

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

J.83

(12/2007)

SERIE J: REDES DE CABLE Y TRANSMISIÓN DE
PROGRAMAS RADIOFÓNICOS Y TELEVISIVOS,
Y DE OTRAS SEÑALES MULTIMEDIA

Transmisión digital de señales de televisión

**Sistemas digitales multiprogramas para
servicios de televisión, sonido y datos
de distribución por cable**

Recomendación UIT-T J.83

Recomendación UIT-T J.83

Sistemas digitales multiprogramas para servicios de televisión, sonido y datos de distribución por cable

Resumen

La Recomendación UIT-T J.83 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 (A, B, C y D), que especifican los cuatro sistemas digitales de televisión por cable sometidos al UIT-T, lo cual revela el desarrollo y la implementación provisional de varios sistemas digitales de televisión por cable anteriores a la labor de normalización de la UIT.

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 A, B, C y D.

Historia

Edición	Recomendación	Aprobación	Comisión de Estudio	ID único*
1.0	ITU-T J.83	1995-10-24	9	11.1002/1000/1366
1.1	ITU-T J.83 (1995) Amd. 1	1996-10-18	9	11.1002/1000/3914
2.0	ITU-T J.83	1997-04-22	9	11.1002/1000/4012
2.1	ITU-T J.83 (1997) Amd. 1	2006-11-29	9	11.1002/1000/8928
3.0	ITU-T J.83	2007-12-14	9	11.1002/1000/9301

* Para acceder a la Recomendación, sírvase digitar el URL <http://handle.itu.int/> en el campo de dirección del navegador, seguido por el identificador único de la Recomendación. Por ejemplo, <http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en>.

PREFACIO

La Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones y de las tecnologías de la información y la comunicación. El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) es un órgano permanente de la 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 Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), 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 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

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.

La observancia de esta Recomendación es voluntaria. Ahora bien, la Recomendación puede contener ciertas disposiciones obligatorias (para asegurar, por ejemplo, la aplicabilidad o la interoperabilidad), por lo que la observancia se consigue con el cumplimiento exacto y puntual de todas las disposiciones obligatorias. La obligatoriedad de un elemento preceptivo o requisito se expresa mediante las frases "tener que, haber de, hay que + infinitivo" o el verbo principal en tiempo futuro simple de mandato, en modo afirmativo o negativo. El hecho de que se utilice esta formulación no entraña que la observancia se imponga a ninguna de las partes.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT [ha recibido/no ha recibido] notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB en la dirección <http://www.itu.int/ITU-T/ipr/>.

© UIT 2019

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	1
3 Términos y definiciones	2
4 Símbolos y abreviaturas.....	2
4.1 Símbolos	2
4.2 Abreviaturas	3
5 Sistemas digitales multiprogramas de distribución por cable.....	4
Anexo A – Sistema digital multiprograma A.....	6
A.1 Introducción.....	6
A.2 Especificación.....	6
Anexo B – Sistema digital multiprogramas B	7
B.1 Introducción.....	7
B.2 Concepto de sistema de cable	7
B.3 Capa de transporte MPEG-2.....	8
B.4 Trama de transporte MPEG-2	8
B.5 Corrección de errores en recepción	13
B.6 Modulación y demodulación	27
Anexo C – Sistema digital multiprograma C	29
C.1 Introducción.....	29
C.2 Concepto de sistema de cable	29
C.3 Capa de transporte MPEG-2.....	30
C.4 Estructura de trama.....	30
C.5 Codificación de canal	31
C.6 Modulación.....	33
Anexo D – Sistema digital multiprograma D.....	39
D.1 Introducción.....	39
D.2 Concepto de sistema de cable	39
D.3 Capa de transporte MPEG-2.....	40
D.4 Estructura de trama.....	40
D.5 Codificación de canal	41
D.6 Modulación.....	47
D.7 Receptor de cable 16 VSB.....	48
D.8 Otros modos VSB.....	48
Bibliografía	57

Introducción

El desarrollo de las nuevas tecnologías digitales 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.

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 A, B, C y D, y a buscar oportunidades de una mayor convergencia, en lugar de desarrollar un sistema diferente basado en las mismas tecnologías.

La segunda edición (1997) de la presente Recomendación incorporó la Enmienda 1 (10/1996), en la que se introdujeron los siguientes cambios con respecto a la primera edición de la Recomendación:

- a) en el Anexo B se integra la especificación de 256 QAM (modulación de amplitud en cuadratura de 256 niveles);
- b) en el mismo anexo se especifican dos modos de funcionamiento distintos de la capacidad de intercalación, denominados nivel 1 y nivel 2. El nivel 1 se especifica para la transmisión con 64 QAM solamente y ya existía en la primera edición del Anexo B. El nivel 2 abarca la transmisión con 64 QAM y 256 QAM, y para ambos esquemas de modulación es capaz de admitir la intercalación variable;
- c) en la primera edición del Anexo D se identificaban 24 bits que determinaban el modo VSB (banda lateral residual) para los datos en la trama y se definían dos de esos modos: 16-VSB cable y 8-VSB terrenal (codificado en rejilla). En esta segunda edición se definieron en otros tres modos VSB, a saber, 2-VSB, 4-VSB y 8-VSB.

En la tercera edición (2007) de esta Recomendación se mejora el método de modulación añadiendo 128 QAM y 256 QAM en el Anexo A y 256 QAM en el Anexo C.

Recomendación UIT-T J.83

Sistemas digitales multiprogramas para servicios de televisión, sonido y datos de distribución por cable

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 1 – 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 vídeo, 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.

NOTA 2 – La estructura y contenido de la presente Recomendación se diseñaron para facilitar su utilización a quienes ya están familiarizados con el material inicial original; debido a ello, no se aplica el estilo tradicional de las Recomendaciones del UIT-T.

2 Referencias

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T 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 otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes. En esta Recomendación, la referencia a un documento, en tanto que autónomo, no le otorga el rango de una Recomendación.

- [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] Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI) EN 300 429 V1.2.1 (1998-04), *Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems*.

3 Términos y definiciones

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

4 Símbolos y abreviaturas

4.1 Símbolos

En esta Recomendación se utilizan los siguientes símbolos:

α	Factor de caída (<i>roll-off factor</i>)
A_k, B_k	Bits más significativos a la salida del convertidor de bytes a m-tuplas
byte	Ocho bits
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
q	Número de bits: 2, 3, 4 para 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM, respectivamente
R	Secuencia aleatorizada
r_m	Rizado dentro de banda (dB)
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
T	Número de bytes que pueden corregirse en un paquete protegido contra errores RS
T_s	Periodo de símbolo

4.2 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes abreviaturas:

ATM	Modo transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BB	Banda base (<i>baseband</i>)
BER	Tasa de errores de bits (<i>bit error ratio</i>)
bps	Bits por segundo (<i>bits per second</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>)
HEC	Control de errores de encabezamiento (<i>header error control</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>pseudorandom noise</i>)
ppm	Partes por millón
PRBS	Secuencia binaria pseudoaleatoria (<i>pseudorandom 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>)
VSF	Banda lateral vestigial (<i>vestigial sideband</i>)
XOR	OR exclusivo
2-VSB	VSB de 2 niveles

- 4-VSB VSB de 4 niveles
- 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 A, B, C y D. Las especificaciones se comparan en el Cuadro 1, que muestra algunas características comunes.

**Cuadro 1 – Comparación resumida de especificaciones
que indican características comunes**

Ítem	Anexo B	Anexo A	Anexo C	Anexo D
Señales de entrada	Tren de transporte MPEG-2 modificado. Se sustituye el byte de sincronismo por una suma de comprobación de paridad que mejora las funciones de delimitación de paquetes y la capacidad de detección de errores independiente de la capa FEC. (Véase B.4.)	Tren de transporte MPEG-2 (Véanse la cláusula 5 en [3], C.3, D.3.)		
Estructura de trama	La trama FEC comprende una cola de sincronismo de 42 ó 40 bits después de 60 u 88 bloques RS, cada uno de los cuales contiene 128 símbolos. Un símbolo RS consta de 7 bits. Así, hay un total de 53 802 ó 78 888 bits en una trama FEC para 64 ó 256 QAM, respectivamente. (Véase B.5.3.)	La organización de trama se basa en la estructura de los paquetes de transporte MPEG-2 (Véanse la cláusula 6 en [3], C.4 y D.4.)		

**Cuadro 1 – Comparación resumida de especificaciones
que indican características comunes**

Ítem		Anexo B	Anexo A	Anexo C	Anexo D
Codificación de canal	Aleatorización	El polinomio de 3 términos para PRS: $x^3 + x + \alpha^3$ a lo largo de GF 128. (Véase B.5.4)	El polinomio de 15 bits para PRBS: $1 + x^{14} + x^{15}$ (Véanse la cláusula 7.1 en [3] y C.5.1)	El polinomio de 16 bits para PRBS: $1 + x + x^3 + x^6 + x^7 + x^{11} + x^{12} + x^{13} + x^{16}$ (Véanse D.5.1)	
	FEC	Codificación concatenada, RS (128,122) GF 128 con codificación convolucional. (Véase B.5.1)	RS (204, 188) GF 256 (Véanse la cláusula 7.2 en [3] y C.5.2)	RS (207, 187) GF 256 (Véase D.5.2)	
	Intercalación	Profundidad de intercalación convolucional: I = 128,64,32,16,8 J = 1,2,3,4,5,6,7,8,16. (Véase B.5.2)	Profundidad de intercalación convolucional: I = 12 (Véanse la cláusula 7.3 en [3] y C.5.3.)	Profundidad de intercalación convolucional: I = 52 (Véase D.5.3)	
Modulación	Correspondencia de byte a símbolo	Véase B.5.5	Véanse la cláusula 8 en [3] y C.6.1		Véase D.6.1
	Codificación diferencial	Véase B.5.5	Véanse la cláusula 8 en [3] y C.6.2		Ninguna
	Codificación reticular	Véase B.5.5	Ninguna		
	Anchura de banda	6 MHz	8 MHz	6 MHz	
	Constelación	64 ó 256 QAM Figura B.18 o B.19	16, 32, 64, 128, 256 QAM (Véase la cláusula 9 en [3])	64, 256 QAM Figura C.7	2, 4, 8, 16 VSB
	Factor de caída	18% ó 12% para 64 ó 256 QAM, respectivamente. Véase B.6.1	15% (Véase la cláusula 9 en [3])	13% Véase C.6.4	11,5% Véase D.6.3
	Características del filtro de banda base	Cuadro B.2	Véase el Anexo A en [3]	Figura C.8	Figura D.11

Anexo A

Sistema digital multiprograma A

(Este anexo forma parte integrante de la presente Recomendación.)

A.1 Introducción

Este anexo es resultado de los trabajos realizados por el Proyecto de Radiodifusión de Vídeo Digital (DVB, *Digital Video Broadcasting Project*), consorcio industrial compuesto por más de 260 radiodifusores, fabricantes, operadores de red, creadores de *software* y organismos de regulación y de otro tipo de más de 35 países de todo el mundo para elaborar normas mundiales sobre la entrega de la televisión digital y los servicios de datos. Este trabajo ha sido adoptado por el Comité Técnico Mixto (JTC) de la Unión Europea de Radiodifusión (UER), el Comité Europeo de Normalización Electrotécnica (CENELEC) y el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI) como Norma Europea (EN) 300 429 [3].

Se 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. El sistema puede utilizarse transparentemente con el sistema de modulación/codificación de canal utilizado en la televisión digital multiprograma por satélite.

El sistema se basa en MPEG-2 (véase la referencia [2]) en cuanto a la codificación de fuente y multiplexación de transporte con la adición de la adecuada corrección de errores en recepción (FEC). Se basa en la modulación de amplitud en cuadratura (QAM). Permite constelaciones de 16, 32, 64, 128 o 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 Especificación

El texto de ETSI EN 300 429 [3] conforma este Anexo A con las siguientes modificaciones.

A.2.1 Cláusula "Prefacio" sin numerar

La cláusula introductoria "Prefacio" no se aplica en el contexto de este Anexo.

Anexo B

Sistema digital multiprogramas B

(Este anexo forma parte integrante de la presente Recomendación.)

B.1 Introducción

Este anexo describe la estructura de trama, la codificación de canal y la modulación de canal para un sistema de distribución de televisión digital multiservicio que es específico para un canal de cable. El sistema puede utilizarse transparentemente, con distribución desde un canal de satélite puesto que muchos sistemas de cable se alimentan directamente de los enlaces de satélite. La especificación abarca tanto los sistemas 64 QAM como los 256 QAM. La mayoría de las características de ambos esquemas de modulación son idénticas. Cuando existen diferencias, se tratan los detalles específicos de cada esquema de modulación.

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 con una constelación de señales de 256 puntos (256 QAM), seleccionable por el transmisor. 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 codificación concatenada ofrece una mejor calidad de funcionamiento sobre un código de bloques, con una complejidad global similar. 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.

Se supone que la entrada de formato de datos a la modulación y codificación es el transporte MPEG-2. Sin embargo, el método utilizado para la sincronización MPEG está desligado de la sincronización FEC. Por ejemplo, esto permite que el sistema transporte fácilmente los paquetes ATM sin interferir con la sincronización ATM. De hecho, la sincronización ATM puede ser realizada por mecanismos de sincronización ATM definidos.

Se soportan dos modos: el modo 1 tiene una velocidad de símbolos de 5,057 Msymbols/s y el modo 2 tiene una velocidad de símbolos de 5,361 Msymbols/s. Típicamente se utilizará el modo 1 para 64 QAM y el modo 2 para 256 QAM. El sistema será compatible con futuras realizaciones de esquemas de velocidades de datos más elevadas que utilicen ampliaciones de orden superior de la 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 en cuanto a determinar la corrección de errores y la demodulación apropiadas. El canal de cable, incluido el de fibras ópticas, se considera ante todo 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 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 siguientes definen estas capas desde el "exterior" en, y desde la perspectiva del lado transmisor.

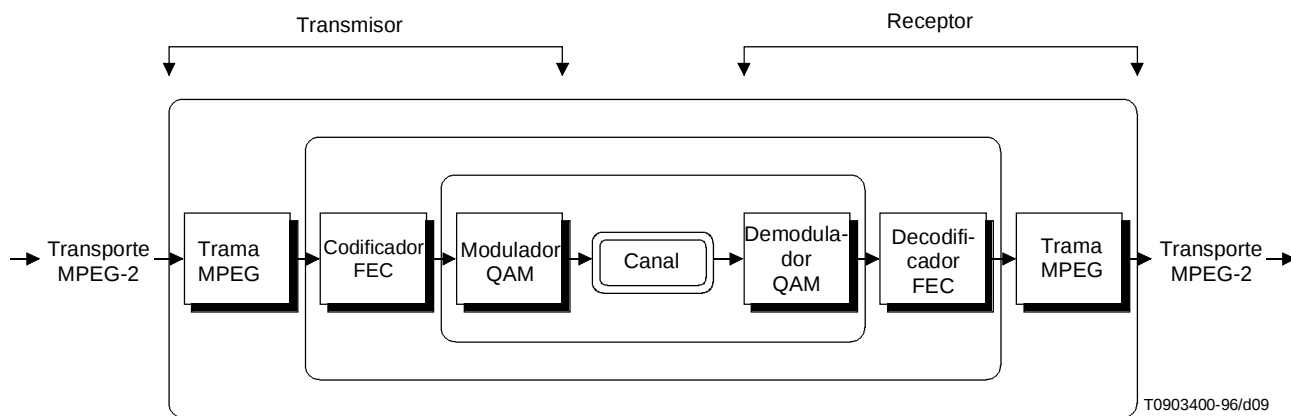


Figura B.1/J.83 – Diagrama de bloques de transmisión por cable

B.3 Capa de transporte MPEG-2

La capa de transporte MPEG-2 se define en la referencia [2]. La capa de transporte para datos MPEG-2 está compuesta por paquetes que tienen 188 bytes, con un byte para el sincronismo y tres bytes de encabezamiento que contienen información de identificación del servicio, aleatorización y control, seguidos de 184 bytes de datos MPEG-2 o auxiliares.

B.4 Trama de transporte MPEG-2

La trama de transporte MPEG es la capa más exterior del procesamiento. Constituye un medio eficaz de proporcionar sincronismo de paquetes MPEG a la salida del receptor. Este bloque de procesamiento recibe un tren de datos de transporte MPEG-2 compuesto por un tren continuo de paquetes de longitud fija 188 bytes. Dicho tren de datos se transmite en modo serie, con el MSB en primer lugar. El primer byte de un paquete se especifica que sea un byte de sincronismo con un valor constante de 47_{HEX}.

El byte de sincronismo está destinado a facilitar la delimitación de paquetes. El sistema de transmisión por cable ha incorporado una capa adicional de procesamiento para proporcionar unas funciones suplementarias utilizando la capacidad de contenido de información de este byte de sincronismo. Dicho byte de sincronismo se sustituye por una suma de comprobación de paridad que es un conjunto asociado de código de bloques lineal para la comprobación de paridad de FIR, lo cual proporciona una 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 consecutivos que constituyen el contenido del paquete MPEG-2 inmediatamente anterior (menos el byte de sincronismo). Es posible entonces soportar al mismo tiempo sincronización de paquetes y detección de errores. El decodificador calcula una suma de comprobación móvil del tren 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 anterior puede facultativamente ser fijada cuando los datos son transmitidos desde el decodificador. La palabra de sincronismo normal debe ser reinsertada en lugar de la suma de comprobación para proporcionar un tren de datos MPEG-2 normalizado en la salida.

