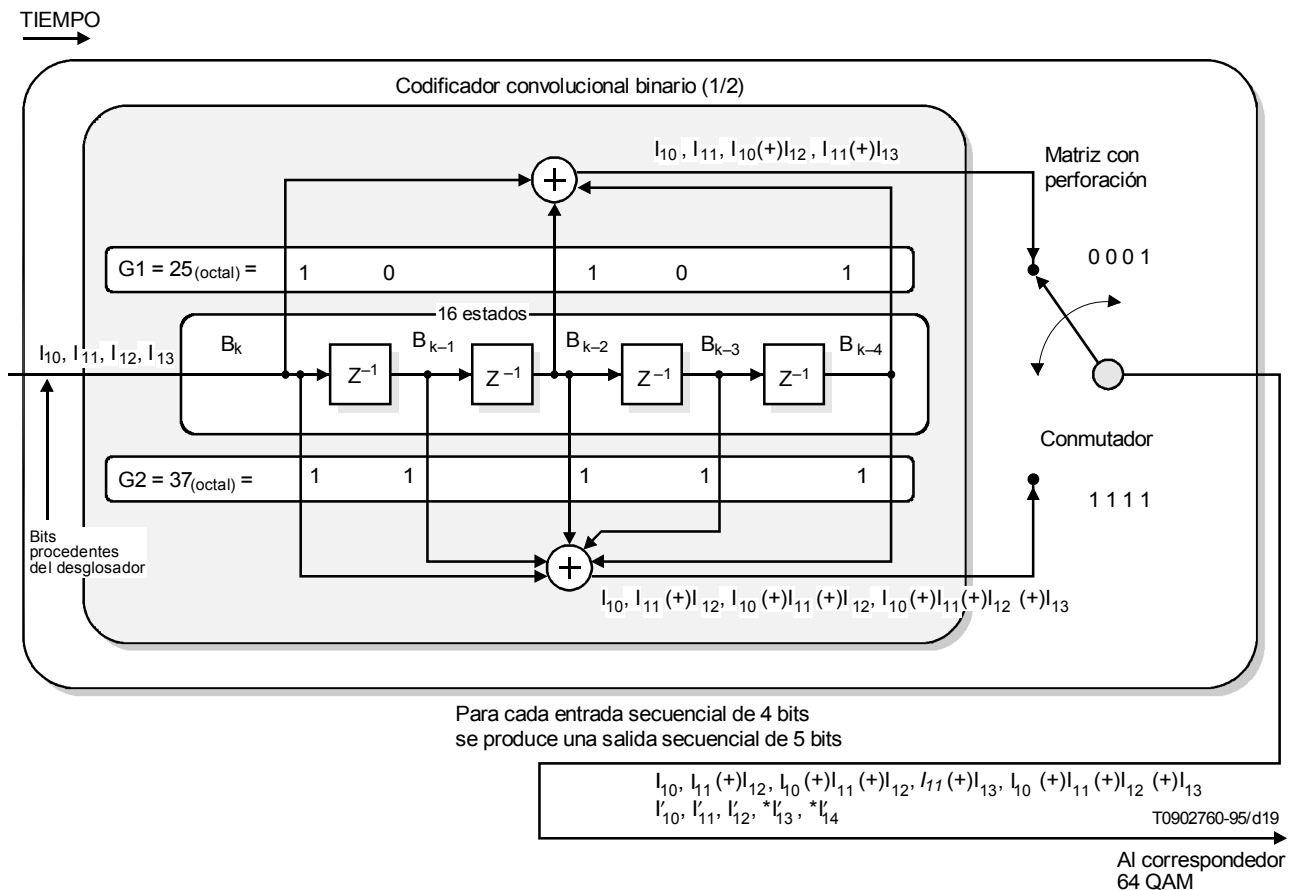


FIGURA B.10/J.83

Flujo de datos del modulador con codificación reticular para datos «I»

Las salidas del codificador se llevan a una matriz con perforación: 0001 1111 («0» indica NO transmisión, «1» indica transmisión), que produce un único flujo de bits serie. La matriz con perforación convierte esencialmente el codificador a velocidad 1/2 a la velocidad 4/5. La estructura interna del codificador con perforación se ilustra en la Figura B.11.

Para cada dos símbolos Reed-Solomon compuestos por 14 bits, 4 bits son codificados por el codificador con perforación, produciendo 5 bits codificados. Diez bits no se codifican, por lo que la salida total es de 15 bits. De este modo, la modulación con codificación reticular total produce una velocidad 14/15.



Estructura del codificador convolucional binario:

- 1) 16 estados
- 2) codificador convolucional binario 1/2
- 3) código generador: 010101, 011111 ($25, 37$)_{octal}
o matriz generatriz de $[1(+)D^2(+)D^4, 1(+)D(+)D^2(+)D^3(+)D^4]$ (Nota 3)
- 4) matriz con perforación 0001 1111

NOTAS

- 1 0 Indica NO transmisión.
- 1 Indica transmisión.
- 2 (+) Indica operación XOR.
- 3 D igual a Z^{-1} .

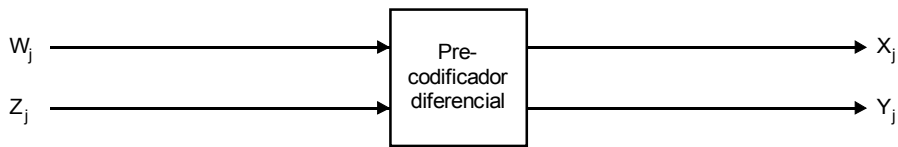
FIGURA B.11/J.83

Codificador convolucional con perforación

El precodificador diferencial, presentado en la Figura B.12, efectúa la codificación reticular invariante con rotación $\pi/2$. La clave de que los diseños de módem sean resistentes es que tengan una recuperación muy rápida. Sin el diseño rotacional invariante, un deslizamiento de temporización de portadora causará una importante resincronización de la FEC, produciendo una ráfaga de errores en la salida FEC.

El precodificador diferencial permite que la información sea transmitida por el cambio de fase, y no por la fase absoluta. Los bits tercero y sexto de los símbolos de 6 bits se codifican diferencialmente. Como se ilustra en las partes sombreadas de la Figura B.13, si enmascaramos los bits tercero y sexto, la invariancia rotacional de 90° de los restantes 4 bits es inherente en la constelación de símbolos.

El correspondedor QAM recibe los «I» y «Q» de 3 bits codificados y no codificados. Utiliza estos bits para dirigirse a una tabla de consulta que da el símbolo de constelación de 6 bits. El símbolo de constelación de 6 bits se envía entonces al módem 64-QAM en el que es generada la constelación de señales ilustrada en la Figura B.13.



Ecuaciones del precodificador diferencial

$$X_j = W_j + X_{j-1} + Z_j (X_{j-1} + Y_{j-1})$$

$$Y_j = Z_j + W_j + Y_{j-1} + Z_j (X_{j-1} + Y_{j-1})$$

T0902770-95/d20

FIGURA B.12/J.83
Precodificador diferencial

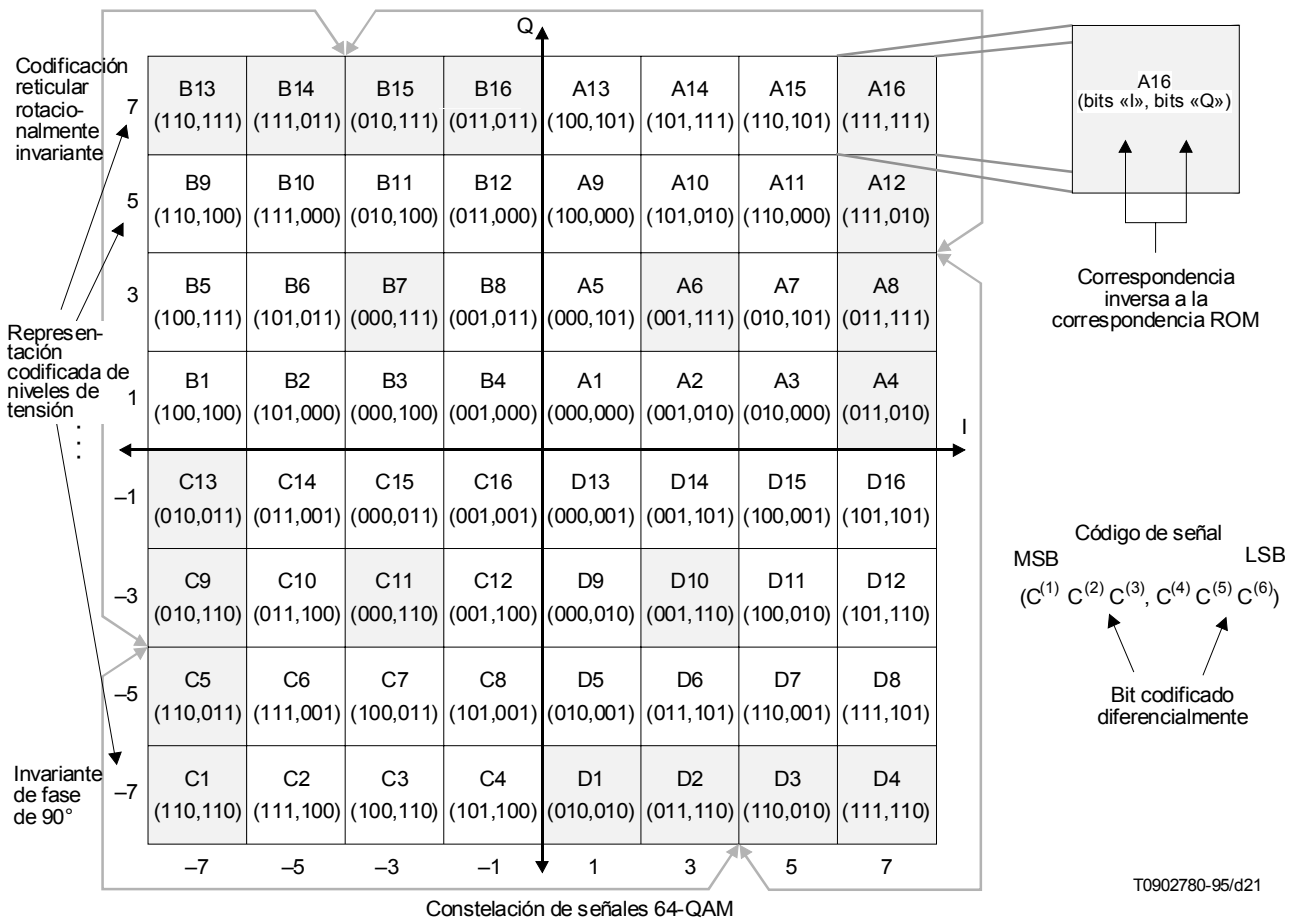


FIGURA B.13/J.83
Constelación QAM

El código alfanumérico por encima de los 6 bits binarios es un código para ayudar a hacer corresponder los símbolos. Por ejemplo, una entrada de «I» = 001 y «Q» = 111 produciría una salida de «I» = 001 y «Q» = 001, con un código alfanumérico A6. En la Figura B.13, el código A6 se haría corresponder al «I» = 3 y «Q» = 3 de la constelación de señales 64-QAM.