El síndrome se calcula haciendo pasar los 1 496 bits de cabida útil a través de un registro de desplazamiento con realimentación lineal (LFSR, *linear feedback shift register*) como se describe en la siguiente ecuación:

$$f(x) = [1 + x^{1497}b(x)] / g(x)$$

donde:

$$g(x) = 1 + x + x^5 + x^6 + x^8; \text{ y}$$

$$b(x) = 1 + x + x^3 + x^7$$

Esta estructura de cálculo se ilustra en las Figuras B.2 y B.3. Se supone que todas las operaciones de suma se realizan en módulo 2. Para una operación de codificación, el LFSR se inicializa primero, de manera que todos los elementos de la memoria contengan un valor cero. Los 1 496 bits que constituyen la cabida útil del paquete del tren de transporte MPEG-2 se trasladan al LFSR. La entrada del codificador se pone a cero, después de haber recibido los 1 496 bits de datos, y se requieren ocho desplazamientos adicionales para disponer en salida secuencial los ocho bits de síndrome calculados. Después se debe hacer pasar este resultado de 8 bits a través de una función de filtrado FIR $g(x)$ adicional (se inicializa a un estado todos ceros antes de la introducción de los 8 bits del síndrome) para generar una suma de comprobación del codificador. Se añade un desplazamiento de 67_{HEX} a este resultado de la suma de comprobación para mejorar las propiedades de autocorrelación, en virtud de lo cual se produce un resultado 47_{HEX} durante la operación de decodificación del síndrome cuando está presente una palabra de código válida. En la suma de comprobación de 8 bits final con desplazamiento añadido se transmite el bit más significativo MSB primero y después los 1 496 bits de cabida útil para realizar un codificador sistemático.

El decodificador puede utilizar una matriz de comprobación de paridad para identificar una suma de comprobación válida. Para este fin puede emplearse también un generador de síndrome como el mostrado en la Figura B.3. El código se ha diseñado de manera que, cuando se multiplican los 188 octetos apropiados del paquete del tren de transporte MPEG-2 modificado (que incluye la suma de comprobación asociada) con respecto a la matriz de comprobación de paridad, se indica una palabra de código válida cuando el producto calculado da un resultado de 47_{HEX} . Cada una de las ocho columnas de la matriz de comprobación de paridad "P" incluye un vector de 1 497 bits, denominado en lo sucesivo "C". Este vector se define en la Figura B.4.

A medida que avanzamos desde la columna de la izquierda de la matriz "P", la columna "C" de 1 497 bits se duplica en columnas posteriores de la matriz "P", desplazadas 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.5.

Es de señalar que la suma de comprobación se calcula tomando como base los 187 bytes anteriores y no los 187 bytes todavía por recibir por el decodificador de sincronismo MPEG-2. Esto contrasta con la noción convencional de una estructura de paquete MPEG, en la 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 a los que sigue el byte de suma de comprobación, lo que da un total de 1 504 bits. Este vector "R" se multiplica (módulo 2) por la matriz "P" de comprobación de paridad, de lo que resulta un vector "S" de ocho bits de longitud, ilustrado en la Figura B.6.

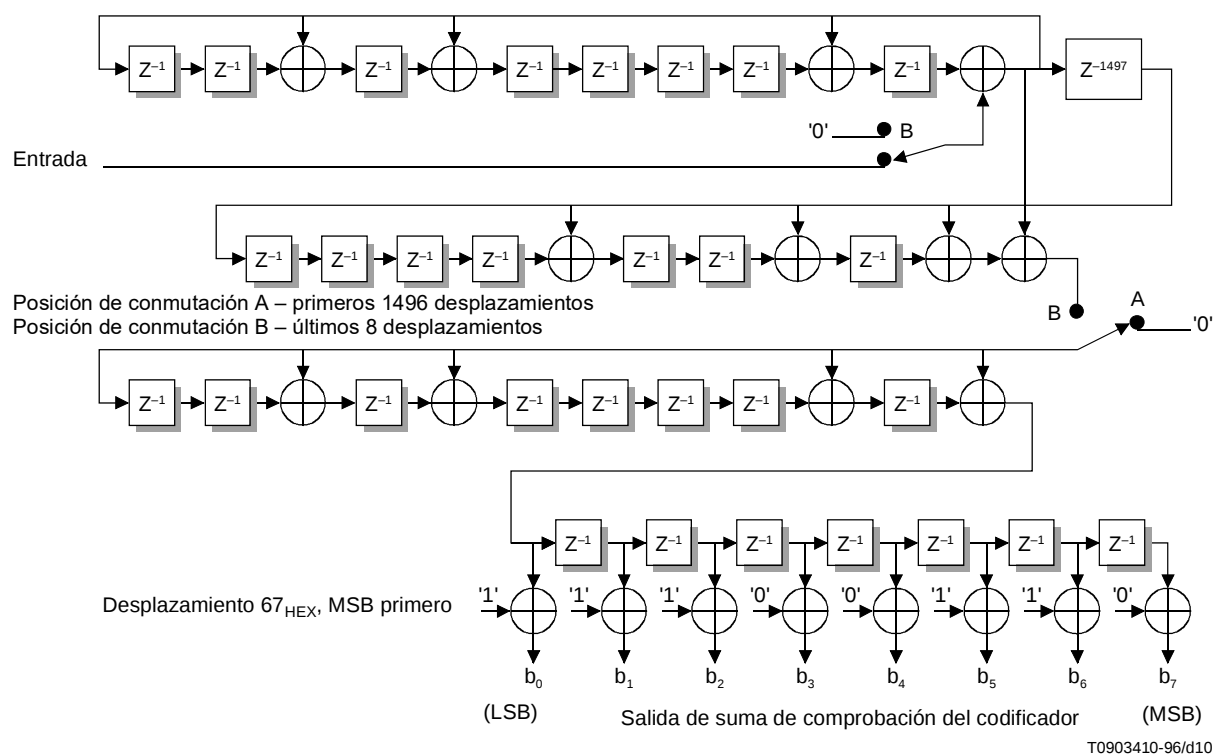


Figura B.2/J.83 – Generador de sumas de comprobación para el codificador de octeto de sincronismo MPEG-2

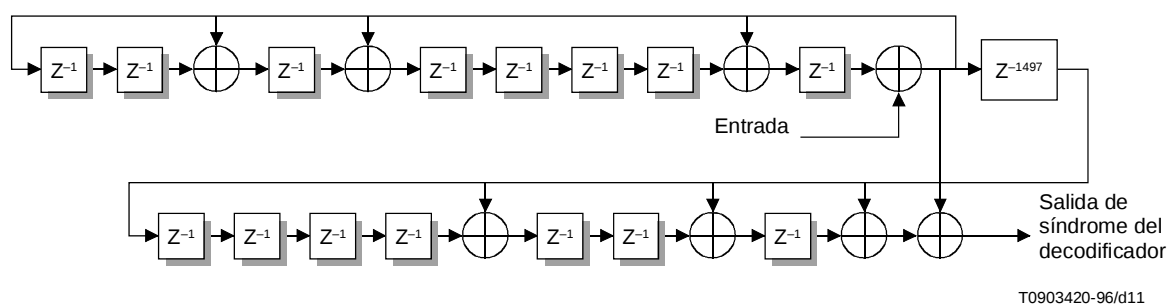


Figura B.3/J.83 – Generador de síndrome para el codificador de octeto de sincronismo MPEG-2

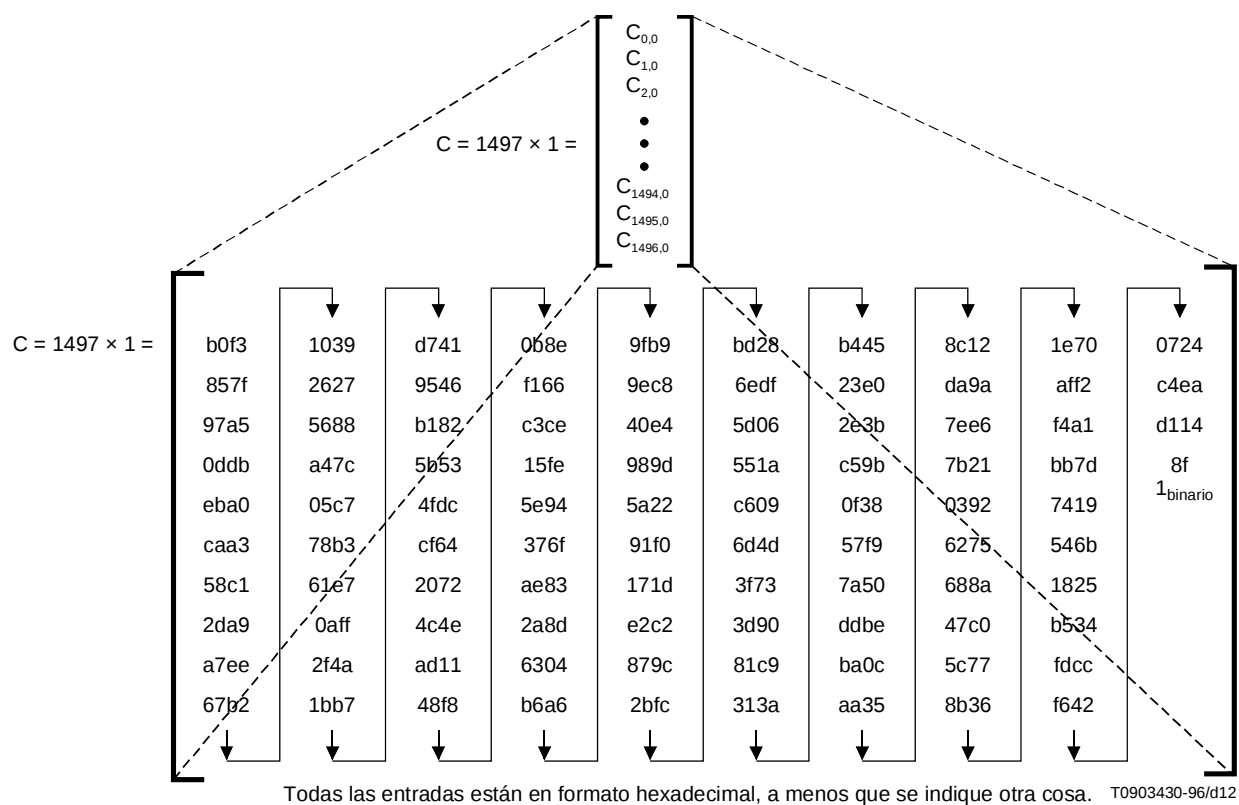


Figura B.4/J.83 – Vector columna "C" (reproducido dentro de la matriz de comprobación de paridad)

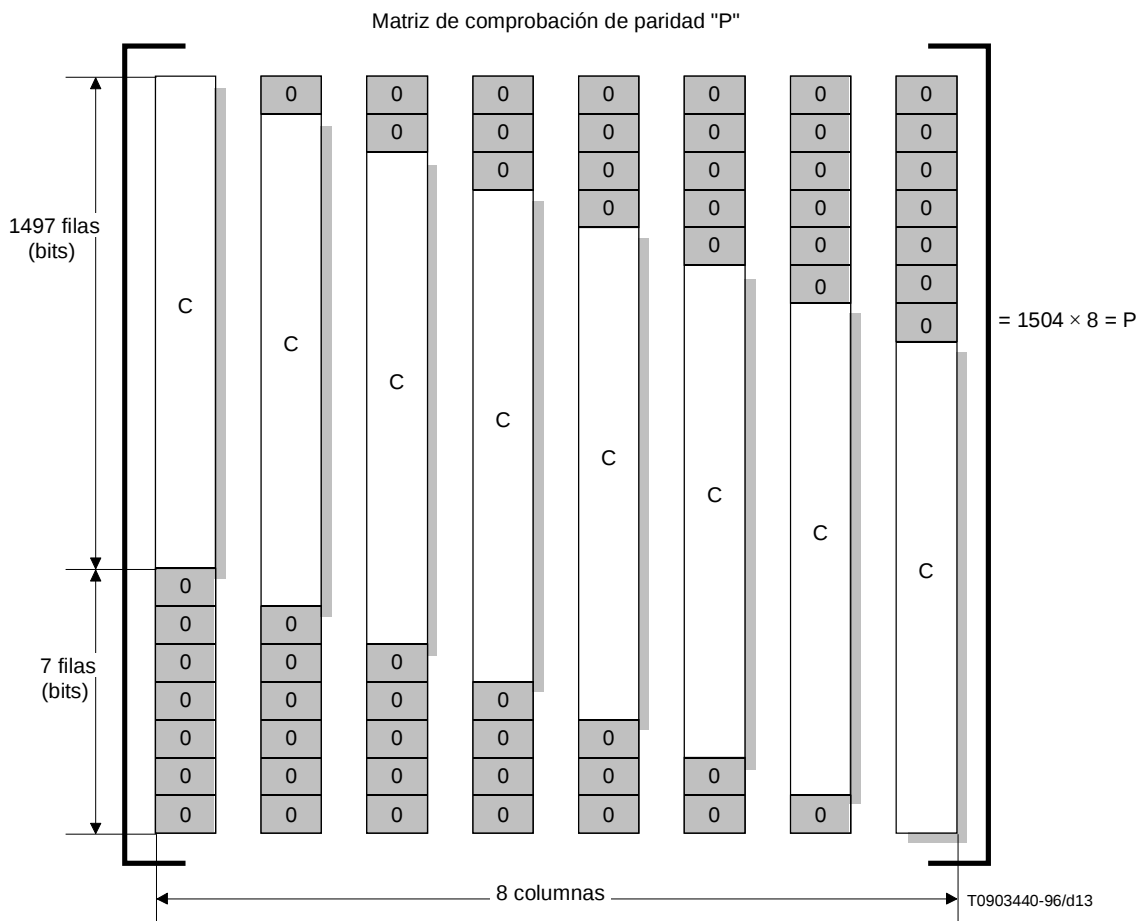


Figura B.5/J.83 – Estructura de la matriz de comprobación de paridad "P"

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

$S = [0100 \ 0111] = 0 \times 47$

T0903450-96/d14

Figura B.6/J.83 – Vector MPEG-2 recibido y multiplicación por la matriz de comprobación de paridad

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

Para la transmisión de protocolos de transporte distintos de los del transporte MPEG-2, por ejemplo, el ATM, se suprime o se prescinde de esta capa exterior. La capa FEC acepta y entrega los datos sin sujetarse a restricciones sobre el protocolo. La cláusula relativa a las tramas podría sustituirse por una apropiada al protocolo de transporte alternativo, si así lo requiere una aplicación. Todas las demás partes de esta especificación (modulación, codificación, intercalación) se aplican como se describe seguidamente. Para el caso del ATM, no se requiere capa de trama. El ATM HEC proporciona

generalmente una adecuada alineación de tramas y detección de errores en paquete. Por consiguiente, los trenes ATM se transmiten de modo transparente sin tara para la formación de paquetes MPEG o quasi-MPEG.

B.5 Corrección de errores en recepción

La corrección de errores en recepción (FEC) se caracteriza por estar compuesta de cuatro capas de procesamiento como se ilustra en la Figura B.7. No existen dependencias del protocolo de datos de entrada en ninguna de las capas FEC. El sincronismo FEC es enteramente interno y transparente. Todas las secuencias de datos serán entregadas desde la entrada del codificador a la salida del decodificador.

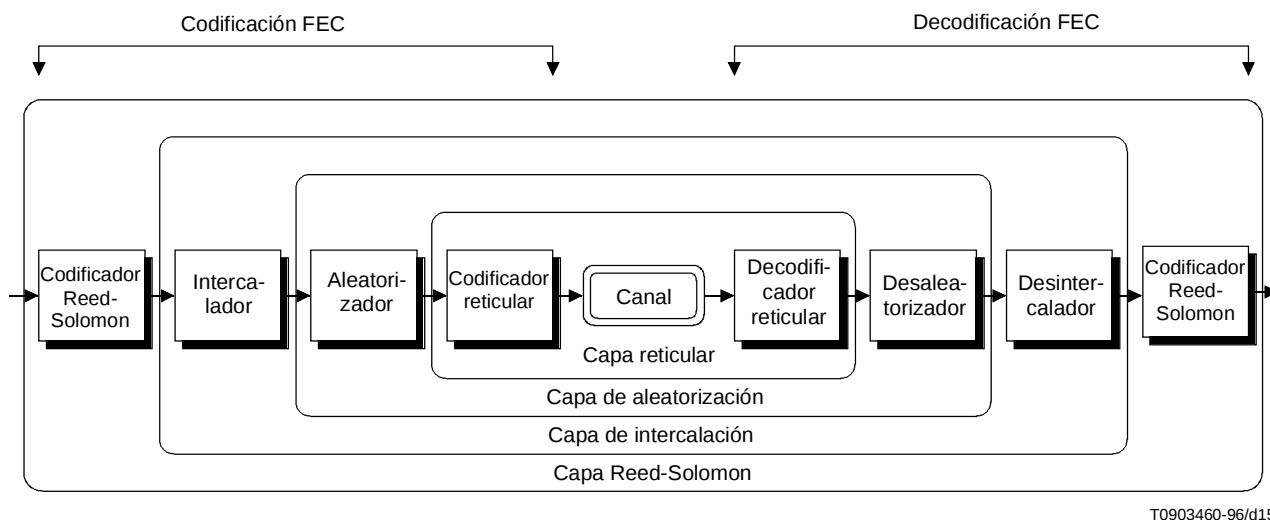


Figura B.7/J.83 – Capas de procesamiento en la FEC

La sección FEC utiliza diversos tipos de algoritmos de corrección de errores y técnicas de intercalación 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 reticular – Proporciona codificación convolucional con la posibilidad de utilizar decodificación reticular de decisión blanda de errores de canal aleatorios.

En las subcláusulas que siguen se definen estas 4 capas.

B.5.1 Codificación Reed-Solomon

El tren de transporte MPEG-2 está codificado en Reed-Solomon (RS) utilizando un código (128, 122) sobre un campo Galois GF(128). Este código tiene la capacidad de corregir hasta $t = 3$ errores de símbolo por bloque RS. Se utiliza el mismo código RS para 64 QAM y 256 QAM. No obstante, el formato de trama FEC es diferente para cada tipo de modulación, como se describe en una cláusula posterior.

En esta subcláusula se describe la realización del codificador Reed-Solomon. Se utiliza un codificador sistemático para realizar un código Reed-Solomon de $t = 3$, (128,122) ampliado sobre un GF(128). El polinomio primitivo utilizado para formar el campo sobre GF(128) es:

$$p(x) = x^7 + x^3 + 1$$

en la que:

$$p(x) = 0$$

El polinomio generador utilizado por el codificador es:

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

La entrada polinómica de mensajes al codificador consta de 122 símbolos de 7 bits y se describe seguidamente:

$$m(x) = m_{121}x^{121} + m_{120}x^{120} + \dots + m_1x + m_0$$

El polinomio de mensajes se multiplica primero por x^5 y luego se divide por el polinomio generador $g(x)$ para formar un residuo descrito por lo siguiente:

$$r(x) = r_4x^4 + r_3x^3 + r_2x^2 + r_1x + r_0$$

Este residuo está constituido por cinco símbolos de paridad que se añaden luego al polinomio de mensajes para formar una palabra de código de 127 símbolos que es un múltiplo par del polinomio generador.

La palabra de código generada se describe ahora por el polinomio siguiente:

$$c(x) = m_{121}x^{126} + m_{120}x^{125} + m_{119}x^{124} + \dots + r_4x^4 + r_3x^3 + r_2x^2 + r_1x + r_0$$

Una palabra de código válida tendrá raíces en las potencias de α primera a quinta.

Se genera un símbolo de paridad ampliado (c_-) evaluando la palabra de código a la sexta potencia de α .

$$c_- = c(\alpha^6)$$

Este símbolo ampliado se utiliza para formar el último símbolo de un bloque Reed-Solomon transmitido. La palabra de código ampliada aparece entonces de la manera siguiente:

$$\begin{aligned} \hat{c} &= xc(x) + c_- \\ &= m_{121}x^{127} + m_{120}x^{126} + \dots + m_1x^7 + m_0x^6 + r_4x^5 + r_3x^4 + r_2x^3 + r_1x^2 + r_0x + c_- \end{aligned}$$

La estructura de un bloque Reed-Solomon que ilustra el orden de salida de los símbolos transmitidos desde el codificador RS es la siguiente:

$$m_{121}m_{120}m_{119}\dots m_1m_0r_4r_3r_2r_1r_0c_- \text{ (el orden de envío es de izquierda a derecha)}$$

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. Se emplea un intercalador convolucional tanto en 64 QAM como en 256 QAM.

La intercalación convolucional se ilustra en la Figura B.8. Al principio de una trama FEC definida en una subcláusula posterior, la posición del conmutador de intercalación se inicializa en el ramal superior y se incrementa la frecuencia de símbolos RS, con una sola salida de símbolos desde cada posición. Con un intercalador convolucional, los símbolos del código RS se desplazan secuencialmente al banco de I registros (la amplitud de cada registro es 7 bits, lo que concuerda con el tamaño del símbolo RS). Cada registro sucesivo tiene J símbolos más que el registro precedente. El primer trayecto intercalador tiene un retardo nulo, el segundo tiene un periodo de retardo de J símbolos, el tercero $2*J$ símbolos, y así sucesivamente hasta el I-ésimo trayecto que tiene periodos de retardo de $(I - 1)*J$ símbolos. 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, que son diseminados en muchos bloques RS por el desintercalador, de modo que los errores de símbolos resultantes por bloque estén dentro de la gama de la capacidad de corrección del decodificador RS.

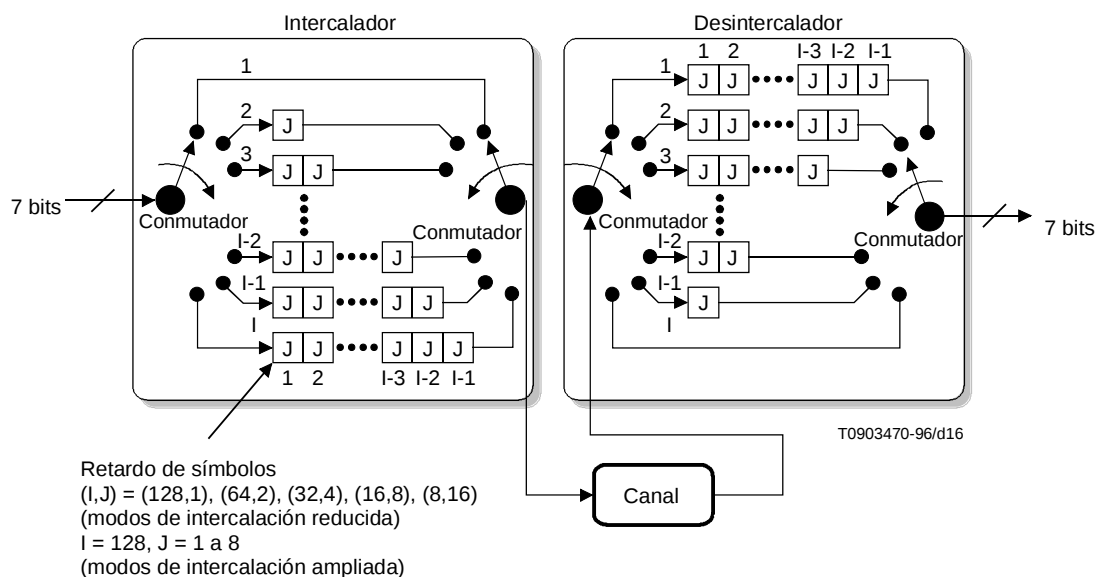


Figura B.8/J.83 – Diagrama funcional de bloques de intercalación

Con respecto a la capacidad de intercalación, se especifican dos modos distintos de funcionamiento, denominados en lo sucesivo *nivel 1* y *nivel 2*.

El *nivel 1* se especifica para la transmisión de 64 QAM solamente. Este modo sólo acomoda la base de herencia instalada de conjuntos digitales de 64 QAM. Cuando se funciona en el nivel 1, se admitirá una sola profundidad de intercalación, a saber, $I = 128, J = 1$.

El *nivel 2* abarcará la transmisión de 64 QAM y de 256 QAM, y para ambos esquemas de modulación será capaz de admitir intercalación variable. Esto incluirá profundidades de intercalación ampliadas y reducidas con respecto a la configuración de 64 QAM (nivel 1) nominal. Se transmiten 4 bits de datos en banda durante el intervalo de sincronismo de trama FEC para transportar los parámetros de intercalación al receptor para un canal dado.

El Cuadro B.1 describe los parámetros del intercalador para el funcionamiento en nivel 1, con latencia y protección contra ráfagas asociadas. El Cuadro B.2 describe la decodificación de la palabra de control en banda de 4 bits en los parámetros de intercalación I y J para el funcionamiento en nivel 2, también con protección contra ráfagas y latencia asociadas.

Cuadro B.1 – Intercalación de nivel 1

Palabra de control (4 bits)	I (número de derivaciones)	J (incremento)	Protección contra ráfagas	Latencia
xxxx	128	1	95 μ s	4,0 ms

Cuadro B.2 – Intercalación de nivel 2

Palabra de control (4 bits)	I (número de derivaciones)	J (incremento)	Protección contra ráfagas 64 QAM/ 256 QAM	Latencia 64 QAM/ 256 QAM
0001	128	1	95 μ s /66 μ s	4,0 ms/2,8 ms
0011	64	2	47 μ s /33 μ s	2,0 ms/1,4 ms
0101	32	4	24 μ s /16 μ s	0,98 ms/0,68 ms
0111	16	8	12 μ s /8,2 μ s	0,48 ms/0,33 ms
1001	8	16	5,9 μ s /4,1 μ s	0,22 ms/0,15 ms
1011	Reservado			
1101	Reservado			
1111	Reservado			
0000	128	1	95 μ s /66 μ s	4,0 ms/2,8 ms
0010	128	2	190 μ s /132 μ s	8,0 ms/5,6 ms
0100	128	3	285 μ s /198 μ s	12 ms/8,4 ms
0110	128	4	379 μ s /264 μ s	16 ms/11 ms
1000	128	5	474 μ s /330 μ s	20 ms/14 ms
1010	128	6	569 μ s /396 μ s	24 ms/17 ms
1100	128	7	664 μ s /462 μ s	28 ms/19 ms
1110	128	8	759 μ s /528 μ s	32 ms/22 ms

B.5.3 Secuencia de sincronización de trama

El registro de cola de secuencia de sincronización de trama delimita la trama FEC, proporcionando codificación RS, intercalación y aleatorización sincronizadas. Además, los grupos reticulares para 256 QAM sólo están alineados con la trama FEC. La alineación de trama FEC no realiza la sincronización del paquete MPEG o del decodificador reticular. Las estructuras de bloque RS y de símbolos de 7 bits están alineadas con el fin de la trama para 64 QAM y para 256 QAM.

Para 64 QAM, una trama FEC consiste en un registro de cola de sincronismo de 42 bits que se agrega al final de 60 bloques RS. y cada uno de estos bloques contiene 128 símbolos. Cada símbolo RS se compone de 7 bits. De este modo, hay un total de 53 760 bits de datos y 42 bits de registro de cola de sincronismo de trama en esta trama FEC. Los 4 primeros símbolos de 7 bits del registro de cola del sincronismo de trama contienen el patrón de sincronización "único" de 28 bits (1110101 0101100 0001101 1101100) o (75 2C 0D 6C)_{HEX}. Los dos símbolos restantes (14 bits) se utilizan como sigue: los primeros 4 bits para el control de modo del intercalador y 10 bits se reservan y se ponen a cero.

El registro de cola de sincronismo de trama es insertado por el codificador y detectado en el decodificador. Los circuitos del decodificador buscan este esquema y cuando lo encuentran, determinan la localización de la frontera de trama y el modo de profundidad del intercalador. La trama FEC para 64 QAM se muestra en la Figura B.9.

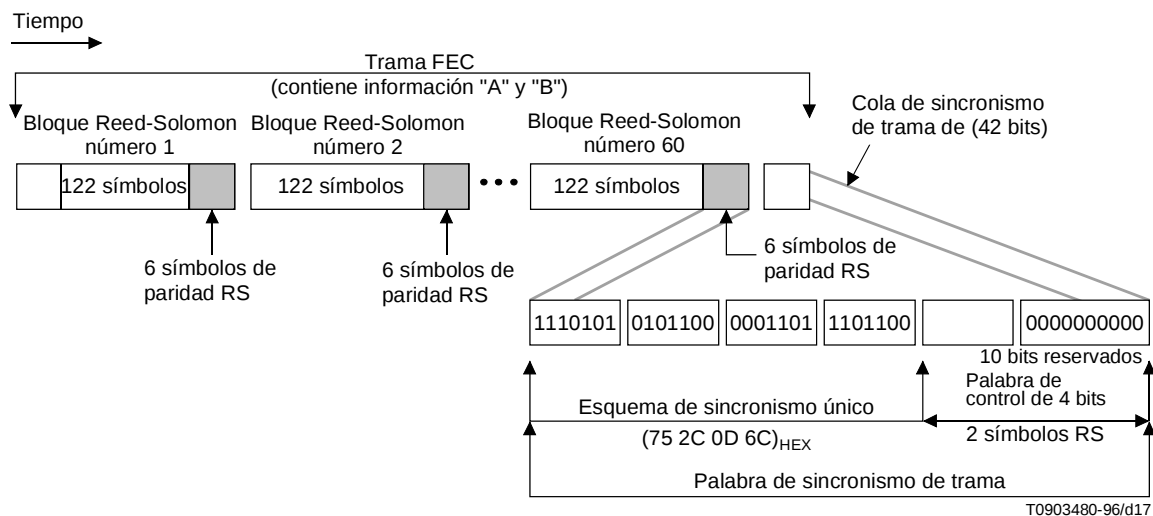


Figura B.9/J.83 – Formato de paquete de trama para 64 QAM

Para 256 QAM, la trama FEC se compone de un registro de cola de sincronismo de 40 bits que se agrega al final de 88 bloques RS, cada uno de cuyos bloques contiene 128 símbolos. Cada símbolo RS consiste en 7 bits. De este modo, hay un total de 78 848 bits de datos y 40 bits de cola de sincronismo de trama. La cola de sincronismo de trama de 40 bits se divide como sigue: 32 bits son el esquema de sincronización "único" (0111 0001 1110 1000 0100 1101 1101 0100) o (71 E8 4D D4)₁₆, 4 bits constituyen una palabra de control que determina el tamaño del intercalador empleado y 4 bits forman una palabra reservada que se pone a cero. La trama FEC para 256 QAM se muestra en la Figura B.10.

Obsérvese que no hay relación de sincronización entre el bloque RS transmitido y los paquetes de datos de transporte. Así pues, la sincronización de paquetes del tren de transporte MPEG-2 se obtiene independientemente de la sincronización de tramas RS, lo que mantiene las capas FEC y de transporte desligadas e independientes.

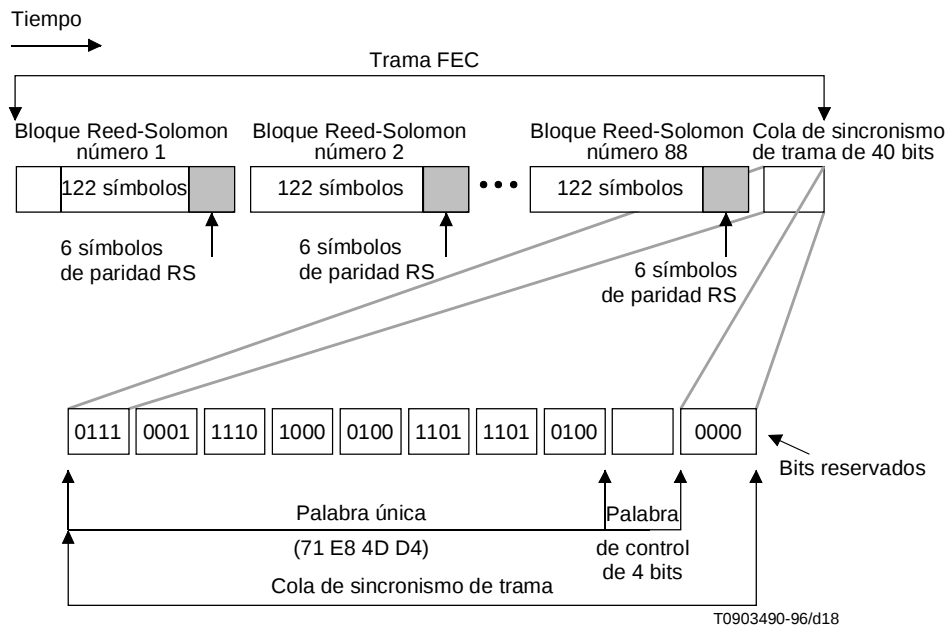


Figura B.10/J.83 – Formato de paquete de trama para 256 QAM

B.5.4 Aleatorización

El aleatorizador mostrado en la Figura B.11 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, lo que permite al demodulador mantener un bloqueo adecuado. El aleatorizador añade una secuencia de ruido pseudoaleatorio (PN) de símbolos de 7 bits sobre GF(128) (es decir, un OR exclusivo relativo a los bits) a los símbolos comprendidos en la trama FEC para asegurar que la secuencia transmitida es aleatoria.

Tanto en 64 QAM como en 256 QAM el aleatorizador es inicializado durante el registro cola de la trama FEC, y es activado en el primer símbolo que sigue a dicha cola. De este modo, la cola en sí no es aleatorizada, y el valor de salida inicializado aleatoriza el primer símbolo de datos.

La inicialización se define como una carga previa del estado "todos unos" de la estructura de aleatorización mostrada en la Figura B.11. El aleatorizador utiliza un registro de desplazamiento con realimentación lineal especificado por un polinomio GF(128) definido como sigue:

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

donde:

$$\alpha^7 + \alpha^3 + 1 = 0$$

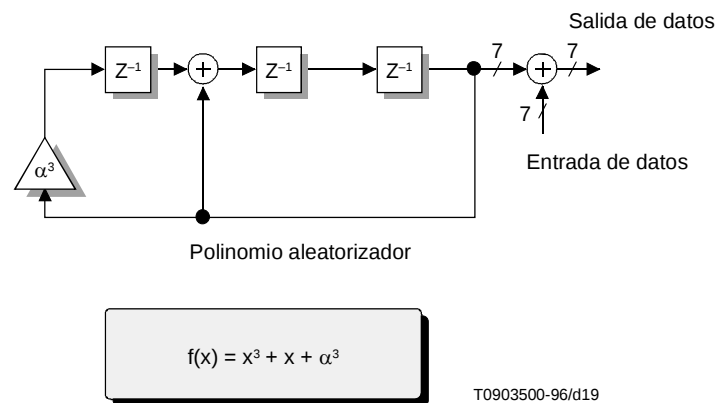


Figura B.11/J.83 – Aleatorizador (de símbolos de 7 bits)

B.5.5 Modulación con codificación reticular

Como parte del esquema de codificación concatenada, se emplea codificación reticular para el código interno. Esto permite la introducción de redundancia para mejorar la relación de umbral señal-ruido (SNR), incrementando la constelación de símbolos sin aumentar la velocidad de símbolos. Por tanto, se denomina más correctamente "modulación con codificación reticular".