B.6 Modulación y demodulación

B.6.1 Características QAM

El formato de transmisión por cable se resume en el Cuadro B.1.

CUADRO B.1/J83

Formato de transmisión por cable

Parámetro	Formato
Modulación	64-QAM, codificación rotacionalmente invariante
Tamaño de símbolo	6 bits, 3 bits para la dimensión «I» y 3 bits para la dimensión «Q»
Banda de transmisión	54 a 860 MHz
Separación de canales (BW)	6 MHz (Nota)
Velocidad de símbolos	5,056944 Mbps \pm 3 ppm (Nota)
Velocidad binaria de información	26,97035 Mbps \pm 3 ppm (Nota)
Respuesta de frecuencia	Filtro de raíz cuadrada de coseno alzado (régimen de caída = 0,18) (Nota)
NOTA – Estos valores son específicos de la separación de canales de 6 MHz. Se están estudiando conjuntos adicionales de valores para una separación de canales diferente.	

B.6.2 Salida RF del modulador QAM

Las especificaciones de salida RF del modulador 64-QAM se muestran en el Cuadro B.2.

CUADRO B.2/J.83

Salida RF del modulador 64-QAM

Parámetro	Especificación
Desplazamiento de fase I/Q	$< 1,0^\circ$
Diafonía I/Q	≤ -50 dB
Desequilibrio de amplitud I/Q	0,05 dB máx
Asimetría de temporización I/Q	$< 3,0$ ns.

Anexo C

Sistema digital multiprograma C

(Este anexo es parte integrante de esta Recomendación)

C.1 Introducción

Este anexo describe la estructura de trama, la codificación de canal y la modulación para la distribución de televisión digital multiprograma por cable.

El sistema emplea la multiplexión de transporte basada en MPEG-2 (véase referencia [2]), que asegura la interoperabilidad con otros medios, como la radiodifusión digital por satélite, las redes RDSI o los medios que utilizan paquetes. La estructura de trama y la codificación de canal son iguales a las del Anexo A. La modulación es 64-QAM, y la velocidad de símbolos QAM y el factor de caída se optimizan para un plan de canales de 6 MHz.

La prueba en explotación real con un receptor de 64-QAM y un ecualizador se llevó a cabo en Japón. Como resultado del experimento, se confirmó el funcionamiento cuasi sin errores.

El sistema también permite la evolución hacia constelaciones QAM de órdenes superiores, y se están estudiando las modificaciones que habrá que hacer en la codificación de canal y la correspondencia de símbolos.

C.2 Concepto de sistema de cable

El sistema de cable se definirá como el bloque funcional del equipo que realiza la adaptación de las señales TV de banda base a las características del canal de cable.

En la cabecera del cable, la señal TV de banda base puede recibirse a través de la radiodifusión, enlaces de distribución secundarios, enlaces de contribución y fuentes de programas locales.

El proceso siguiente se aplicará como se muestra en la Figura C.1: Configuración del sistema.

C.2.1 Interfaz de banda base y sincronización

Esta unidad adaptará la estructura de datos al formato de la fuente de señal. La estructura de trama estará de acuerdo con la capa de transporte MPEG-2, incluidos los bytes de sincronismo.

C.2.2 Inversión de Sinc 1 y aleatorización

Esta unidad invertirá el byte de sincronismo 1 (Sync 1) de MPEG-2 cada ocho paquetes, de acuerdo con la estructura de trama de MPEG-2, y aleatorizará el tren de datos para fines de conformación de espectro.

C.2.3 Codificador Reed-Solomon (RS)

Esta unidad aplicará un código Reed-Solomon (RS) abreviado a cada paquete de transporte aleatorizado para generar un paquete protegido contra errores. Este código también se aplicará al propio byte de sincronismo.

C.2.4 Intercalador convolucional

Esta unidad efectuará una intercalación convolucional de profundidad $I = 12$ de los paquetes protegidos contra errores. La periodicidad de los bytes de sincronismo permanecerá invariable.

C.2.5 Conversión de bytes a m-tuplas

Esta unidad efectuará una conversión a símbolos QAM de los bytes generados por el intercalador.

C.2.6 Codificación diferencial

A fin de obtener una constelación invariante con la rotación, esta unidad aplicará una codificación diferencial a los 2 bits más significativos (MSB) de cada símbolo.

C.2.7 Interfaz física para la modulación QAM

Esta unidad efectúa un filtrado en raíz cuadrada de coseno alzado de las señales I y Q previo a la modulación QAM. Esta operación es seguida por la puesta en interfaz de la señal modulada QAM con el canal de cable de radiofrecuencia (RF).

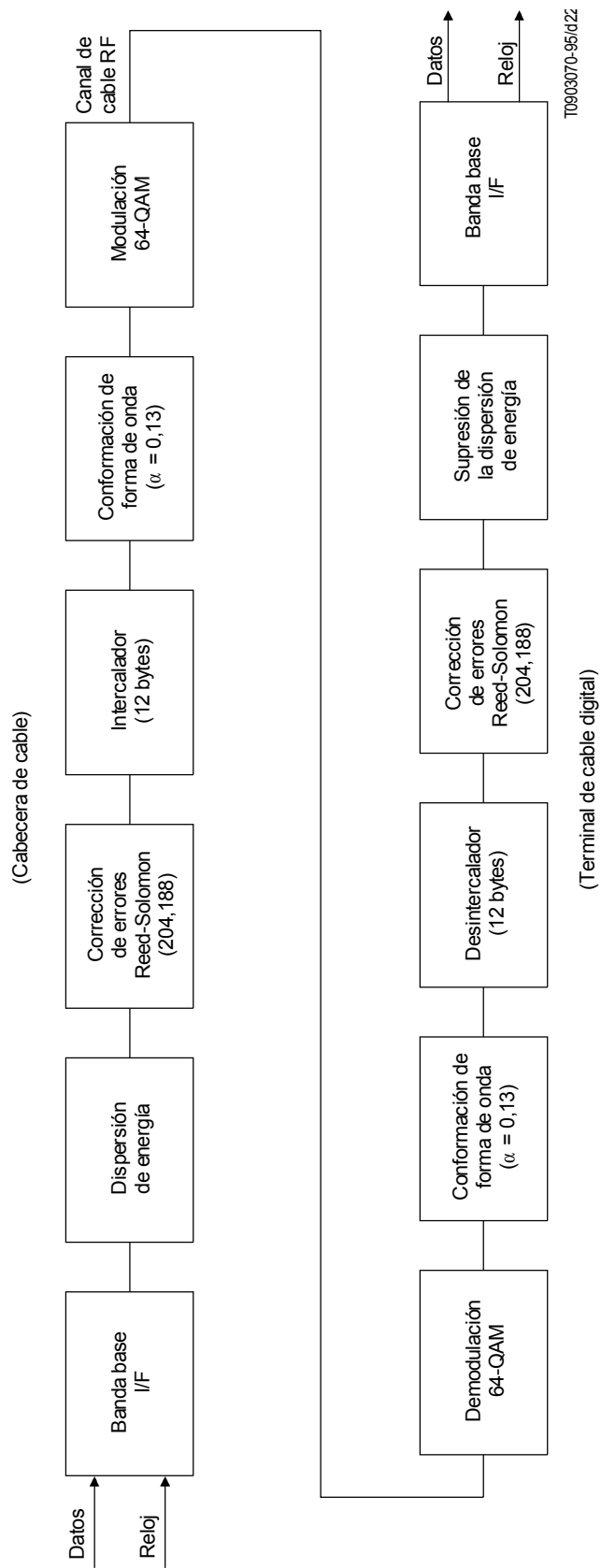


FIGURA C.1/J.83

C.2.8 Receptor de cable

Un receptor de sistema efectuará el procesamiento de señal inverso, que se describe para el proceso de modulación citado, a fin de recuperar la señal de banda base.