B.5.5.1 Modo de modulación 64 QAM

En 64 QAM, la entrada al modulador con codificación reticular es una secuencia de 28 bits compuesta por cuatro símbolos RS de 7 bits que se desglosan en pares de símbolos "A" y "B". En la Figura B.12 se muestra un diagrama de bloques del modulador con codificación reticular de 64 QAM. Los 28 bits están en su totalidad asignados a un grupo reticular, formando cada grupo reticular cinco símbolos QAM, como se muestra en la Figura B.13.

De los 28 bits de entrada que forman un grupo reticular, cada uno de los dos grupos de 4 bits de los trenes binarios precodificados diferencialmente de dicho grupo reticular se codifican separadamente por un codificador convolucional binario (BCC). Cada BCC produce 5 bits codificados, como se indica en la Figura B.12. Los bits restantes se envían al correspondedor sin codificar. Esto producirá una salida total de 30 bits. De este modo, la modulación con codificación reticular 64 QAM produce una velocidad de código total de 14/15.

El grupo reticular está formado por símbolos RS de la siguiente manera: para los símbolos "A" los símbolos RS se leen del MSB al LSB, $A_{10}, A_8, A_7, A_5, A_4, A_2, A_1$ y $A_9, A_6, A_3, A_0, A_{13}, A_{12}, A_{11}$. Los cuatro MSB del segundo símbolo se introducen al BCC, de uno en uno, empezando por el LSB. Los bits restantes del segundo símbolo y todos los bits del primer símbolo se introducen al correspondedor, sin codificar, empezando por el LSB y de uno en uno. Los cuatro bits enviados al BCC producirán 5 bits codificados con las etiquetas U_1, U_2, U_3, U_4, U_5 . Se realiza el mismo proceso para los bits "B". El proceso se expone en la Figura B.12. Con 64 QAM, cuatro símbolos RS encajan adecuadamente en un grupo reticular, y en este caso la palabra de sincronismo puede ocupar cada posición de bit dentro de un grupo reticular.

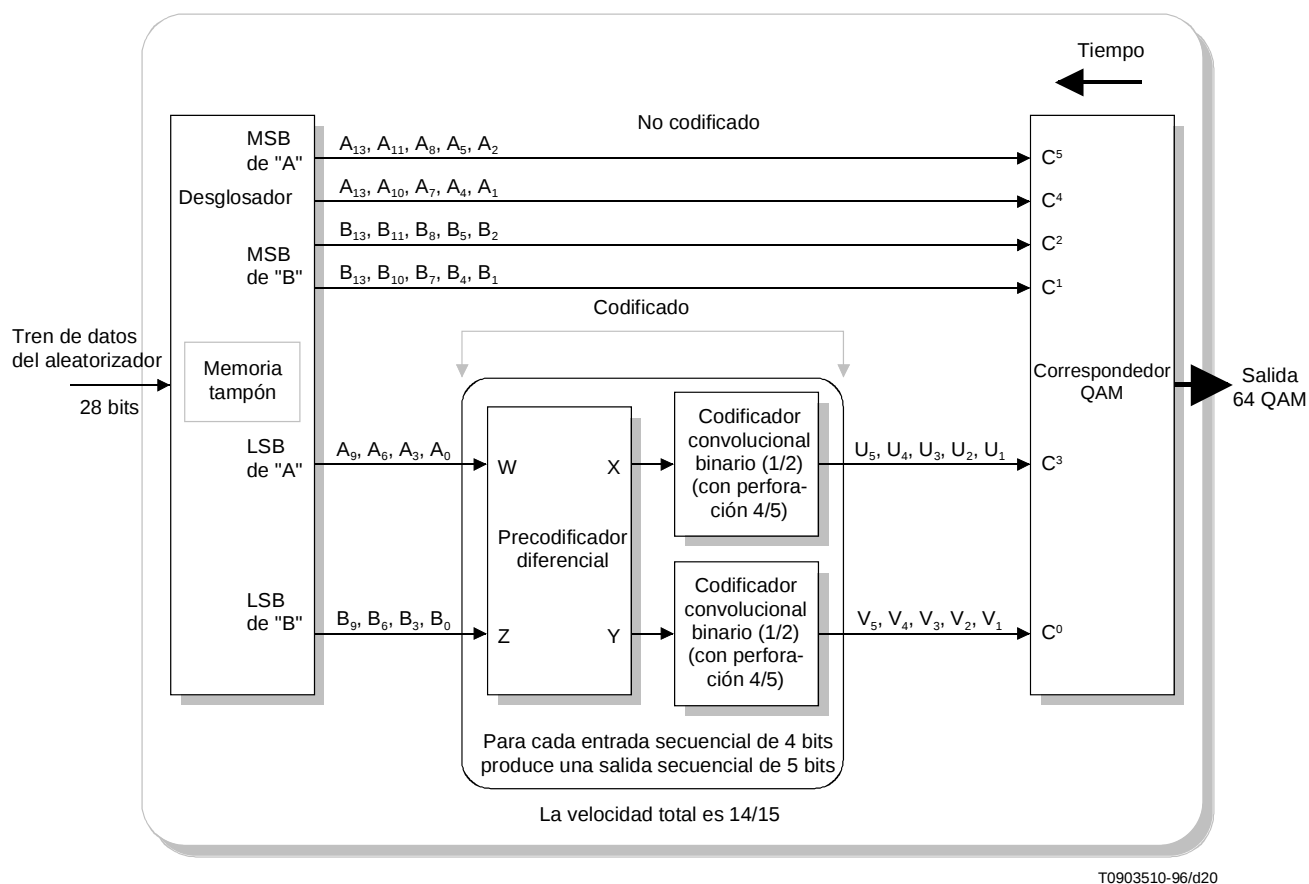


Figura B.12/J.83 – Diagrama de bloques del modulador de codificación reticular 64 QAM

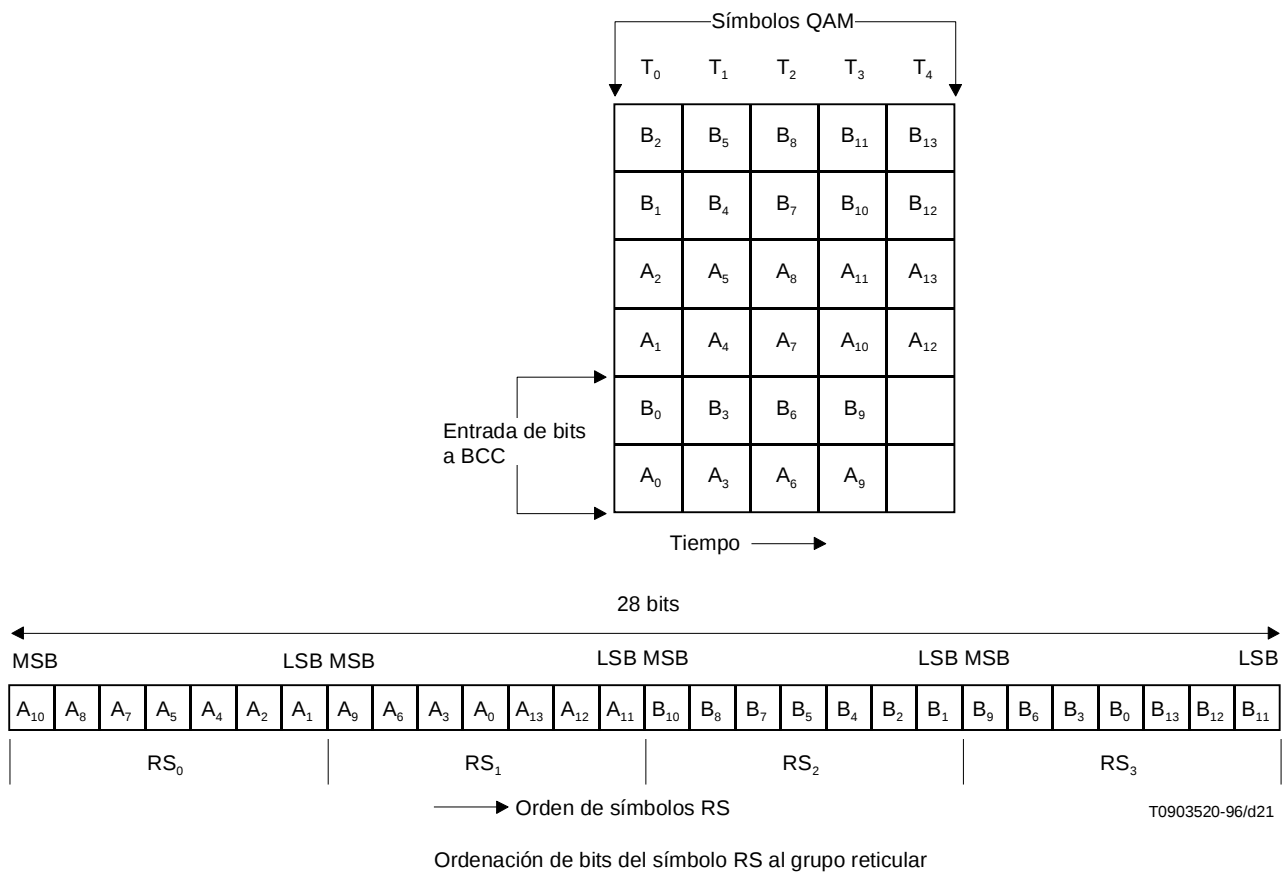


Figura B.13/J.83 – Grupo reticular 64 QAM

B.5.5.2 Modo de modulación 256 QAM

Para 256 QAM, se emplea una codificación reticular análoga, que utiliza el mismo BCC que 64 QAM, con el mismo generador de velocidad 1/2 y la misma matriz 4/5 con perforación. En la Figura B.14 se muestra el modulador con codificación reticular. En este caso, toda la información de sincronismo de trama FEC se incrusta solamente en las posiciones de bits de codificación convolucional de un grupo reticular, como se muestra en la Figura B.15.

Hay dos tipos distintos de grupos reticulares en 256 QAM, que en adelante se denominarán grupo *no sincronizado* y grupo *sincronizado*. Cada grupo reticular genera 5 símbolos QAM en el modulador, el grupo no sincronizado contiene 38 bits de datos, mientras que el grupo sincronizado contiene 30 bits de datos y 8 bits de sincronismo. La Figura B.15 muestra los grupos reticulares no sincronizados y sincronizados. Dado que hay 88 bloques RS más 40 bits de sincronismo de trama por cada trama FEC, habrá un total de 2 076 grupos reticulares por trama. De estos grupos reticulares, 2 071 son no sincronizados y 5 son sincronizados. Los 5 grupos reticulares sincronizados vienen al final de la trama. El registro de cola de sincronismo de trama se ajusta a los grupos reticulares. En el codificador, el grupo reticular se divide además en dos grupos: un tren de bits no codificados y un tren de bits codificados. El MSB del primer símbolo RS de la trama FEC se asigna al primer bit del grupo reticular no sincronizado, como se muestra en la ordenación de la Figura B.15. La salida de cada BCC consiste en los 5 bits de paridad denominados U₁ a U₅ y V₁ a V₅, respectivamente, como se muestra en la Figura B.14.

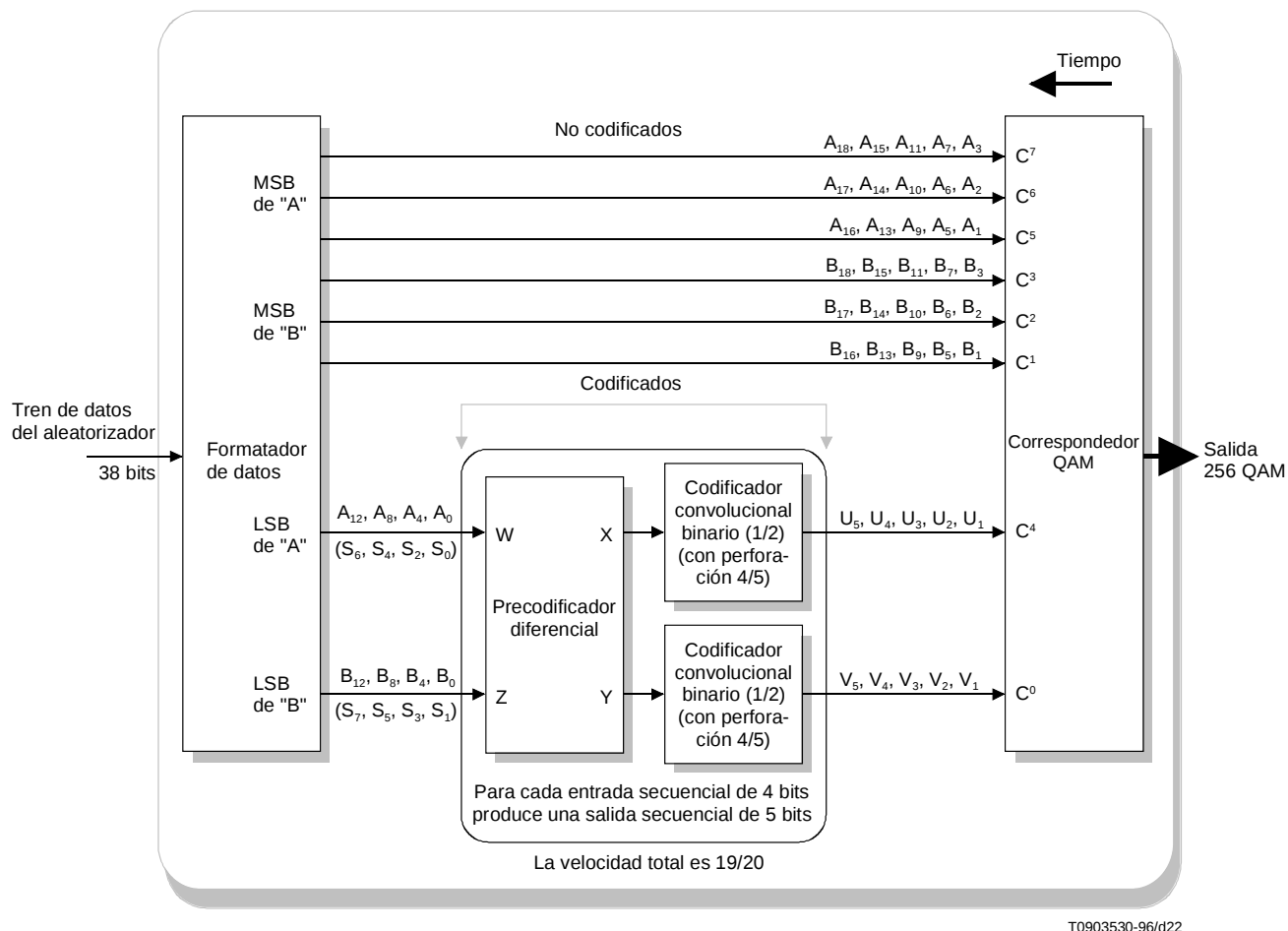


Figura B.14/J.83 – Diagrama de bloques del modulador con codificación reticular 256 QAM