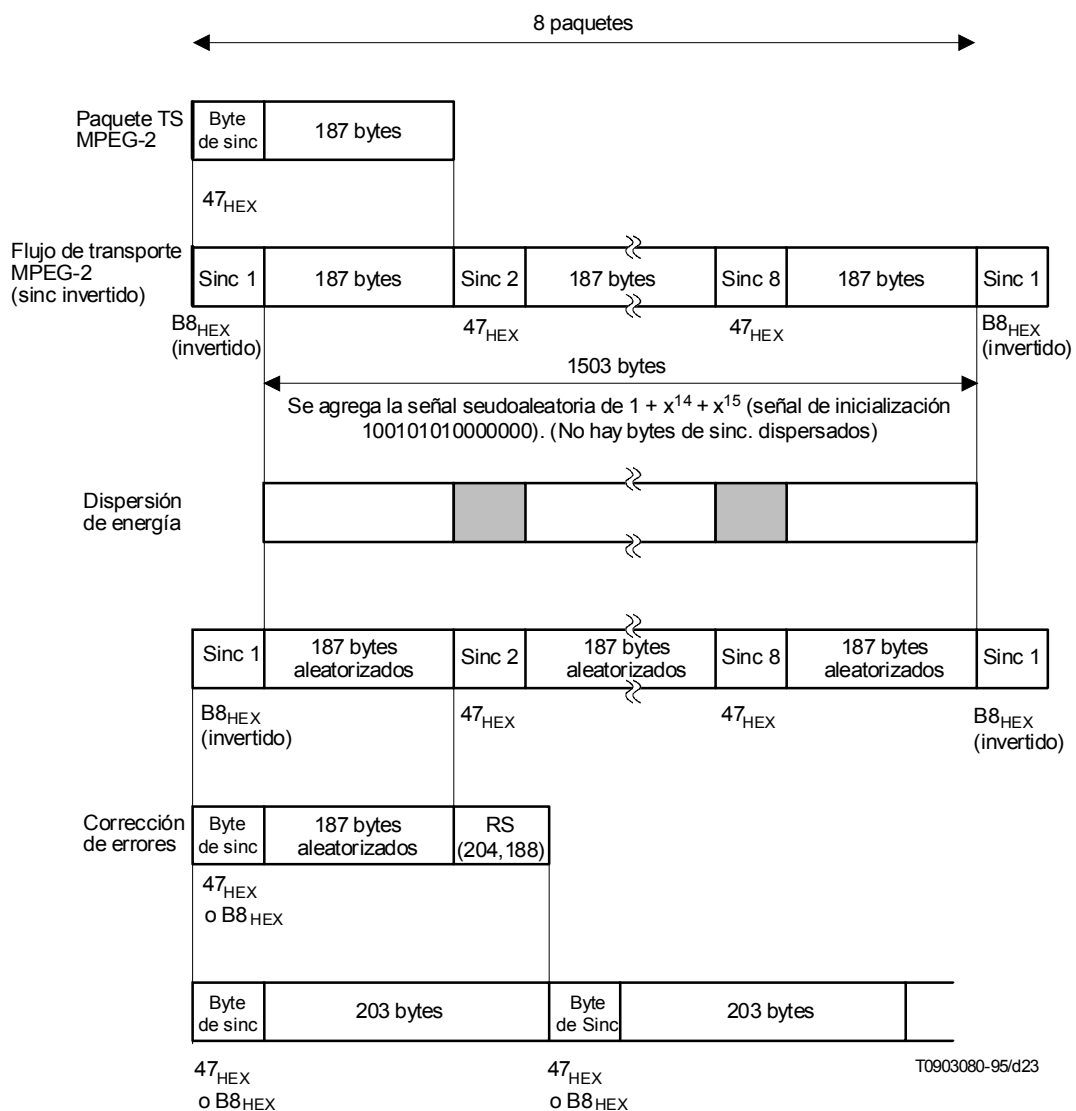
Además, cada receptor de cable tendrá un ecualizador para prevenir el aumento de errores de bit causado por la reflexión en el sistema de cable.

C.3 Capa de transporte MPEG-2

La capa de transporte del sistema digital multiprogramas se basa en MPEG-2 (véase la referencia [2]). La multiplexación del transporte se efectúa en el paquete de flujo de datos de transporte que tiene 188 bytes según MPEG-2.

C.4 Estructura de trama

La organización de las tramas se basará en la estructura de los paquetes de transporte MPEG-2. La estructura de las tramas del sistema se muestra en la Figura C.2: Configuración de la señal de transmisión.



Intercalado: Intercalado convolucional (por unidad de byte).
No hay retardo de byte de sincronismo.

FIGURA C.2/J.83
Configuración de la señal de transmisión

C.5 Codificación de canal

Para conseguir el nivel de protección contra errores necesario para la transmisión por cable de datos digitales se utilizará una FEC basada en la codificación Reed-Solomon. La protección contra ráfagas de errores se conseguirá mediante intercalación.

C.5.1 Aleatorización

El flujo de entrada del sistema se organizará en paquetes de longitud fija (véase la Figura C.2), después del multiplexor de transporte MPEG-2. La longitud total del paquete de multiplexión de transporte MPEG-2 es de 188 bytes, incluido un byte de palabra de sincronismo.

Para ofrecer la compatibilidad máxima con otros medios y asegurar las transiciones binarias adecuadas de la recuperación de reloj, los datos a la salida del múltiplex de transporte MPEG-2 serán aleatorizados con arreglo a la configuración de la Figura C.3: Diagrama de dispersión de la energía.

El polinomio del generador de secuencias binarias pseudoaleatorias (PRBS) será:

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

La carga de la secuencia «100101010000000» en los registros PRBS, como se indica en la Figura C.3, se iniciará al comienzo de cada 8 paquetes de transporte. Para proporcionar una señal de inicialización al desaleatorizador, el byte de sincronismo MPEG-2 del primer paquete de transporte de un grupo de 8 paquetes se invertirá bit a bit de 47_{HEX} a B8_{HEX}.

El primer bit a la salida del generador PRBS se aplicará al primer bit del primer byte siguiente al byte de sincronismo MPEG-2 invertido (es decir, B8_{HEX}). Para ayudar a otras funciones de sincronización, durante los bytes de sincronismo MPEG-2 de los siete paquetes de transporte siguientes, continúa la generación de PRBS, pero su salida será desactivada, dejando estos bytes sin aleatorizar. Por tanto, el periodo de la secuencia PRBS será de 1503 bytes.

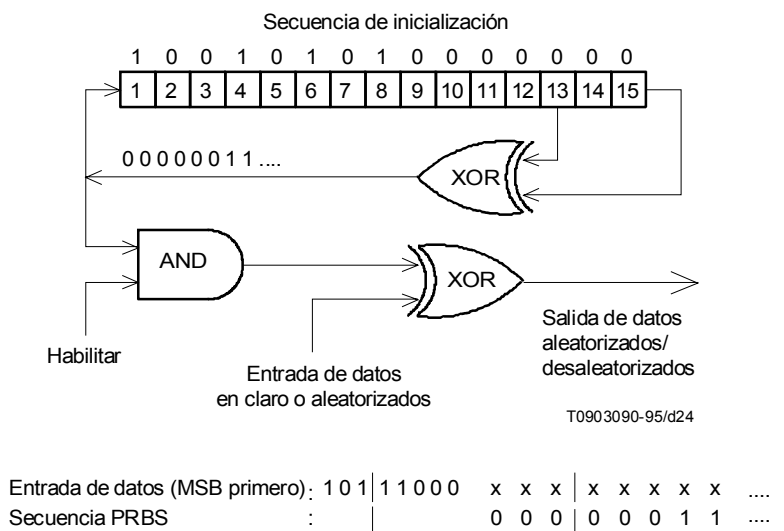


FIGURA C.3/J.83

Diagrama esquemático del aleatorizador/desaleatorizador

C.5.2 Codificación Reed-Solomon

Para la corrección de errores en recepción se emplea un código Reed-Solomon abreviado (204,188). Una organización posible de esa codificación consiste en agregar «0» de 51 bytes antes del byte de datos de entrada y suprimirlo después de la codificación en el circuito de codificación con Reed-Solomon de fines generales (255,239).

Polinomio generador de código:

$$g(x) = (x + \lambda^0) + (x + \lambda^1) + (x + \lambda^2) \dots (x + \lambda^{15}), \text{ donde } \lambda = 02_{\text{HEX}}$$

Polinomio generador de campo:

$$p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$$

C.5.3 Intercalación convolucional

Siguiendo el esquema de la Figura C.4, se aplicará intercalación convolucional de profundidad $I = 12$ a los paquetes protegidos contra errores.

El intercalador puede estar compuesto de $I = 12$ ramales, cíclicamente conectados al flujo de bytes de entrada por el conmutador de entrada. Cada ramal será un registro de desplazamiento primero en entrar, primero en salir (FIFO), con células de profundidad (M_j) (donde $M = 17 = N/I$, $N = 204 =$ longitud de trama protegida contra errores, $I = 12 =$ profundidad de intercalación, $j =$ índice del ramal). Las células del FIFO contendrán 1 byte y los conmutadores de entrada y de salida estarán sincronizados.

Para fines de sincronización, los bytes de sincronismo y los bytes de sincronismo invertido se encaminarán siempre por el ramal «0» del intercalador (correspondiente a un retardo nulo).

NOTA – El desintercalador es similar, en principio, al intercalador, pero los índices de ramal están invertidos (es decir, $j=0$ corresponde al retardo máximo). La sincronización del desintercalador puede efectuarse encaminando el primer byte de sincronismo reconocido en el ramal «0».

C.6 Modulación

C.6.1 Correspondencia de bytes a símbolos

Después de la intercalación convolucional, se efectuará una correspondencia exacta de bytes a símbolos. La correspondencia se basará en el uso de límites de bytes en el sistema de modulación.

En cada caso, el MSB del símbolo Z se tomará del MSB del byte V . Consecuentemente, el próximo bit significativo del símbolo se tomará del próximo bit significativo del byte. En el caso de la modulación 2^m -QAM, el proceso efectuará una correspondencia de k bytes en n símbolos, de forma que:

$$8k = n \cdot m$$

El proceso se ilustra para el caso de 64-QAM (donde $m = 6$, $k = 3$ y $n = 4$) en la Figura C.5.

C.6.2 Codificación diferencial

A continuación, los dos MSB de cada símbolo se codificarán diferencialmente para obtener una constelación QAM invariante con la rotación $\pi/2$. La codificación diferencial de los dos MSB viene dada por la siguiente expresión:

$$I_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (A_k \oplus I_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (A_k \oplus Q_{k-1})$$
$$Q_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (B_k \oplus Q_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (B_k \oplus I_{k-1})$$

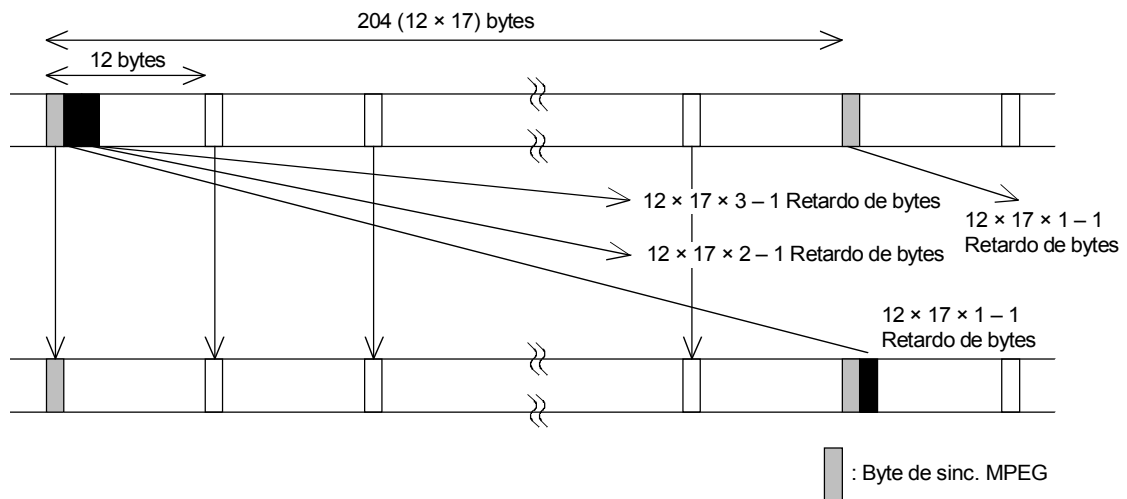
La Figura C.6 da un ejemplo de aplicación de la conversión de byte a símbolo.

C.6.3 Constelación 64-QAM

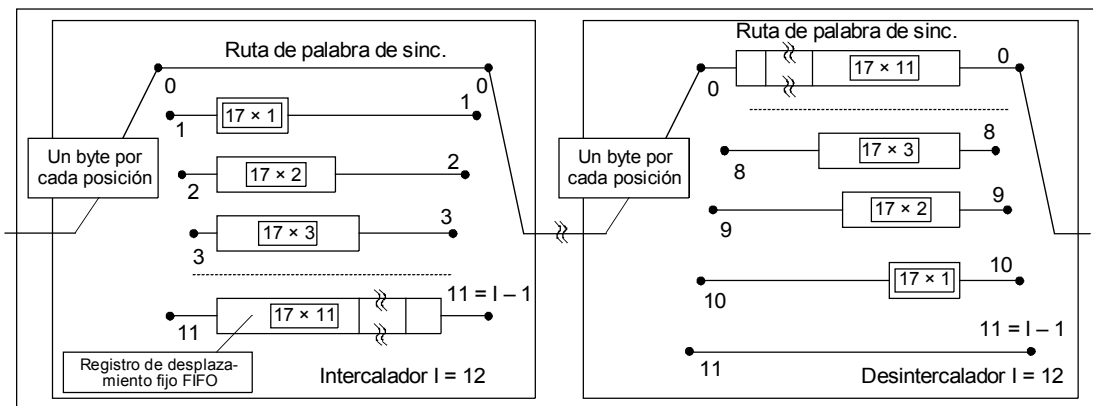
El sistema se puede adaptar a un espaciamiento de canal de 6 MHz. El esquema de byte a modulación descrito en esta subcláusula está directamente relacionado con el método de correspondencia de byte a símbolo descrito en C.6.1.

La modulación del sistema será modulación de amplitud en cuadratura (QAM) con 64 puntos en el diagrama de constelación.

El diagrama de constelación del sistema para 64-QAM se ofrece en la Figura C.7.

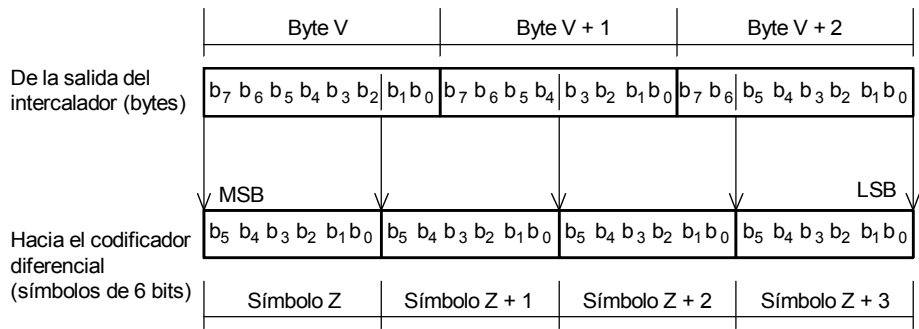


Profundidad de intercalación	$I (= 12)$
Sincronización	Encaminamiento SW (Ciclo I)
Capacidad de memoria necesaria	$1/2 \times I \times L$



T0903100-95/d25

FIGURA C.4/J.83
Configuración de la intercalación



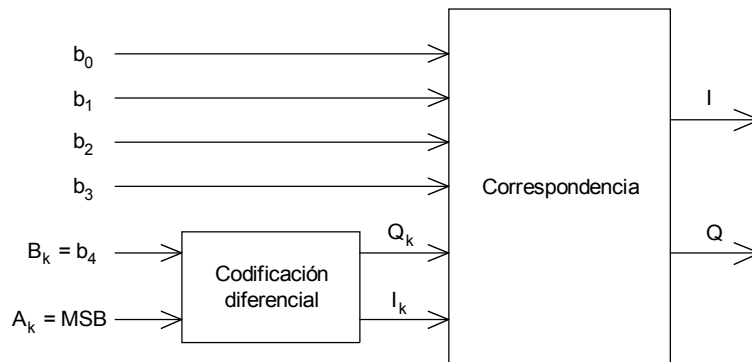
T0903110-95/d26

NOTAS

- 1 b₀ se entenderá como el bit menos significativo (LSB) de cada byte o m-tupla.
- 2 En esta conversión, cada byte resulta en más de una m-tupla, designada Z, Z + 1, etc., y Z se transmite antes de Z + 1.

FIGURA C.5/J.83

Conversión de byte a m-tupla para 64-QAM



T0903120-95/d27

FIGURA C.6/J.83

Ejemplo de aplicación de la conversión de byte a símbolo y de la codificación diferencial de los dos MSBs

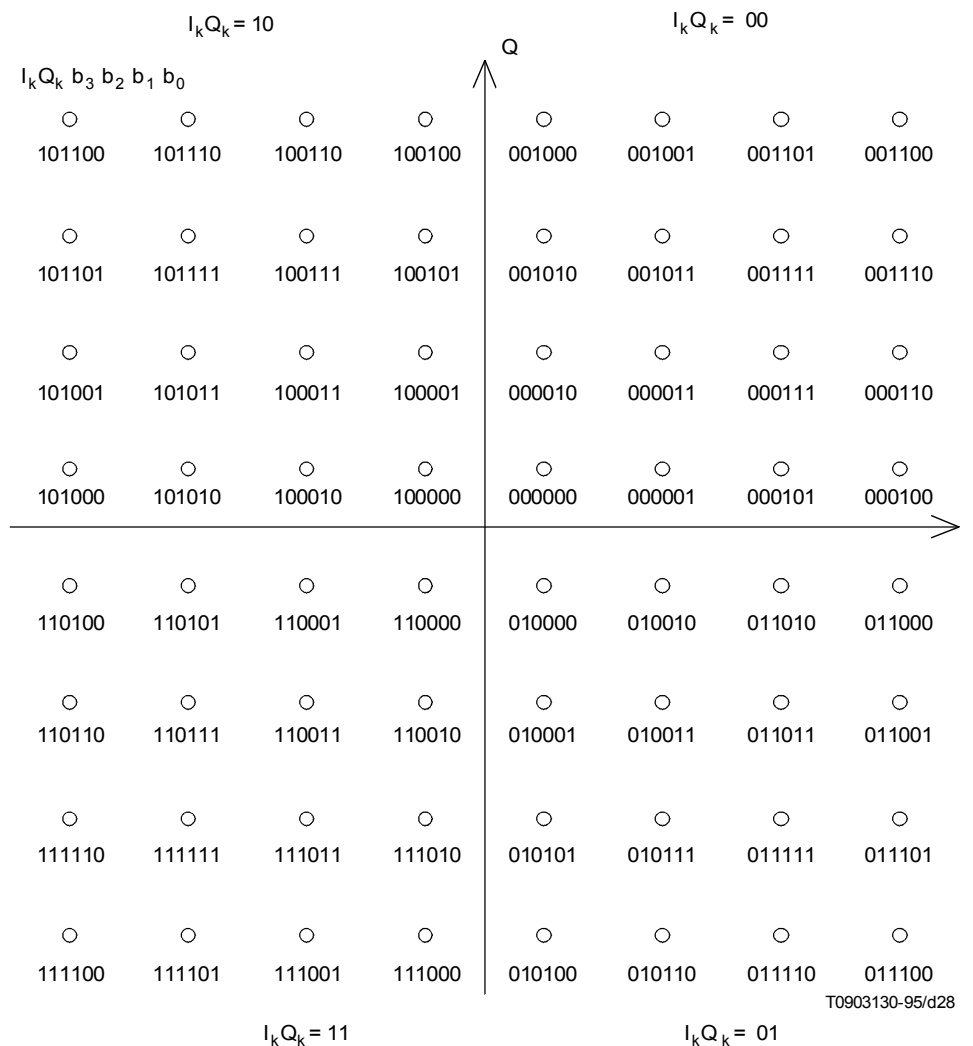


FIGURA C.7/J.83
Diagrama de constelación para 64-QAM

C.6.4 Factor de caída

Antes de la modulación, las señales I y Q se filtrarán en raíz cuadrada de coseno alzado. El factor de caída será de 0,13.

El filtro en raíz cuadrada de coseno alzado tendrá una función teórica definida por las expresiones siguientes:

$$H(f) = 1 \text{ para } |f| \leq f_N(1 - \alpha)$$

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

$$H(f) = 0 \text{ para } |f| > f_N(1 + \alpha),$$

donde

$$f_N = \frac{1}{2T_s} = \frac{R_s}{2} \text{ es la frecuencia de Nyquist y el factor de caída } \alpha = 0,13.$$

NOTA – Las características del filtro de transmisión se ofrecen en la subcláusula siguiente. El factor de caída se aplica cuando se produce interferencia de señales de canal adyacente (por ejemplo, de señales TV, etc.), con las características especificadas del filtro de banda base.

C.6.5 Características del filtro de banda base

La plantilla representada en la Figura C.8 se utilizará como un requisito mínimo para la implementación de soporte físico del filtro de Nyquist. Esta plantilla tiene en cuenta no sólo las limitaciones de diseño del filtro digital, sino también los artefactos derivados de los componentes de procesamiento analógico del sistema (por ejemplo, conversión de D/A, filtrado analógico, etc.).

El valor del rizado dentro de banda r_m en la banda de paso hasta $(1 - \alpha)f_N$ será inferior a 0,4 dB. El rechazo fuera de banda será superior a 43 dB. El rizado r_N en la frecuencia de Nyquist f_N será inferior a 1,0 dB.