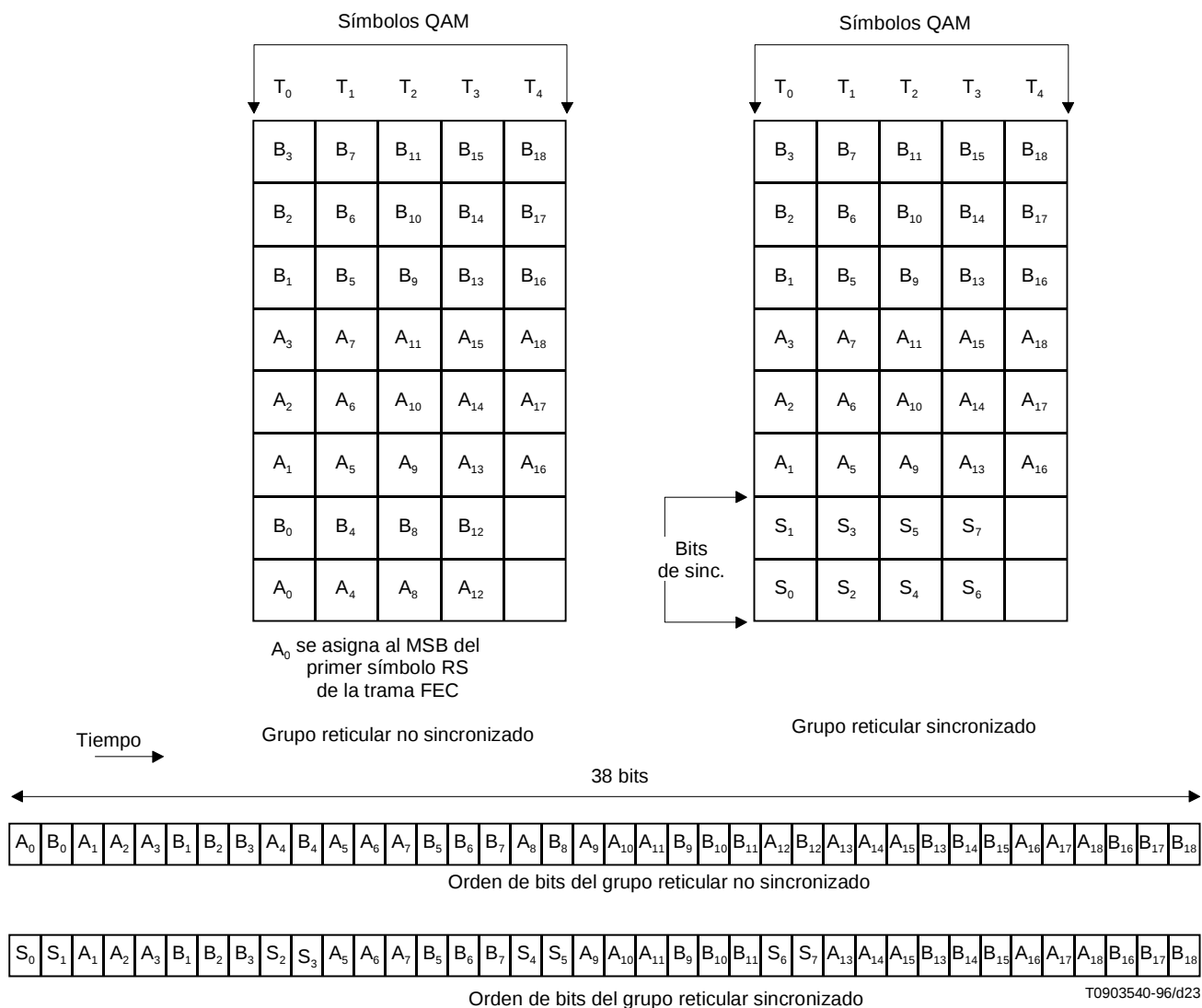


Figura B.15/J.83 – Grupos reticulares sincronizados y no sincronizados de 256 QAM

Para formar grupos reticulares a partir de las palabras de código RS, se ponen en serie dichas palabras de código empezando por el MSB del primer símbolo de la primera palabra de código RS que sigue al registro de cola de sincronismo de trama. Los bits se colocan en posiciones del grupo reticular a partir de los símbolos RS en el orden: $A_0 B_0 A_1 \dots B_3 A_4 B_4 \dots B_{16} B_{17} B_{18}$ como se muestra en la Figura B.15. Para los grupos reticulares, los bits se colocan a partir de los símbolos RS en serie comenzando en la posición A_1 en vez de A_0 . Los últimos cinco grupos reticulares en la trama FEC cada uno de ellos contiene 8 de los 40 bits de sincronismo, $S_0 S_1 \dots S_7$ en el registro de cola de sincronismo de trama mostrado en la Figura B.10.

De los 38 bits de entrada que constituyen un grupo reticular, cada uno de los dos grupos de 4 bits de los trenes binarios precodificados diferencialmente en dicho grupo reticular, son codificados separadamente por un codificador convolucional binario (BCC). Cada BCC produce 5 bits codificados como se muestra en la Figura B.14. Los bits restantes se envían al correspondedor sin codificar. Esto produce una salida total de 40 bits por grupo reticular. De este modo, la velocidad de código total para la modulación de codificación reticular 256 QAM será de 19/20.

B.5.5.3 Precodificación rotacionalmente invariante

El precodificador diferencial presentado en la Figura B.16 efectúa la codificación reticular invariante en rotación de 90°. Se emplea codificación rotacionalmente invariante en ambas modulaciones de 64 y 256 QAM. La clave para que los diseños de módem sean resistentes es que tengan una recuperación muy rápida de los deslizamientos de fase de la portadora. La codificación que no es rotacionalmente invariante requiere resincronización de FEC cuando el seguimiento de fase de la portadora cambia la alineación del cuadrante, lo que produce 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. Para 64 QAM, los bits tercero y sexto de los símbolos de 6 bits se codifican diferencialmente, y para 256 QAM, los bits cuarto y octavo se codifican diferencialmente. Si enmascaramos los bits tercero y sexto en 64 QAM como se ilustra en la Figura B.18 (etiquetados C^3 y C^0) y los bits cuarto y octavo en 256 QAM como se muestra en la Figura B.19 (etiquetados C^4 y C^0), la invarianza rotacional de 90° de los bits restantes es inherente al etiquetado de la constelación de símbolos.

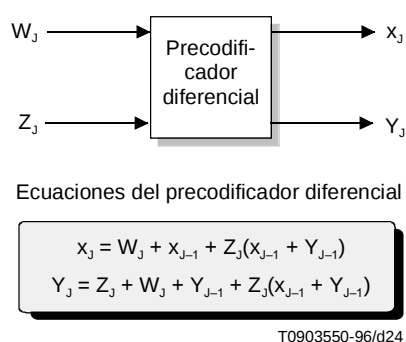
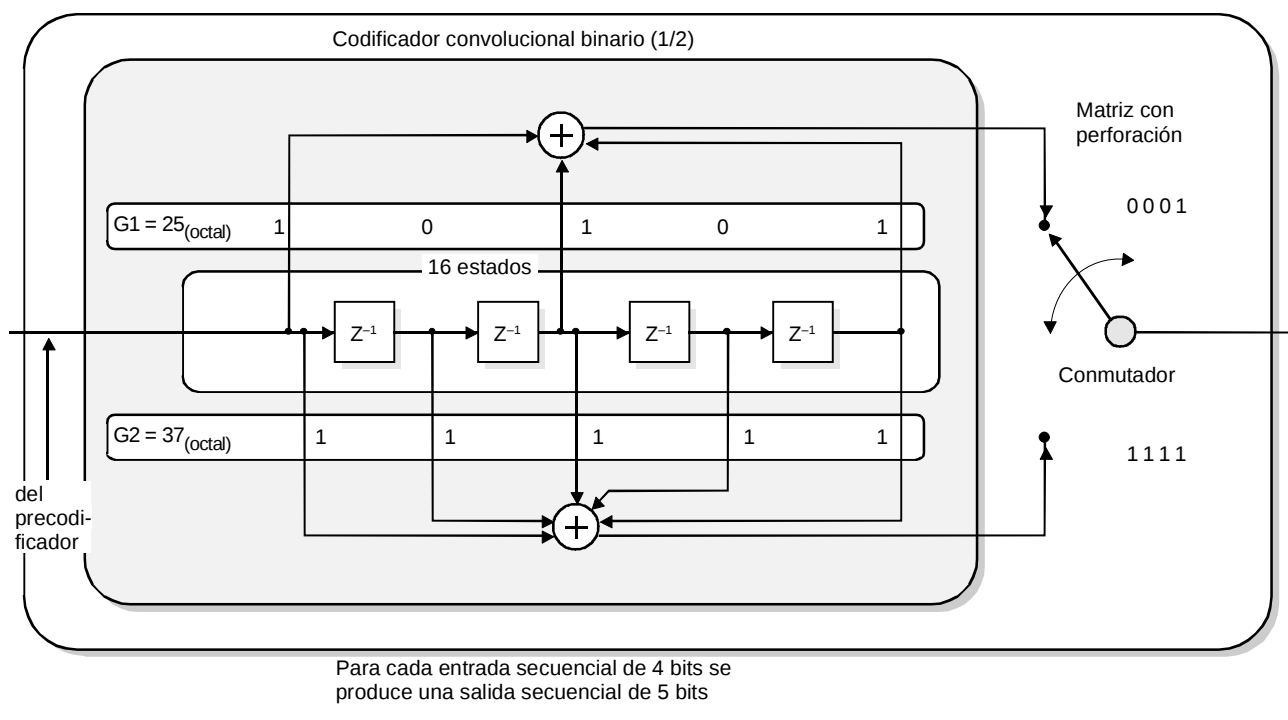


Figura B.16/J.83 – Precodificador diferencial

B.5.5.4 Codificador convolucional binario

El modulador con codificación reticular incluye un codificador convolucional binario de velocidad 1/2 con perforación que se utiliza para introducir la redundancia en los LSB del grupo reticular. 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_{octal}), o lo que es equivalente, la matriz generatriz $[1 \oplus D^2 \oplus D^4, 1 \oplus D \oplus D^2 \oplus D^3 \oplus D^4]$. En el principio de un grupo reticular, el conmutador BCC está inicialmente en la posición G1. Para cada bit de entrada presentado a la línea con retardo derivada, se producen subsiguientemente dos bits ($G1$, seguido por $G2$) en la salida de acuerdo con el conjunto de coeficientes del generador asociado. Para cada grupo reticular, 4 bits de entrada producen 8 bits codificados convolucionalmente. La salida temporal del codificador se selecciona de acuerdo con una matriz con perforación: $[P1, P2] = [0001; 1111]$ ("0" denota NO transmisión, "1" denota transmisión), lo que produce un solo tren de bits en serie. La matriz con perforación convierte esencialmente el codificador de velocidad 1/2 a velocidad 4/5, dado que solamente 5 de los 8 bits codificados se retienen después de la perforación. La estructura interna del codificador con perforación se ilustra en la Figura B.17.



Estructura del codificador convolucional binario:

- 1) 16 estados.
- 2) codificador convolucional binario 1/2.
- 3) código generador: G1 = [010101], G2 = [011111] (25,37_{octal})
o matriz generatriz de $[1(+)D^2(+)D^4, 1(+)D(+)D^2(+)D^3(+)D^4]$
donde D igual a Z^{-1} .
- 4) matriz con perforación [P1;P2] = [0001;1111].

T0903560-96/d25

Al correspondedor 64 QAM

NOTA 1 – 0 indica NO transmisión.
1 indica transmisión.

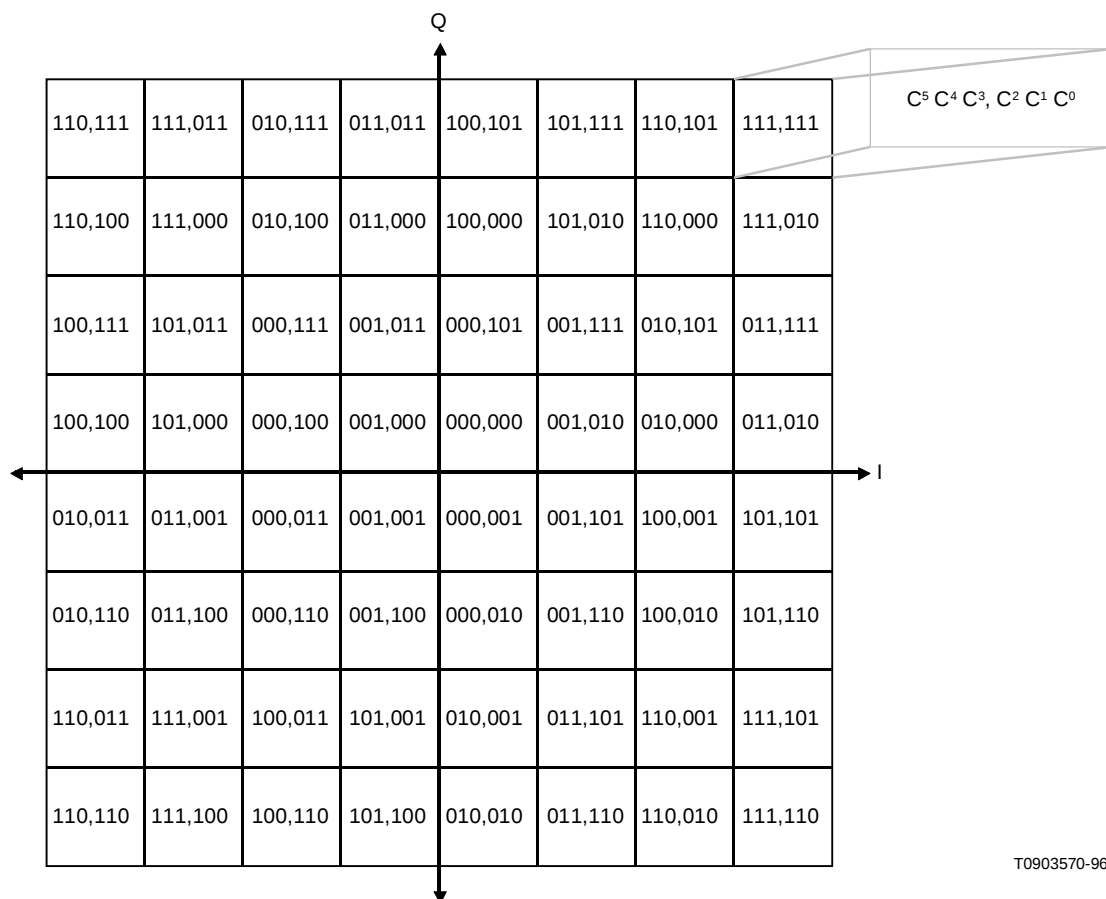
NOTA 2 – (+) indica operación XOR.

Figura B.17/J.83 – Codificador convolucional binario con perforación

B.5.5.5 Correspondencia de la constelación QAM

En 64 QAM, el correspondedor QAM recibe los datos "A" y "B" de 3 bits, codificados y no codificados. Utiliza estos bits para dirigirse a una tabla de consulta que produce el símbolo de constelación de 6 bits. Este símbolo de constelación de 6 bits se envía luego al modulador 64 QAM en el que se genera la constelación de señales ilustradas en la Figura B.18.

En 256 QAM, el correspondedor QAM recibe los datos "A" y "B" de 4 bits, codificados y no codificados. Utiliza estos bits para dirigirse a una tabla de consulta que produce el símbolo de constelación de 8 bits. Dicho símbolo de constelación de 8 bits se envía luego al módem 256 QAM en el que se genera la constelación de señales ilustrada en la Figura B.19.



T0903570-96/d26

Figura B.18/J.83 – Constelación 64 QAM

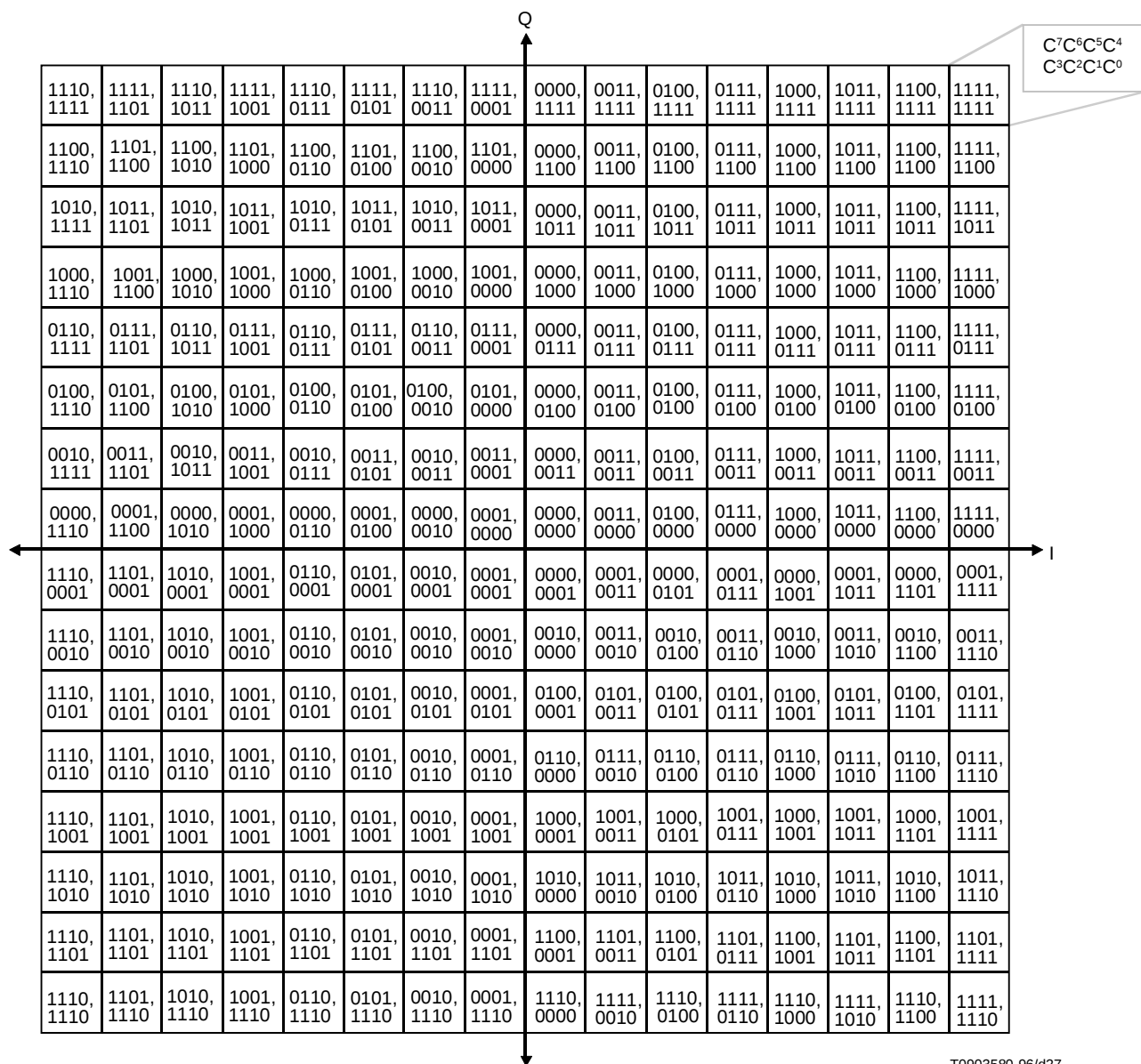


Figura B.19/J.83 – Constelación 256 QAM

B.6 Modulación y demodulación

B.6.1 Características QAM

El formato de transmisión por cable se resume en el Cuadro B.3 para 64 QAM y 256 QAM. El Cuadro 4 contiene un resumen de las características pertinentes de los modos de intercalación variable.

Cuadro B.3 – Formato de transmisión por cable

Parámetro	Formato 64 QAM	Formato 256 QAM
Modulación	64 QAM, codificación rotacionalmente invariante	256 QAM, codificación rotacionalmente invariante
Tamaño de símbolo	3 bits para la dimensión "I" y 3 bits para la dimensión "Q"	4 bits para la dimensión "I" y 4 bits para la dimensión "Q"
Banda de transmisión	54 a 860 MHz (nota)	54 a 860 MHz (nota)
Separación de canales	6 MHz (nota)	6 MHz (nota)
Velocidad de símbolos	5,056941 Msps $\pm$ 5 ppm (nota)	5,360537 Msps $\pm$ 5 ppm (nota)
Velocidad binaria de información	26,97035 Mbps $\pm$ 5 ppm (nota)	38,81070 Mbps $\pm$ 5 ppm (nota)
Respuesta de frecuencia	Filtro de raíz cuadrada de coseno alzado (régimen de caída $\approx$ 0,18)	Filtro de raíz cuadrada de coseno alzado (régimen de caída $\approx$ 0,12)
Alineación de trama FEC	Registro de cola de sincronismo de 42 bits que sigue a 60 bloques RS (véase B.5.3)	Registro de cola de sincronismo de 40 bits que sigue a 88 bloques RS (véase B.5.3)
Correspondencia de constelaciones QAM	6 bits por símbolo (véase B.5.5)	8 bits por símbolo (véase B.5.5)
NOTA – Estos valores son específicos de la separación de canales de 6 MHz. Se están estudiando conjuntos adicionales de valores para otras separaciones de canales.		

Cuadro B.4 – Modos de intercalación variable

	Nivel 1	Nivel 2
Formato QAM	64 QAM (véase el Cuadro B.3)	64 ó 256 QAM (véase el Cuadro B.3)
Intercalación	Intercalación fija (véase B.5.2) I = 128 J = 1	Intercalación variable (véase B.5.2) I = 128,64,32,16,8 J = 1,2,3,4,5,6,7,8,16

B.6.2 Salida RF del modulador QAM

La señal RF con modulación QAM, $s(t)$, viene dada por:

$$s(t) = I(t) \times \cos(2\pi ft) + Q(t) \times \sin(2\pi ft)$$

donde t indica el tiempo, f la frecuencia de portadora RF, $I(t)$ y $Q(t)$ son las componentes de cuadratura de banda de base filtradas utilizando el método de Root-Nyquist, respectivamente, de los símbolos de la constelación.

Anexo C

Sistema digital multiprograma C

(Este anexo forma parte integrante de la presente 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. Los esquemas de modulación son 64 QAM y 256 QAM, y la velocidad de símbolos QAM y el factor de caída se optimizan para un plan de canales de 6 MHz.

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.

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 Sync 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).

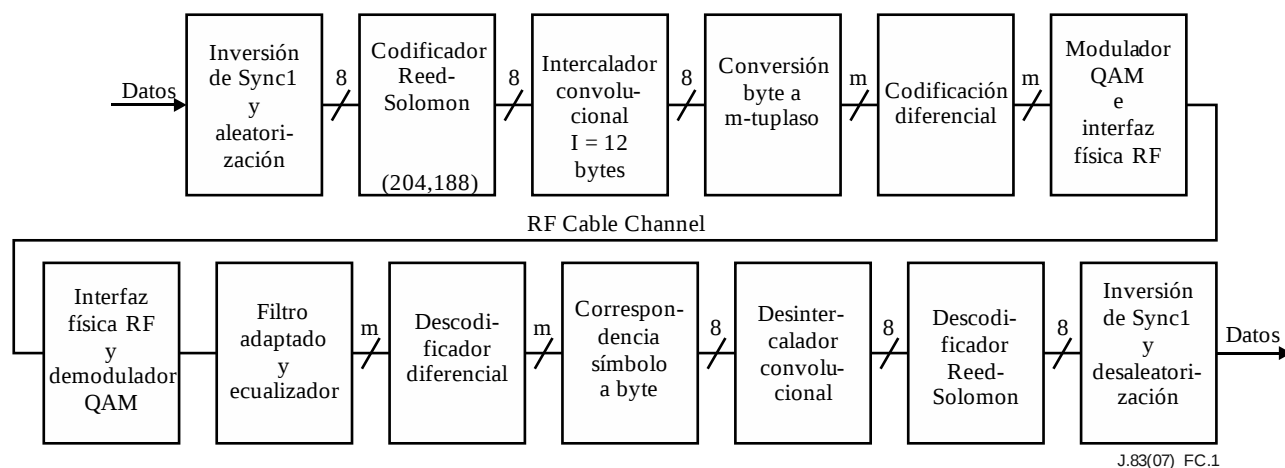


Figura C.1 – Configuración del sistema

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.

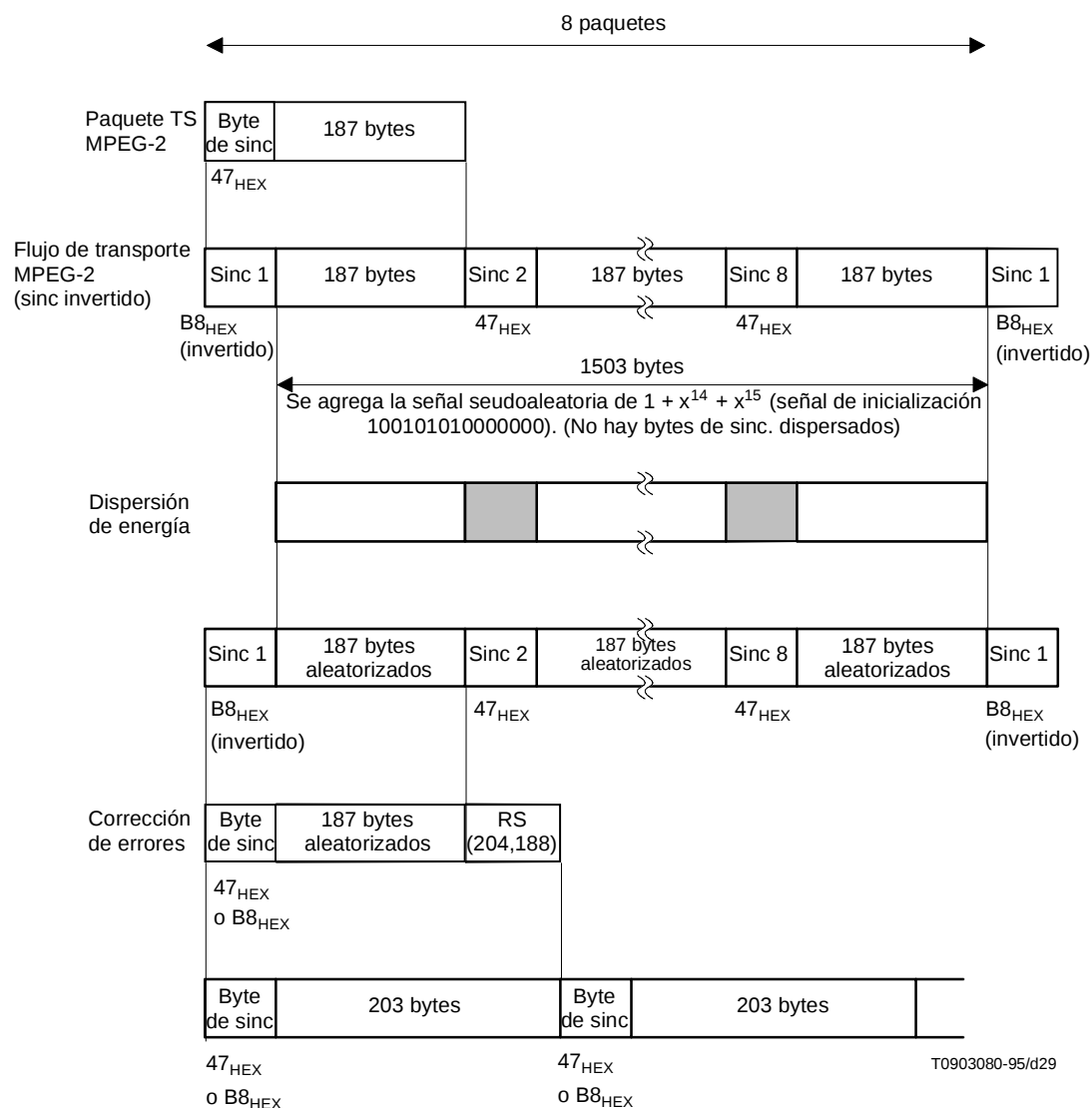
Además, cada receptor de cable tendrá un ecualizador para prevenir el aumento de errores de bit causado por la reflexión en el sistema de cable.

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.



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.

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 ocho 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 1 503 bytes.

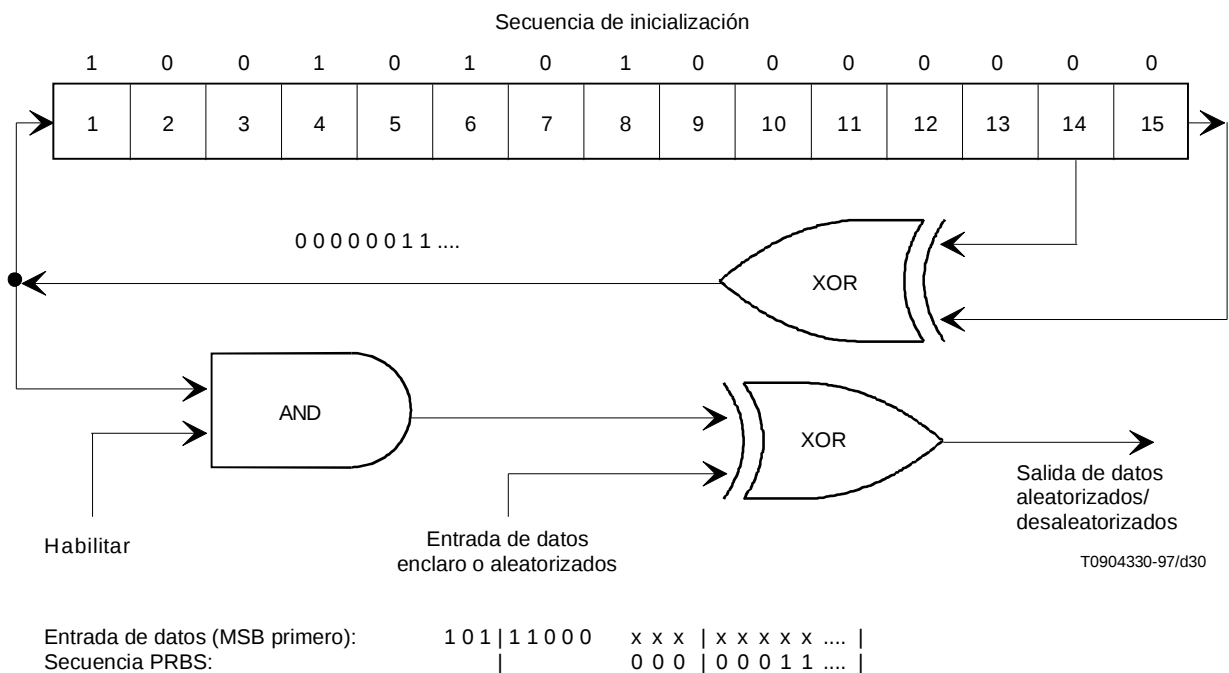


Figura C.3/J.83 – Diagrama esquemático del aleatorizador/desaleatorizador

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:

$$g(x) = (x + \lambda^0)(x + \lambda^1)(x + \lambda^2) \cdots (x + \lambda^{15})$$

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 $n = 4$) y para 256 QAM (donde $m = 8$, $k = 3$ y $n = 3$) 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:

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

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

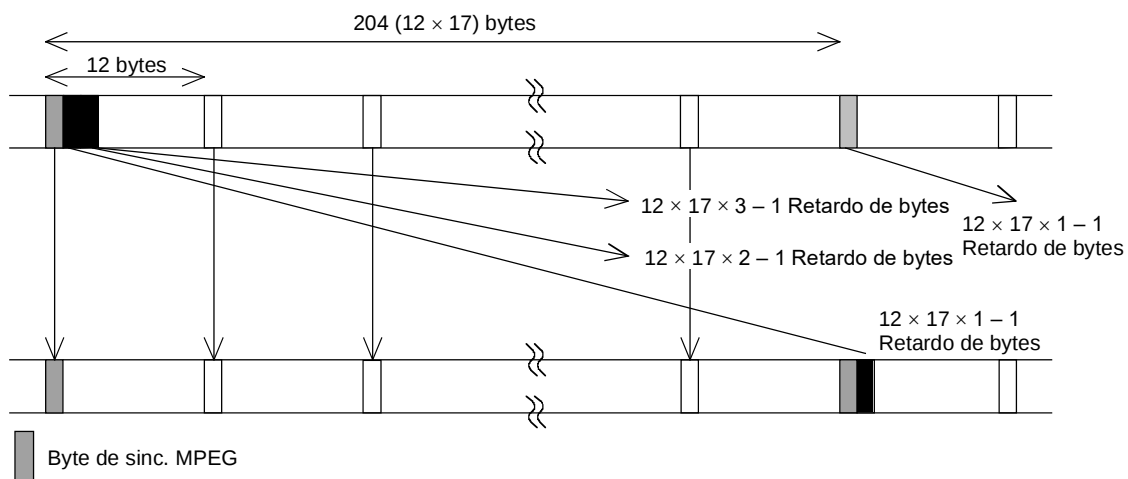
La Figura C.6 da un ejemplo de aplicación de la conversión de byte a símbolo para 64 QAM y 256 QAM.

C.6.3 Constelación 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.

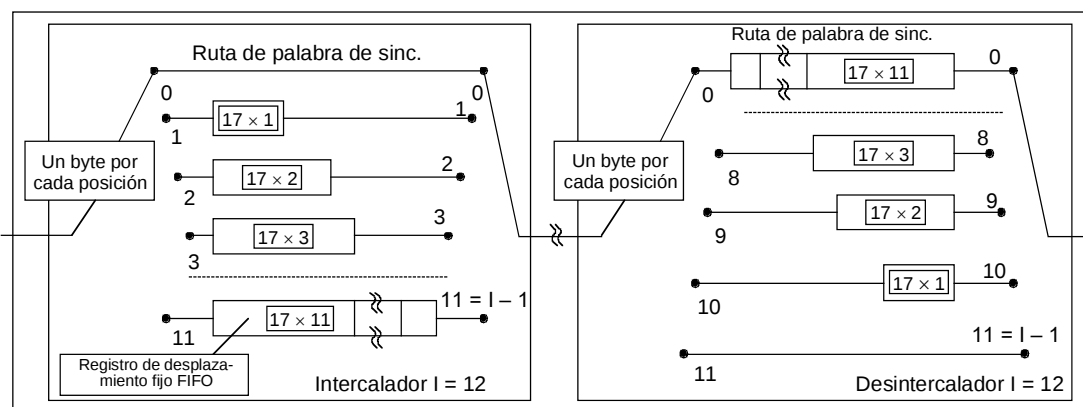
La modulación del sistema será modulación de amplitud en cuadratura (QAM) con 64 puntos (64 QAM) y 256 puntos (256 QAM) en el diagrama de constelación.

Los diagramas de constelación del sistema para 64 QAM y 256 QAM se ofrece en la Figura C.7.