El filtro tendrá una respuesta lineal de fase con el rizado de retardo de grupo $\leq \pm 1,0 T_s$ (ns) en la banda de paso hasta $(1 - \alpha)f_N$ y $\leq \pm 2,0 T_s$ (ns) en f_N

donde:

$$T_s = 1/R_s \text{ es el periodo de símbolo.}$$

NOTA – Los valores del rizado dentro de banda y del rechazo fuera de banda indicados en este anexo están sujetos a las condiciones de explotación de los sistemas de cable y pueden necesitar más estudio.

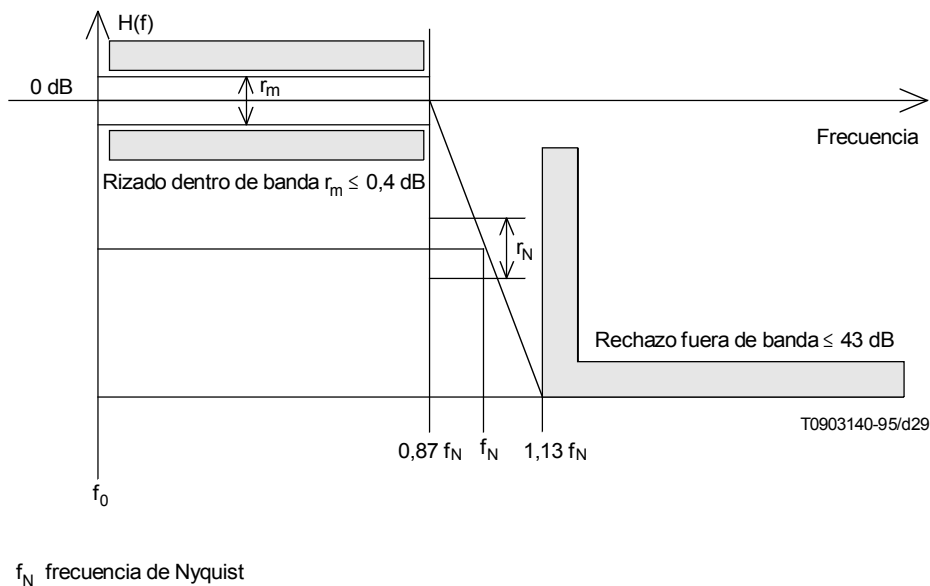


FIGURA C.8/J.83

Característica de amplitud del filtro de banda base semi-Nyquist

Anexo D

Sistema digital multiprograma D

(Este anexo es parte integrante de esta Recomendación)

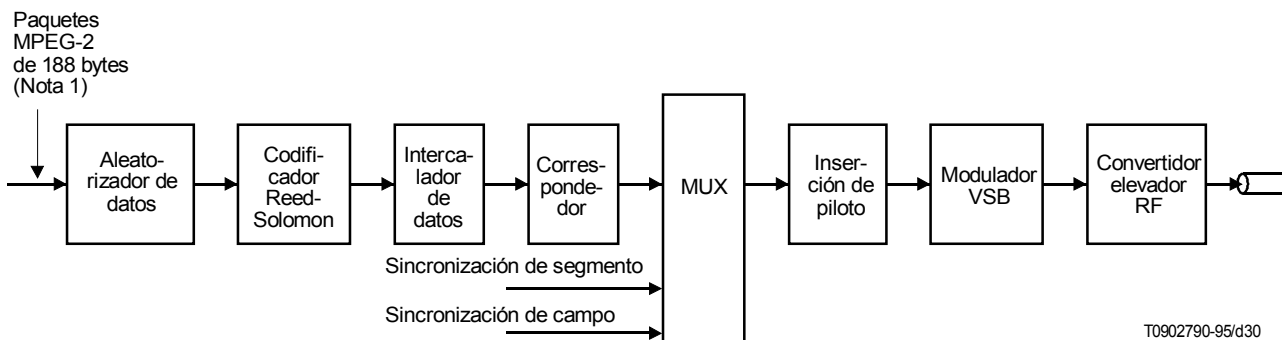
D.1 Introducción

Este anexo es resultado de trabajos de radiodifusión terrenal de televisión digital realizados en América del Norte; describe la estructura de trama, la codificación de canal y la modulación en la distribución de televisión digital multiprograma por cable, tomando como base la multiplexación de transporte MPEG-2, y la transmisión digital 16-VSB (banda lateral vestigial).

D.2 Concepto de sistema de cable

El sistema 16-VSB soportará una velocidad de datos de cabida útil nominal de 38,78 Mb/s en un canal de 6 MHz²⁾. En la Figura D.1 se presenta un diagrama de bloques funcional de un transmisor de cable 16-VSB representativo. La entrada al subsistema de transmisión desde el subsistema de transporte es equivalente a un tren de datos serie nominal a 38,78 Mb/s compuesto por paquetes de datos compatibles MPEG de 188 bytes (incluido un byte de sincronización de 187 bytes de datos)²⁾.

Los datos entrantes son aleatorizados y posteriormente procesados para la corrección de errores en recepción (FEC) en la forma de codificación Reed-Solomon (RS) (se añaden a cada paquete 20 bytes de paridad RS), e intercalación de campos de datos 1/12. Los procesos de aleatorización y FEC no se aplican al byte de sincronización del paquete de transporte, que es el representado en transmisión por una señal de sincronización de segmentos de datos que se describe a continuación. Tras la aleatorización y el procesamiento de corrección de errores en recepción, se efectúa intercalación de bytes convolucional y luego se formatean los paquetes de datos en tramas de datos para su transmisión y se añaden sincronización de segmentos de datos y sincronización de campos de datos.



NOTAS

- 1 Proporcionados por retransmisiones terrenales, por satélite o de origen local.
- 2 Incluye cable privado (hoteles, edificios de apartamentos, condominios, y escuelas – alámbrico, y MMDS [servicio de distribución multipunto multicanal] – Microondas inalámbrico).

FIGURA D.1/J.83

Transmisor 16-VSB (cabecera de cable o de SMATV – Nota 2)

D.3 Capa de transporte MPEG-2

La capa de transporte MPEG-2 se define en la referencia [2]. La capa de transporte de datos MPEG-2 se compone de paquetes que tienen 188 bytes, con 1 byte para fines de sincronización, 3 bytes de encabezamiento que contienen identificación del servicio, aleatorización e información de control, seguidos por 184 bytes de MPEG-2 o datos auxiliares.

D.4 Estructura de trama

La Figura D.2 muestra como están organizados los datos para su transmisión. Cada trama de datos consta de dos campos de datos, cada uno de los cuales contiene 313 segmentos de datos. El primer segmento de datos de cada campo de datos es una señal de sincronización única (sincronismo de campo de datos) e incluye la secuencia de acondicionamiento utilizada por el equalizador en el receptor. Los 312 segmentos de datos restantes transportan cada uno el equivalente de dos paquetes de transporte de 188 bytes más su tara FEC asociada. Los datos efectivos en cada segmento de datos proceden de varios paquetes de transporte debido a la intercalación de datos. Cada segmento de datos consta de 832 símbolos. Los 4 primeros símbolos se transmiten en forma binaria y proporcionan sincronización de segmentos. Esta señal de sincronización de segmentos de datos representa también el byte de sincronismo de cada uno de dos paquetes de

²⁾ Valor de parámetro para la anchura de banda de canal de 6 MHz; el valor puede ajustarse para adaptarlo a otras anchuras de banda de canal.

transporte compatibles MPEG de 188 bytes. Los 828 símbolos restantes de cada segmento de datos transportan datos que representan dos grupos de 187 bytes de datos, cada uno seguido por 20 bytes Reed-Solomon. Estos 828 símbolos se transmiten como señales de 16 niveles, por lo que transportan 4 bits por símbolo. De este modo, $828 \times 4 = 3312$ bits de datos son transportados en cada segmento de datos, lo cual concuerda exactamente con el requerimiento de enviar dos paquetes de transporte protegidos:

$$187 \text{ bytes de datos} + 20 \text{ bytes de paridad RS} = 207 \text{ bytes}$$

$$2 \times 207 \text{ bytes} \times 8 \text{ bits/byte} = 3312$$

La velocidad de símbolos exacta viene dada por la ecuación siguiente:

$$S_r \text{ (MHz)} = 4,5/286 \times 684 = 10,76 \dots \text{ MHz}^3).$$

Los símbolos de 16 niveles combinados con las señales de sincronización de segmentos de datos y de sincronización de campos de datos se utilizan para modular una única portadora en modo portadora suprimida. Sin embargo, antes de la transmisión se elimina la mayor parte de la banda lateral inferior. El espectro resultante es plano, salvo en los bordes de banda, en los que se produce una respuesta nominal en raíz cuadrada de coseno alzado en las regiones de transición de 620 kHz. El espectro de transmisión VSB nominal se muestra en la Figura D.3³⁾.

En la frecuencia de portadora suprimida, 310 kHz desde el borde de banda inferior, se añade a la señal un pequeño piloto.

El sistema de cable puede también transportar señales de televisión normalizadas en otros canales como muestra la Figura D.3. La potencia de señal VSB media nominal está 6 dB por debajo de la potencia de sincronismo de cresta de las señales de televisión normalizada transportadas en canales adyacentes.

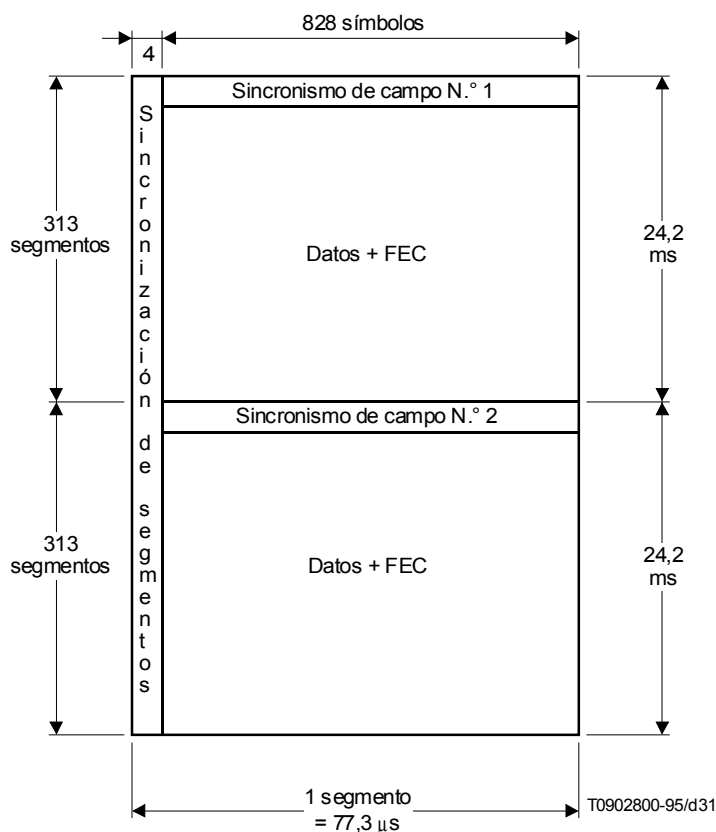


FIGURA D.2/J.83
Trama de datos VSB

³⁾ Valor de parámetro para la anchura de banda de canal de 6 MHz; el valor puede ajustarse para adaptarlo a otras anchuras de banda de canal.

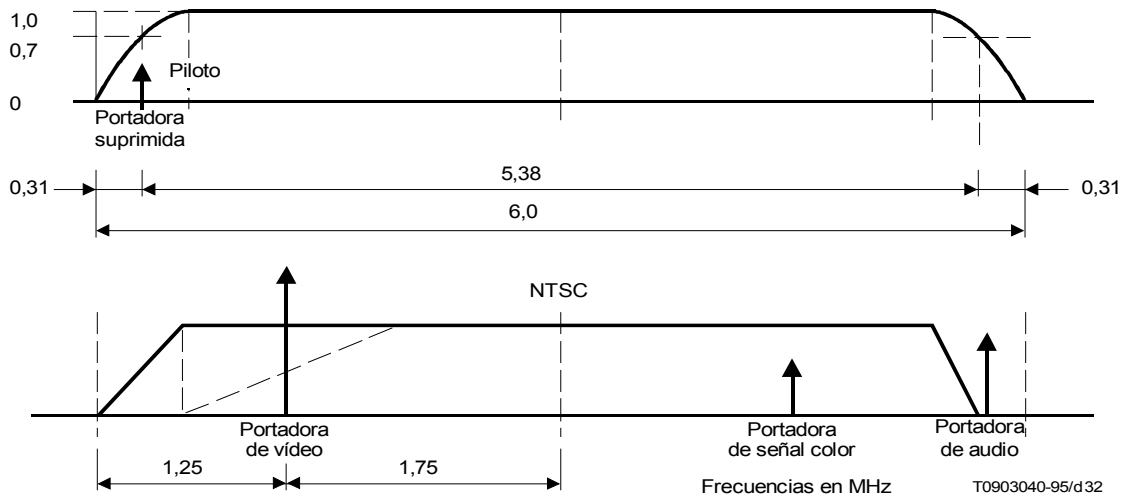


FIGURA D.3/J.83
Ocupación de canales VSB y NTSC

D.5 Codificación de canal

D.5.1 Aleatorizador de datos

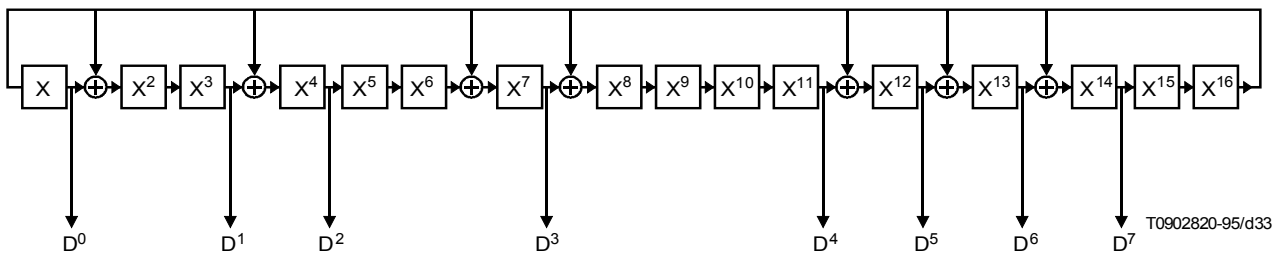
Se utiliza un aleatorizador de datos en todos los datos de entrada para aleatorizar la cabida útil de datos (sin incluir la sincronización de campos de datos ni la sincronización de segmentos de datos, ni los bytes de paridad RS). El aleatorizador de datos XOR-iza todos los bytes de datos entrantes con una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) de 16 bits de longitud máxima que es inicializada al comienzo del campo de datos. La PRBS es generada en un registro de desplazamiento de 16 bits que tiene 9 derivaciones de realimentación. Ocho salidas del registro de desplazamiento se seleccionan como el byte de aleatorización fijo, en el que cada bit de este byte se utiliza para XOR-izar individualmente el bit de datos de entrada correspondiente. Los bits de datos son XOR-izados de MSB a MSB ... LSB a LSB.

La inicialización (precarga) a F180 hex (carga a 1) se produce durante el intervalo de sincronismo de segmento de datos previo al primer segmento de datos.

El polinomio generador aleatorizador y la inicialización se muestran en la Figura D.4.

Polinomio generador $G_{(16)} = X^{16} + X^{13} + X^{12} + X^{11} + X^7 + X^6 + X^3 + X + 1$
La inicialización (precarga) se produce durante el intervalo de sincronismo de campo

Inicialización a F180 hex (carga a 1)
 $X^{16} X^{15} X^{14} X^{13} X^9 X^8$



El generador se desplaza con el reloj de bytes y se extrae un byte de datos de 8 bits por ciclo

FIGURA D.4/J.83
Polinomio aleatorizador

D.5.2 Codificador Reed-Solomon

El código RS utilizado en el subsistema de transmisión VSB es el código $t = 10$ (207, 187). El tamaño de bloque de datos es 187 bytes, con 20 bytes de paridad RS añadidos para corrección de errores. Se transmiten dos bloques RS de 207 bytes por segmento de datos.

Los 20 bytes de paridad RS se envían al final de cada grupo respectivo de 187 bytes. El polinomio generador de paridad y el polinomio generador de campo primitivo se muestran en la Figura D.5.

$$\prod_{i=0}^{i=2t-1} (X + \alpha^i) = X^{20} + X^{19}\alpha^{17} + X^{18}\alpha^{60} + X^{17}\alpha^{79} + X^{16}\alpha^{50} + X^{15}\alpha^{61} + X^{14}\alpha^{163} +$$

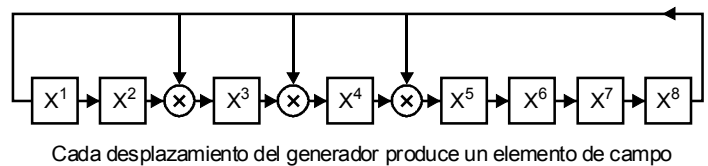
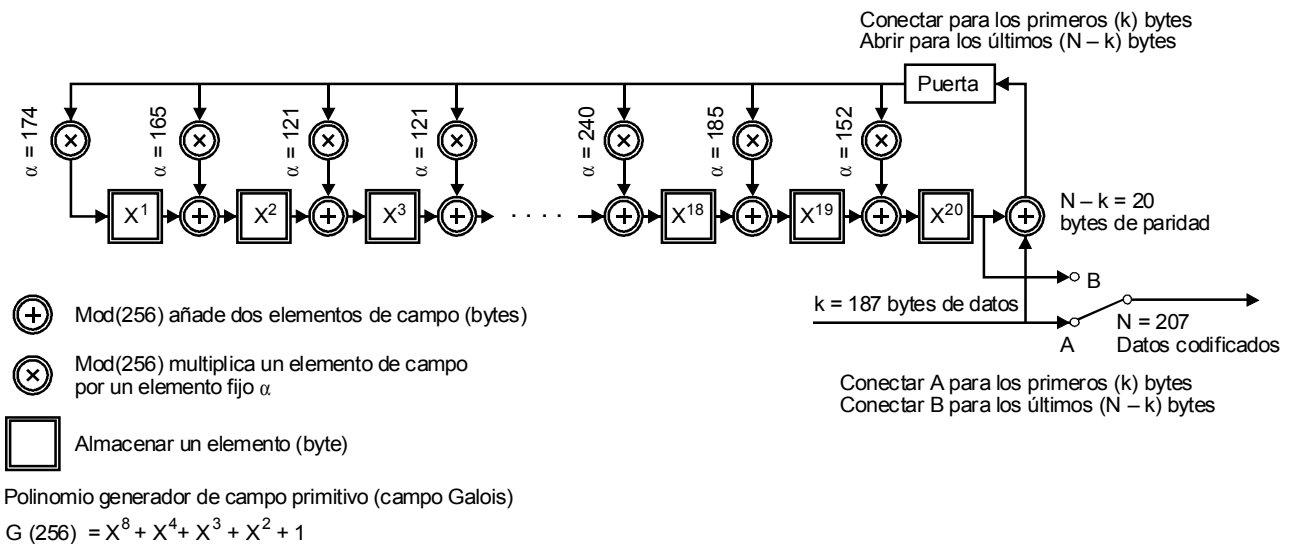
$$X^{13}\alpha^{26} + X^{12}\alpha^{187} + X^{11}\alpha^{202} + X^{10}\alpha^{180} + X^9\alpha^{22} + X^8\alpha^{225} + X^7\alpha^{83} +$$

$$X^6\alpha^{239} + X^5\alpha^{156} + X^4\alpha^{164} + X^3\alpha^{212} + X^2\alpha^{212} + X^1\alpha^{188} + \alpha^{190}$$