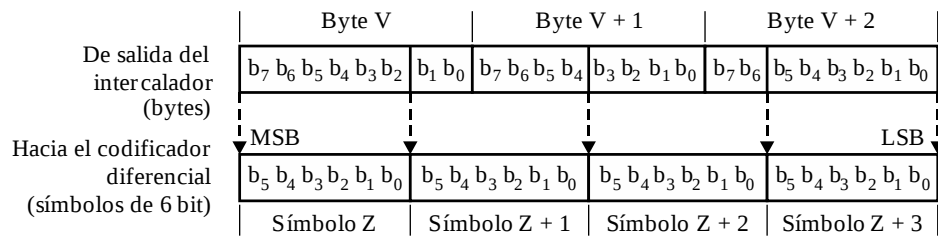
Profundidad de intercalación	$I (= 12)$
Sincronización	Encaminamiento SW (Ciclo I)
Capacidad de memoria necesaria	$1/2 \times I \times L$

$L (= 17 \times 11)$

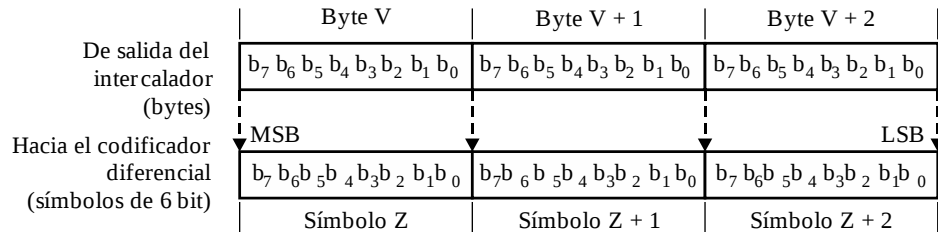


T0903100-95/d31

Figura C.4/J.83 – Configuración de la intercalación



Conversión de byte a m-tupla para 64-QAM

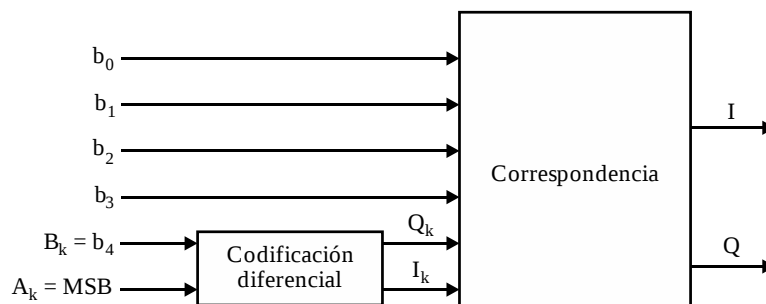


Conversión de byte a m-tupla para 256-QAM

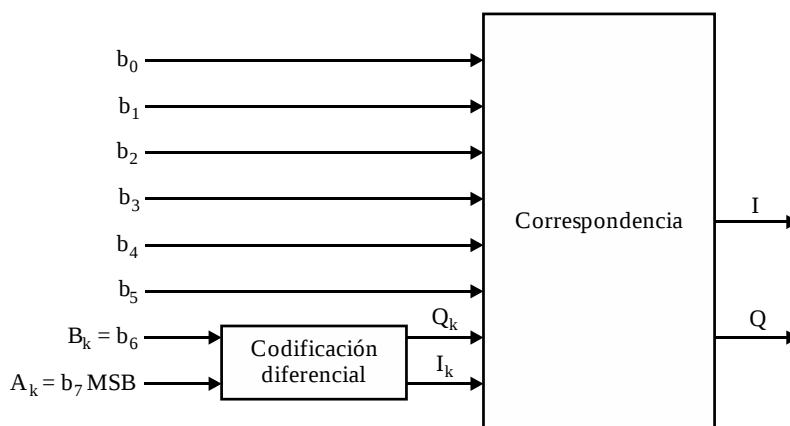
NOTA 1 – b_0 se entenderá como bit menos significativo (LSB) de cada byte o m-tupla.
 NOTA 2 – En esta conversión, cada byte resulta en más de una m-tupla, designada Z, Z+1, etc., y Z se transmite antes de Z+1.

J.83(07)_FC.5

Figura C.5/Conversión de byte a m-tupla para 64-QAM y 256-QAM



Conversión byte a símbolo 64-QAM



J.83(07)_FC.6

Conversión byte a símbolo 256-QAM

Figura C.6 – Ejemplo de aplicación de la conversión de byte a símbolo y de la codificación diferencial de los dos MSB

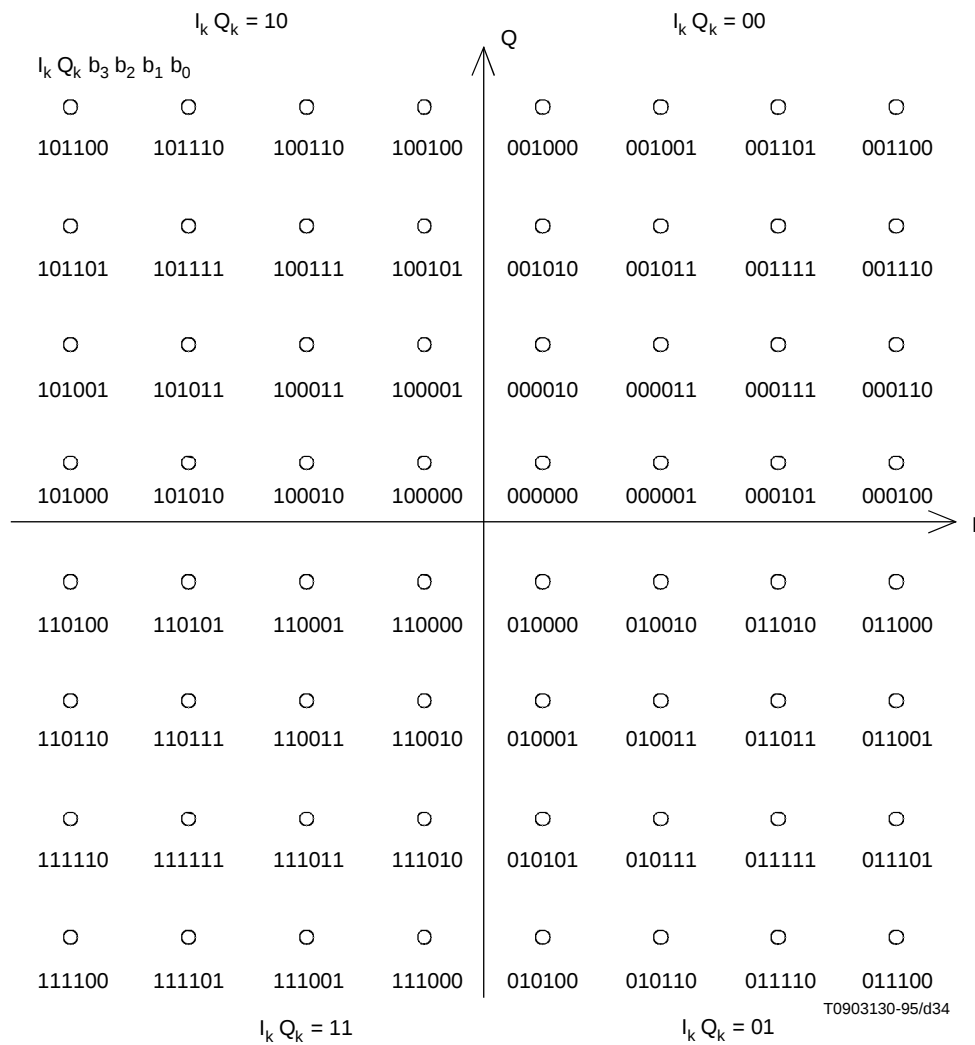
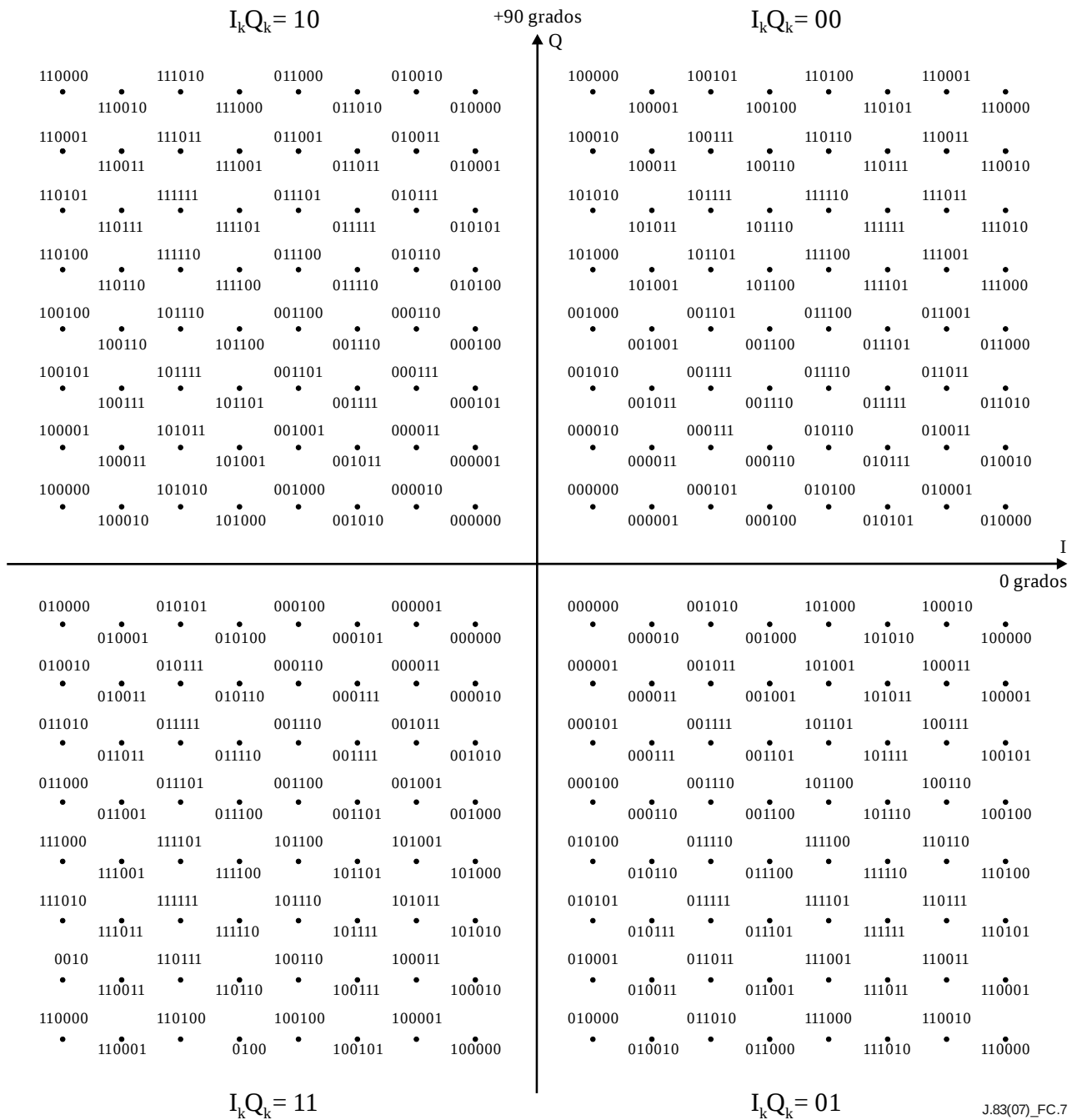


Figura C.7/J.83 – Parte 1: Diagrama de constelación para 64 QAM



J.83(07)_FC.7

Figura C.7 – Parte 2: Diagrama de constelación para 256 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:

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

$$H(f) = \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{2 f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right]^{1/2} \quad \text{para } f_N(1 - \alpha) \leq |f| \leq f_N(1 + \alpha), \quad H(f) = 0 \quad \text{para } |f| > f_N(1 + \alpha)$$

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 $\leq 1,0 T_s$ (ns) en la banda de paso hasta $(1 - \alpha)f_N$ y $\leq 2,0 T_s$ (ns) en f_N ,

donde:

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

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.

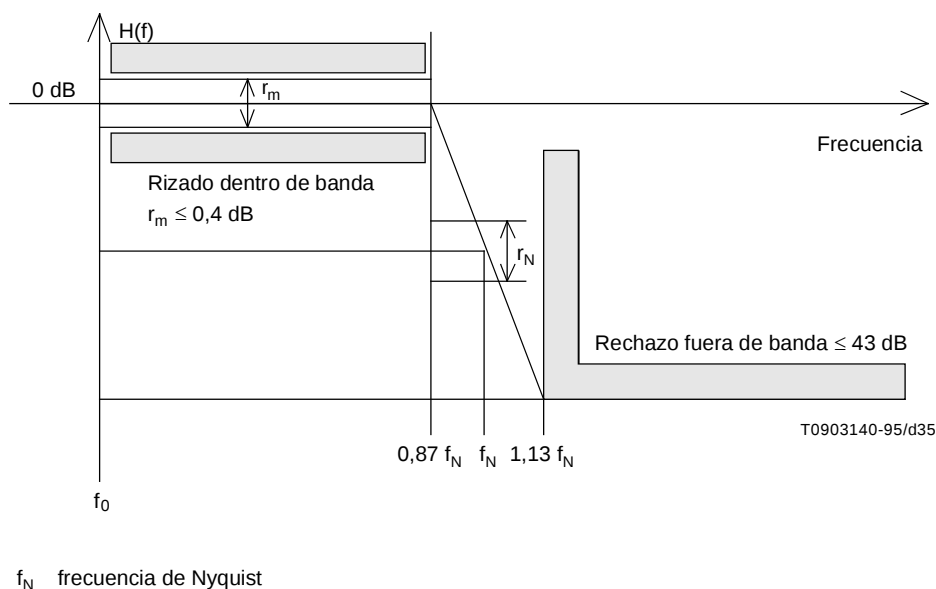


Figura C.8/J.83 – Característica de amplitud del filtro de banda base semi-Nyquist

Anexo D

Sistema digital multiprograma D

(Este anexo forma parte integrante de la presente Recomendación.)

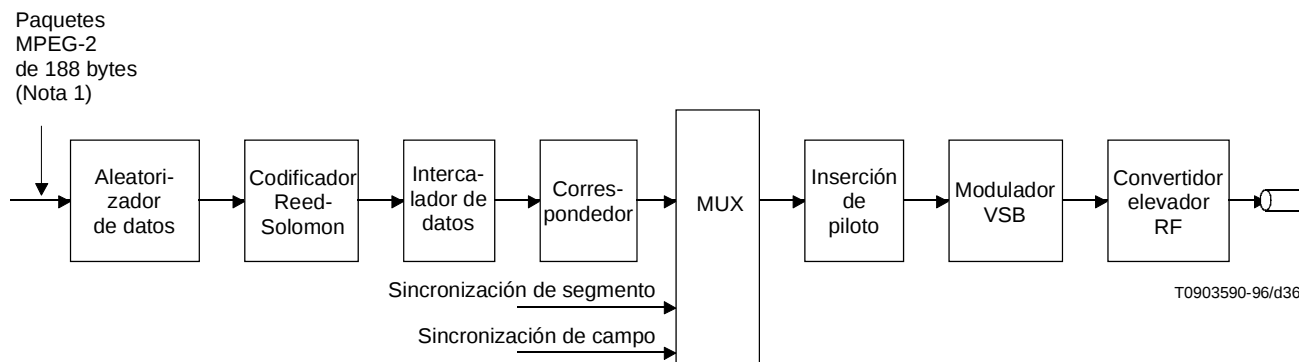
D.1 Introducción

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 Mbit/s en un canal de 6 MHz¹. 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 Mbit/s compuesto por paquetes de datos compatibles MPEG de 188 bytes, véase la referencia [2] (incluido un byte de sincronización de 187 bytes de datos).

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.



NOTA 1 – Proporcionados por retransmisiones terrenales, por satélite o de origen local.

NOTA 2 – Incluye cable privado [hoteles, edificios de apartamentos, condominios, y escuelas – alámbrico, y MMDS (sistema de distribución multipunto multicanal) – Microondas inalámbrico].

Figura D.1/J.83 – Transmisor 16 VSB (cabecera de cable o de SMATV – nota 2)

¹ 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.

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 cómo 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 ecualizador 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 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:

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

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

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

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

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.3.

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.

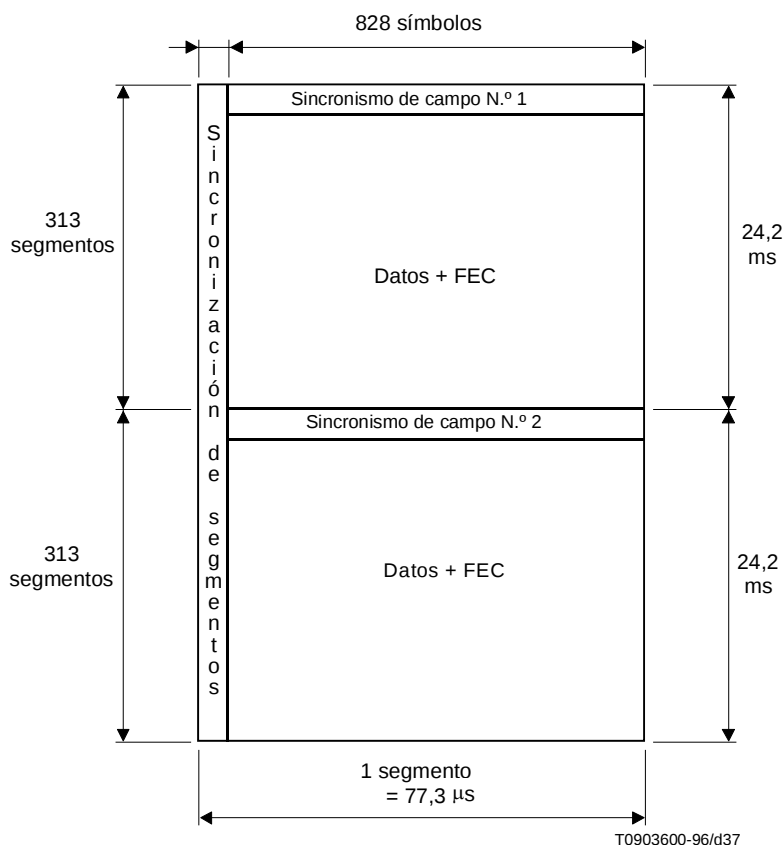


Figura D.2/J.83 – Trama de datos VSB

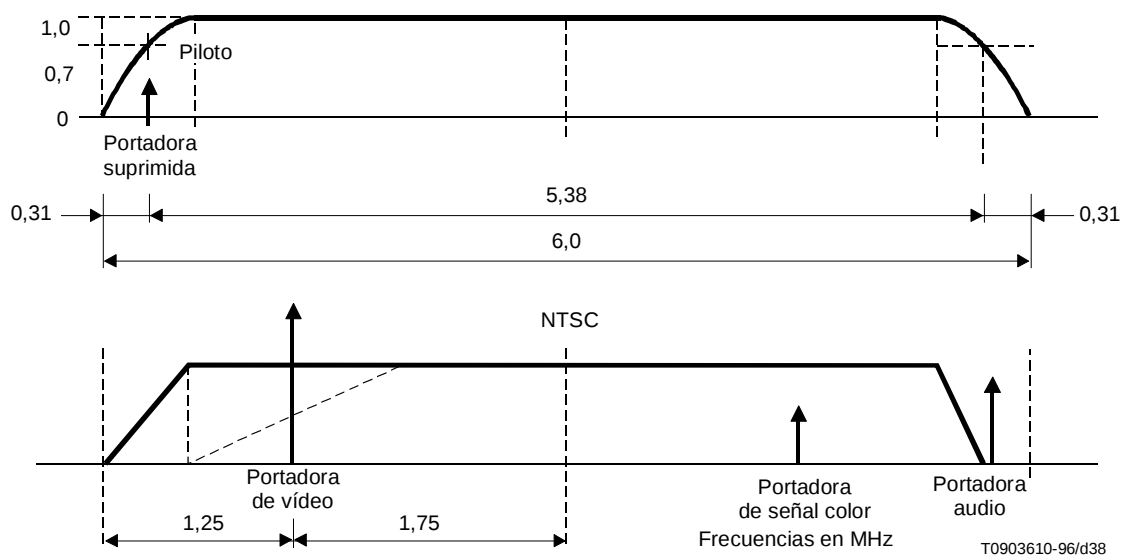


Figura D.3/J.83 – Ocupación de canales VSB y NTSC

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.