$$= X^{20} + 125 X^{19} + 185 X^{18} + 240 X^{17} + 5 X^{16} + 111 X^{15} + 99 X^{14} +$$

$$6 X^{13} + 220 X^{12} + 112 X^{11} + 150 X^{10} + 69 X^9 + 36 X^8 + 187 X^7 +$$

$$22 X^6 + 228 X^5 + 198 X^4 + 121 X^3 + 121 X^2 + 165 X^1 + 174$$



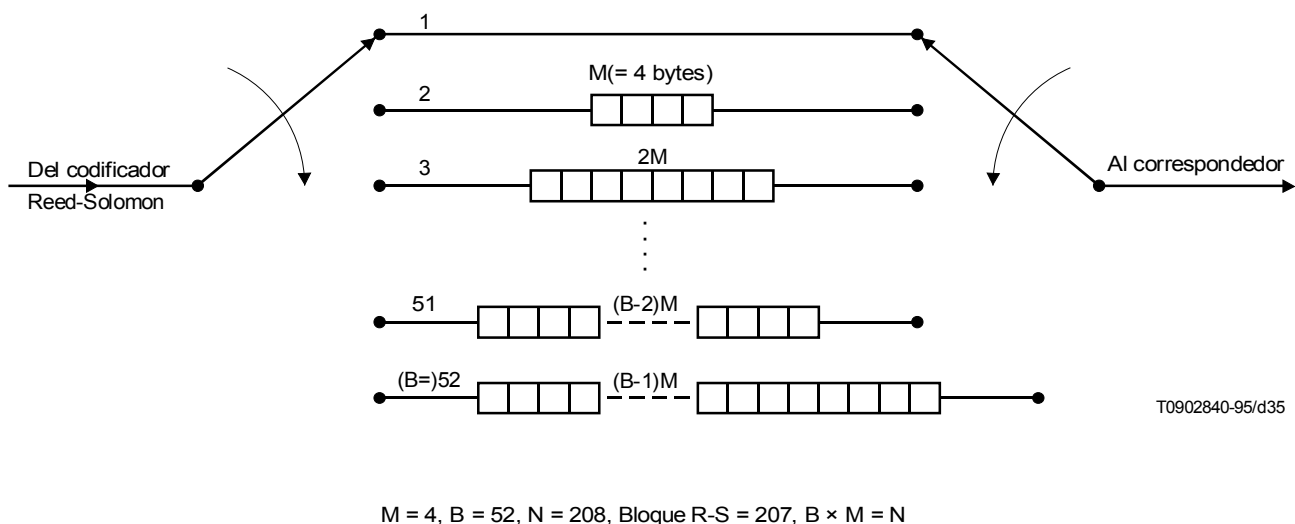
T0902830-95/d34

FIGURA D.5/J.83

Polinomio generador de paridad para Reed-Solomon (207, 187) con $t = 10$

D.5.3 Intercalación

El intercalador empleado en el sistema de transmisión VSB es un intercalador de bytes convolucional de 26 segmentos de datos (entre segmentos). La intercalación se hace a una profundidad de alrededor de 1/12 de un campo de datos (profundidad 2 ms). Sólo se intercalan bytes de datos. El intercalador se sincroniza al primer byte de datos del campo de datos. El intercalador convolucional se representa en la Figura D.6.



T0902840-95/d35

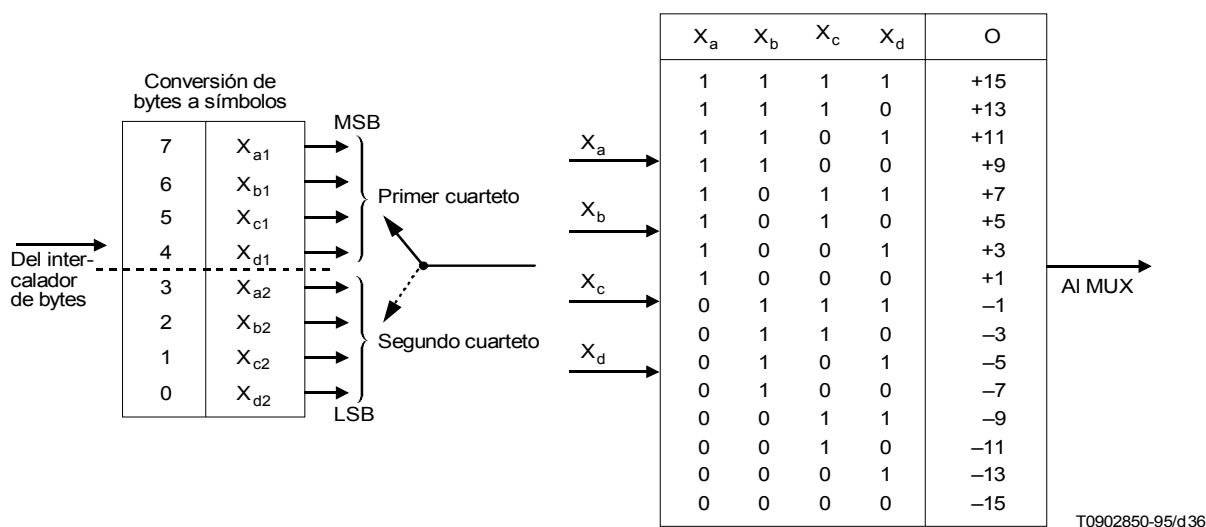
FIGURA D.6/J.83
Intercalador convolucional

D.5.4 Sincronización de segmentos de datos

Los datos multinivel se transmiten a través de un multiplexor que inserta las diversas señales de sincronización (sincronismo de segmentos de datos y sincronismo de campos de datos).

Se inserta un sincronismo de segmentos de datos de 4 símbolos binivel (binario) en el flujo de datos digital de 16 niveles al comienzo de cada segmento de datos. El byte de sincronismo MPEG se reemplaza por el sincronismo de segmentos de datos. El sincronismo de segmentos de datos insertado en los datos aleatorios se muestra en la Figura D.7.

Un segmento completo consta de 832 símbolos: 4 símbolos para al sincronismo de segmentos de datos, y 828 símbolos de datos más paridad. El sincronismo de segmentos de datos es binario (2 niveles). El mismo patrón de sincronismo se produce regularmente a intervalos de 77,3 μs , y es la única señal que se repite a esta velocidad. A diferencia de los datos, los 4 símbolos del sincronismo del segmento de datos no tienen codificación Reed-Solomon, ni están intercalados. El patrón de sincronismo de segmento de datos es un patrón 1001, como se muestra en la Figura D.8.



T0902850-95/d36

FIGURA D.7/J.83
Correspondedor 16-VSB

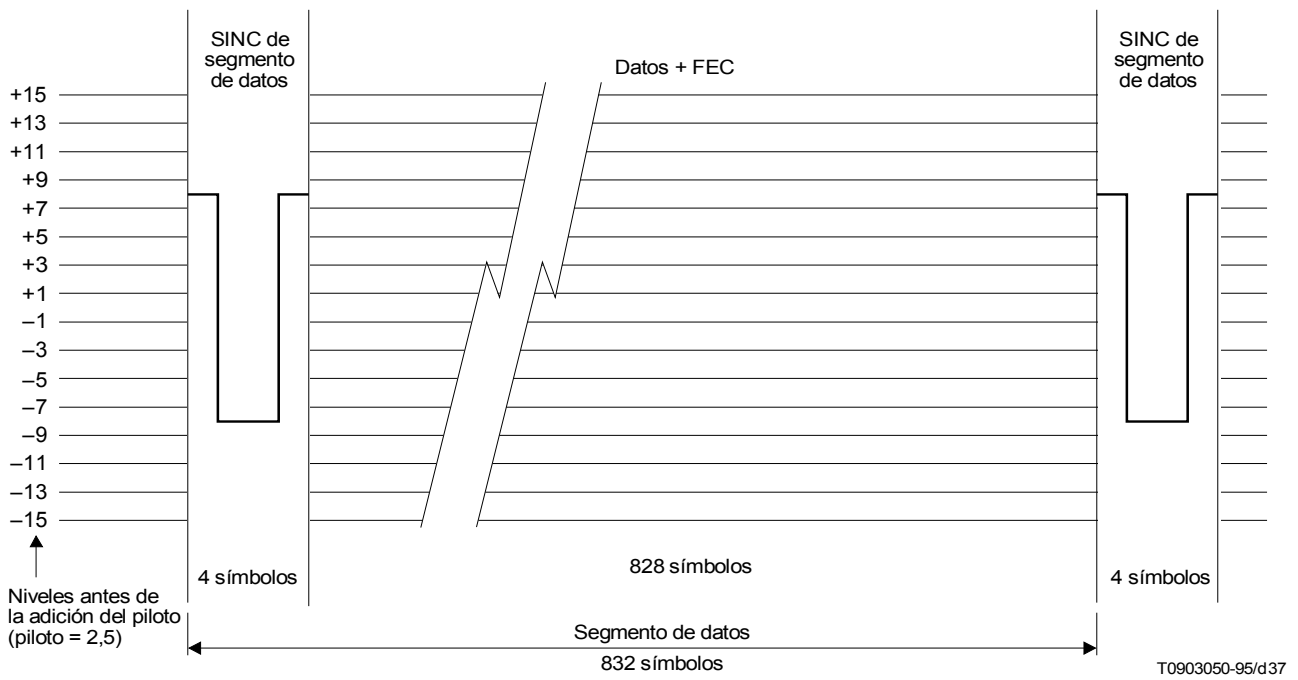


FIGURA D.8/J.83
Segmento de datos VSB

D.5.5 Sincronismo de campo de datos

Los datos no sólo se dividen en segmentos de datos, sino también en campos de datos, cada uno compuesto por 313 segmentos. Cada campo de datos (24,2 ms) empieza por un segmento de datos completo del sincronismo de campo de datos, como muestra la Figura D.9. Cada símbolo representa un bit de datos (2 niveles). Los 832 símbolos de este segmento se definen a continuación. Véase la Figura D.9.

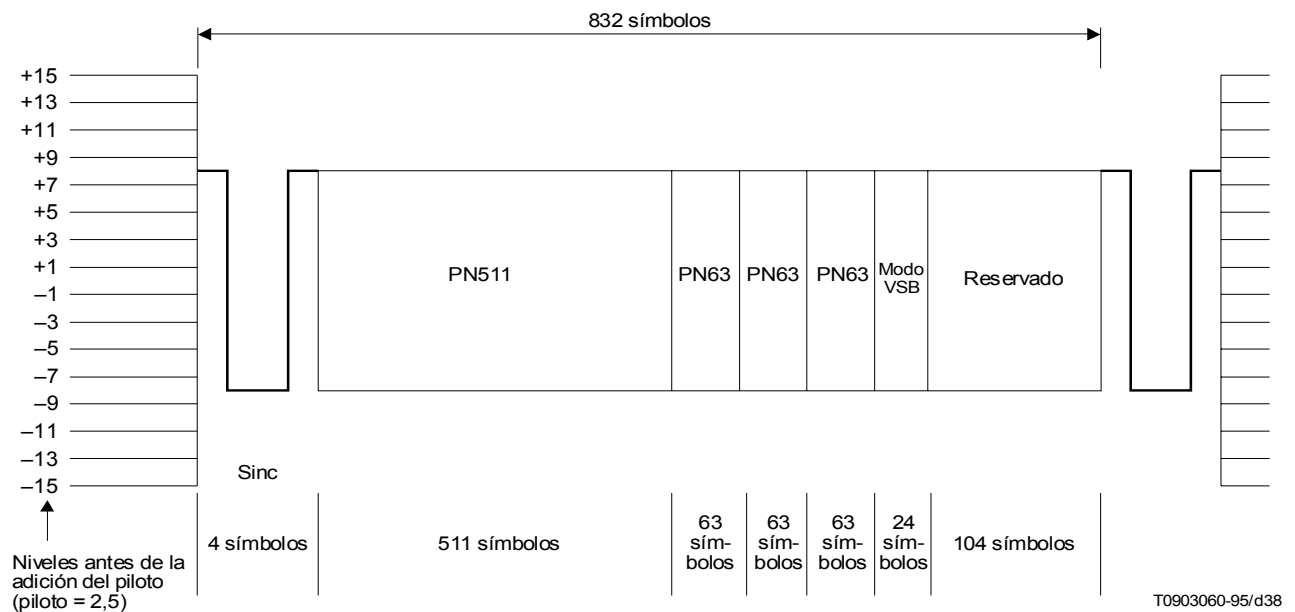


FIGURA D.9/J.83
Sincronismo de campo de datos VSB

D.5.5.1 Sincronismo

Corresponde al sincronismo de segmento de datos, y se define como 1001.

D.5.5.2 PN511⁴⁾

Estas secuencias pseudoaleatorias se definen como $X^9 + X^7 + X^6 + X^4 + X^3 + X + 1$ con un valor de precarga de 010000000.

D.5.5.3 PN63⁴⁾

Estas secuencias pseudoaleatorias se repiten tres veces. Se define como $X^6 + X + 1$ con un valor de precarga de 100111. La PN63 central se invierte cada dos sincronismos de campo de datos.

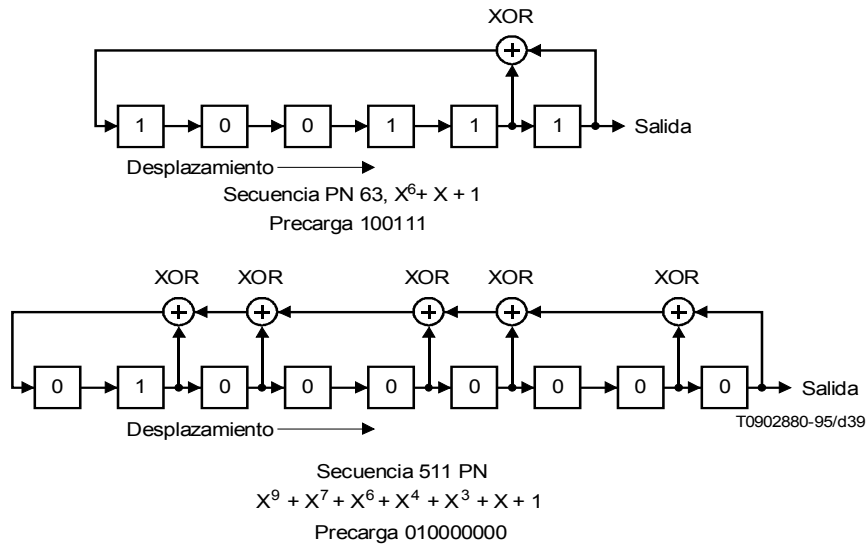


FIGURA D.10/J.83
Generador de secuencias PN de sincronismo de campo

D.5.5.4 Modo VSB

Estos 24 bits determinan el modo VSB para los datos de la trama. Los dos primeros bytes están reservados. El patrón de relleno sugerido es 0000111100001111. El byte siguiente se define como:

$$P \ A \ B \ C \ \overline{P \ A \ B \ C}$$

donde P es el bit de paridad par, el MSB del byte, y A, B, C son los bytes de modo efectivos.

P A B C	
0 0 0 0	Reservado
1 0 0 1	Reservado
1 0 1 0	Reservado
0 0 1 1	Reservado
1 1 0 0	16-VSB cable
0 1 0 1	8-VSB terrenal (Nota)
0 1 1 0	Reservado
1 1 1 1	Reservado

NOTA – En el modo 8-VSB terrenal, los bits precedentes se definen como:

$$0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \overline{P \ A \ B \ C} \ P \ A \ B \ C \ 1 \ 1 \ 1 \ 1$$

⁴⁾ Los generadores de las secuencias PN63 y PN511 se muestran en la Figura D.10.

D.5.5.5 Reservado

Los últimos 104 bits son espacio reservado. Se sugiere que éste se rellene con una continuación de la secuencia PN 63.

Todas las secuencias son precargadas antes del comienzo del sincronismo de campo de datos.

Al igual que el sincronismo de segmento de datos, el sincronismo de campo de datos no se codifica en Reed-Solomon, ni está intercalado.

D.6 Modulación

D.6.1 Correspondencia de bits a símbolos

La Figura D.7 muestra la correspondencia de las salidas del intercalador a los niveles de señal nominales de ($\pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7, \pm 9, \pm 11, \pm 13, \pm 15$). Como muestran las Figuras D.8 y D.9, los niveles nominales del sincronismo del segmento de datos y del sincronismo de campo de datos son -9 y $+9$.

D.6.2 Adición de piloto

Se añade a la señal de datos un pequeño piloto en fase. La frecuencia del piloto es la misma que la frecuencia de portadora suprimida presentada en la Figura D.3. Ésta puede generarse de la siguiente manera. Se añade un pequeño nivel DC (digital) (2,5) a cada símbolo (datos y sincronismos) de la señal de datos más sincronismo de banda base digital ($\pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7, \pm 9, \pm 11, \pm 13, \pm 15$). La potencia del piloto está a 11,3 dB por debajo de la potencia media de la señal de datos.

D.6.3 Método de modulación 16-VSB

El modulador VSB recibe la señal de datos compuesta de 16 niveles de 10,76 Msímbolos/s (incluidos piloto y sincronismos). La calidad de funcionamiento de un sistema digital multiprograma se basa en una respuesta de filtro Nyquist de coseno alzado de fase lineal en el transmisor y el receptor concatenados, como muestra la Figura D.11. Véase la nota a pie de página 3. La respuesta de filtro del sistema es prácticamente plana en toda la banda, excepto en las regiones de transición de cada extremo de la banda. Nominalmente, la caída en el transmisor tiene la respuesta de un filtro en raíz cuadrada de coseno alzado de fase lineal. Las tolerancias dentro de banda y fuera de banda están en estudio.

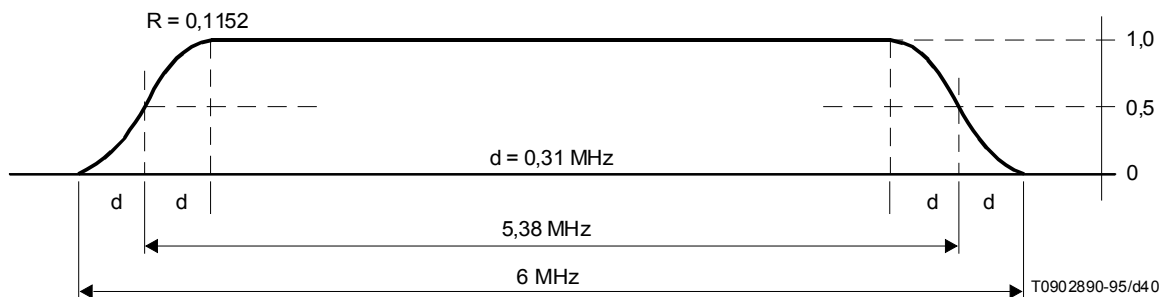


FIGURA D.11/J.83

**Respuesta nominal de un canal de sistema VSB
(filtro Nyquist de coseno alzado de fase lineal)**

D.6.4 Conversión elevación

El proceso de modulación suele realizarse a una frecuencia intermedia (IF). La IF modulada se convierte elevándola a la frecuencia final transportada por el sistema de cable.

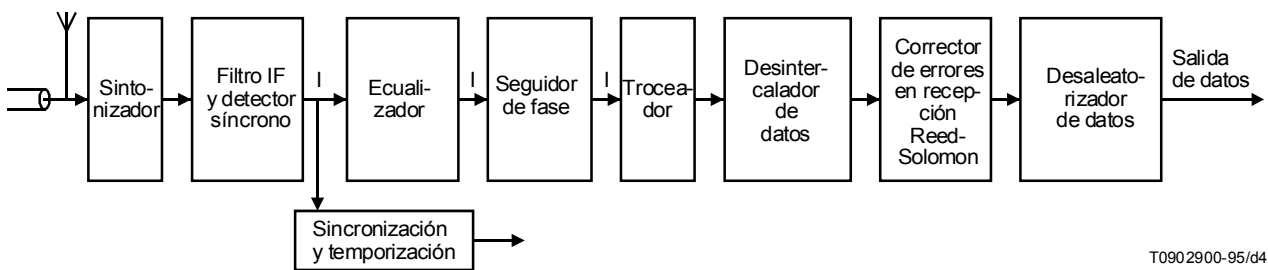
D.7 Receptor de cable 16-VSB

El receptor de cable 16-VSB se muestra en la Figura D.12. Todas las funciones inversas del transmisor se ejecutan en el receptor: conversión reducción (sintonizador), detección, sincronización y recuperación de temporización, desintercalación, corrección de errores en recepción Reed-Solomon y desaleatorización de datos.

Además, un ecualizador elimina la interferencia entre símbolos haciendo uso del sincronismo de campo de datos como señal de referencia de reacondicionamiento, y un seguidor de fase reduce el efecto del ruido de fase del oscilador local del sintonizador. Después del seguidor de fase está el troceador (*slicer*) para recuperar los datos de los símbolos multinivel.

La portadora demoduladora es recuperada del piloto y la sincronización y el reloj se recuperan del sincronismo de segmento.

El receptor puede ser alimentado con señales de modo cable desde el sistema de distribución por cable o, si el receptor es un receptor de radiodifusión terrenal, puede también ser alimentado por retransmisiones terrenales con codificación reticular 8-VSB, o a partir de fuentes de cable privadas (SMATV o MMDS, u otras).



T0902900-95/d4 1

FIGURA D.12/J.83

Receptor 16-VSB



Impreso en Suiza
Ginebra, 1996