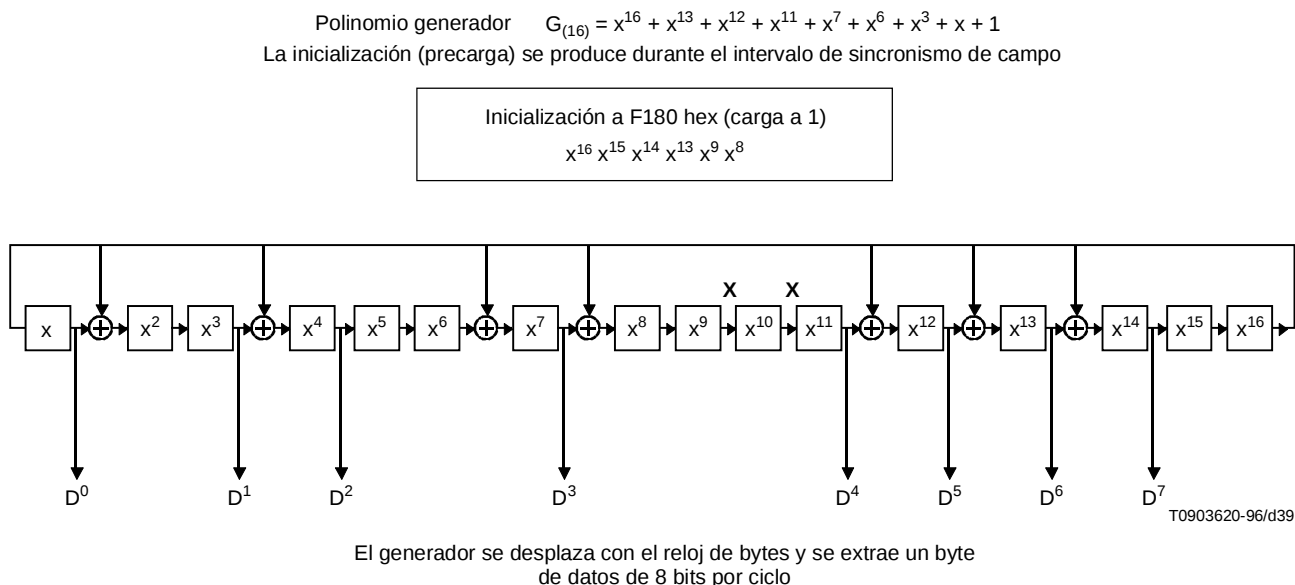


Figura D.4/J.83 – Polinomio aleatorizador

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.

$$\begin{aligned}
 \prod_{i=0}^{i=2t-1} (x + \alpha^i) &= x^{20} + x^{19} \alpha^{17} + x^{18} \alpha^{60} + x^{17} \alpha^{79} + x^{16} \alpha^{50} + x^{15} \alpha^{61} + x^{14} \alpha^{163} + \\
 &\quad x^{13} \alpha^{26} + x^{12} \alpha^{187} + x^{11} \alpha^{202} + x^{10} \alpha^{180} + x^9 \alpha^{221} + x^8 \alpha^{225} + x^7 \alpha^{83} + \\
 &\quad x^6 \alpha^{239} + x^5 \alpha^{156} + x^4 \alpha^{164} + x^3 \alpha^{212} + x^2 \alpha^{212} + x^1 \alpha^{188} + \alpha^{190} \\
 &= x^{20} + 152 x^{19} + 185 x^{18} + 240 x^{17} + 5 x^{16} + 111 x^{15} + 99 x^{14} + \\
 &\quad 6 x^{13} + 220 x^{12} + 112 x^{11} + 150 x^{10} + 69 x^9 + 36 x^8 + 187 x^7 + \\
 &\quad 22 x^6 + 228 x^5 + 198 x^4 + 121 x^3 + 121 x^2 + 165 x^1 + 174
 \end{aligned}$$

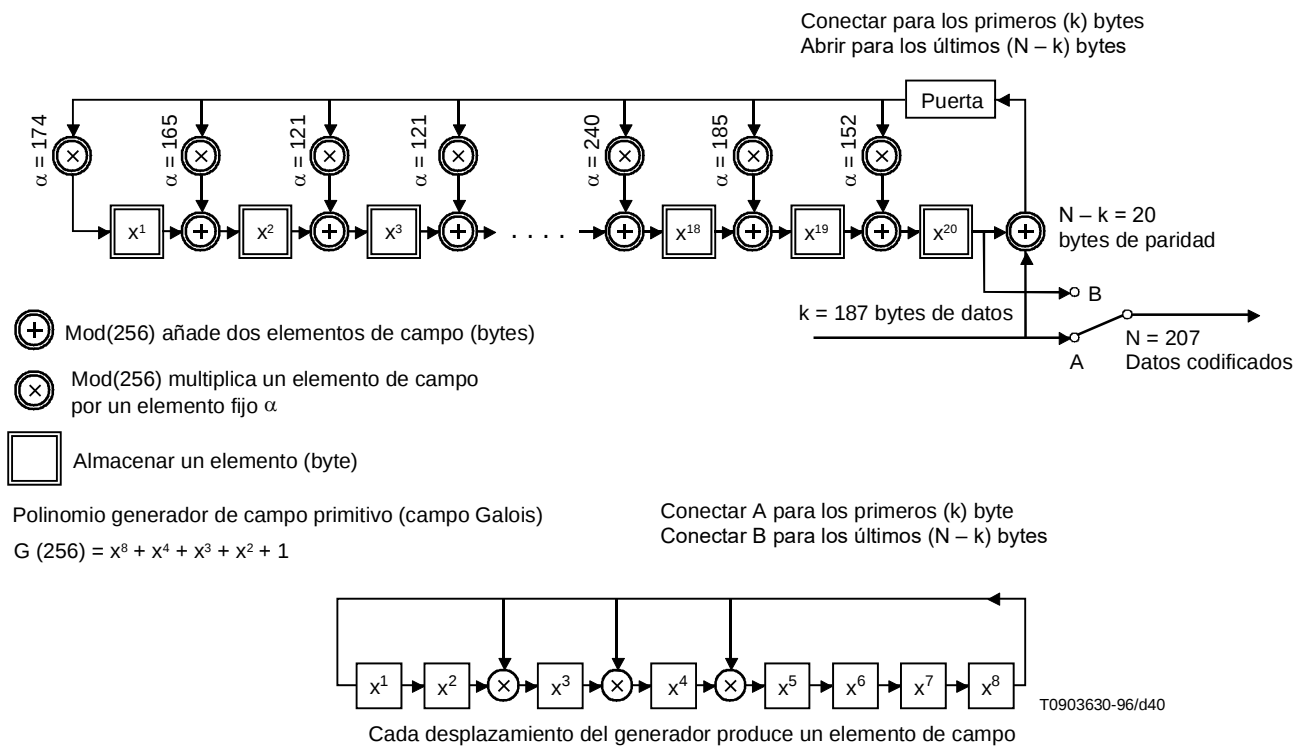


Figura D.5/J.83 – Polinomio generador de paridad para Reed-Solomon (207, 187) con $t = 10$

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.

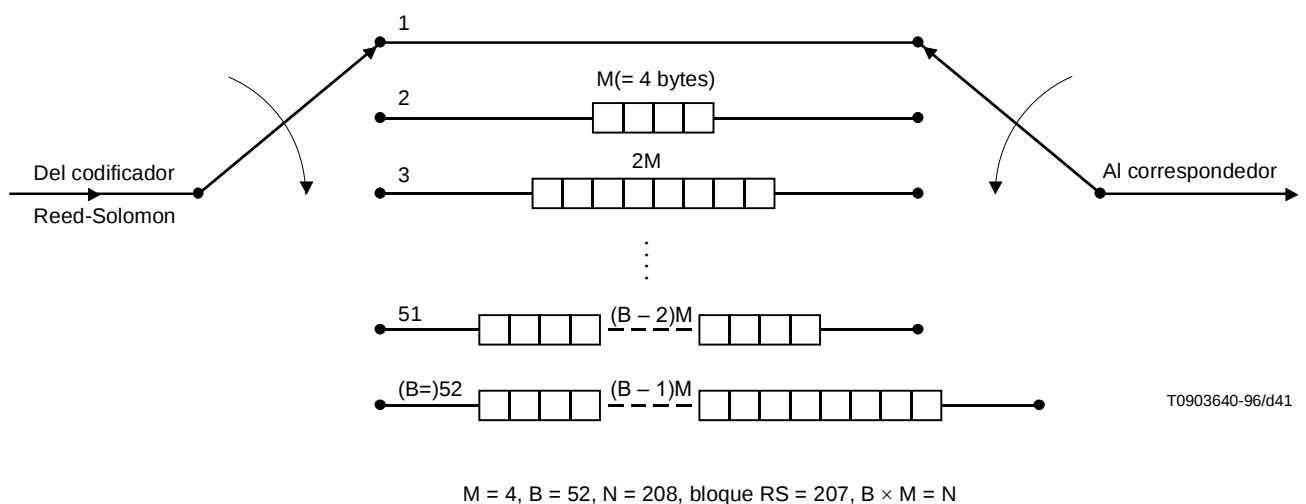


Figura D.6/J.83 – Intercalador convolucional

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 el 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 μ s, 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.7.

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.8. Cada símbolo representa un bit de datos (2 niveles). Los 832 símbolos de este segmento se definen a continuación. Véase la Figura D.8.

D.5.5.1 Sincronismo

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

D.5.5.2 PN511

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.

El generador de la secuencia PN511 se muestra en la Figura D.9.

D.5.5.3 PN63

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.

El generador de la secuencia PN63 se muestra en la Figura D.9.

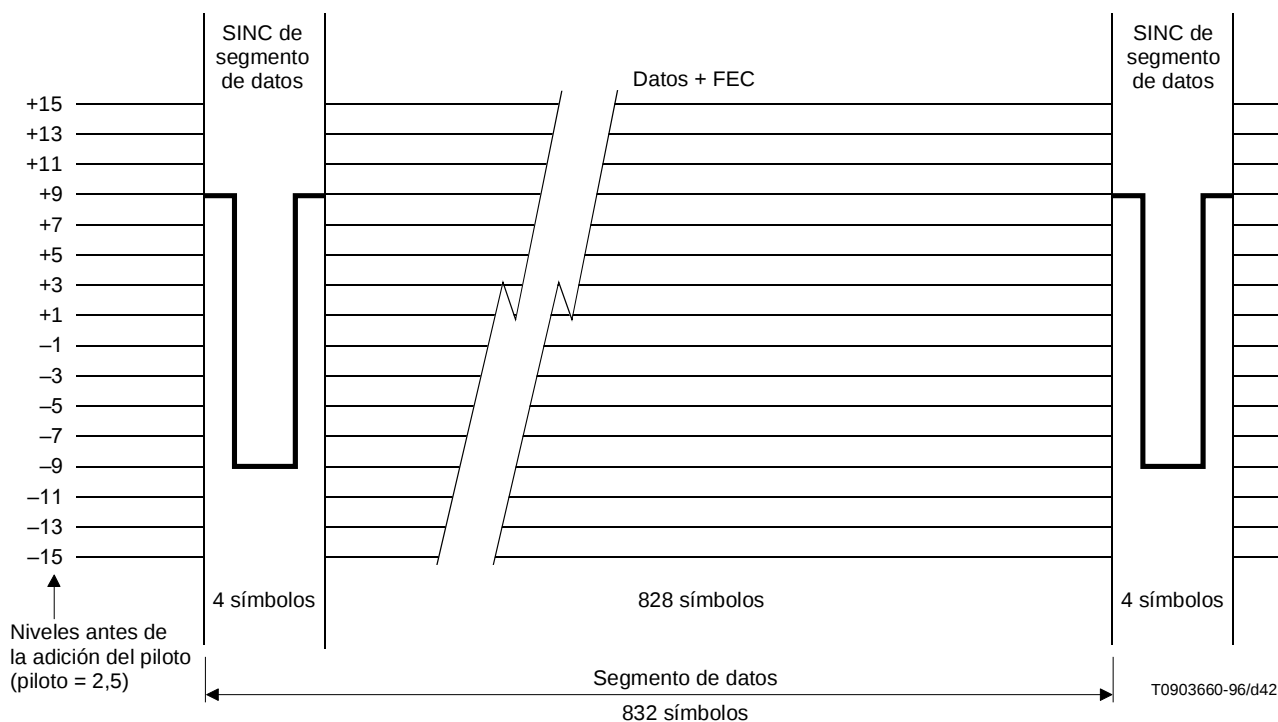


Figura D.7/J.83 – Segmento de datos 16 VSB

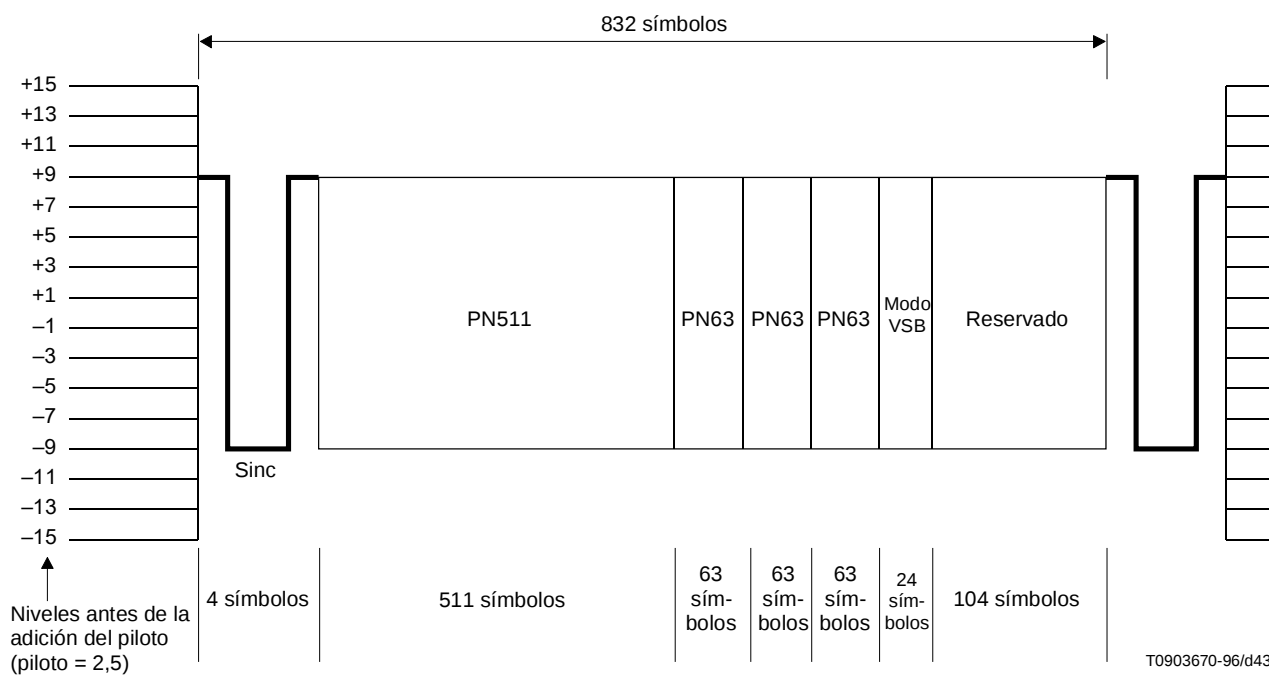


Figura D.8/J.83 – Sincronismo de campo de datos 16 VSB

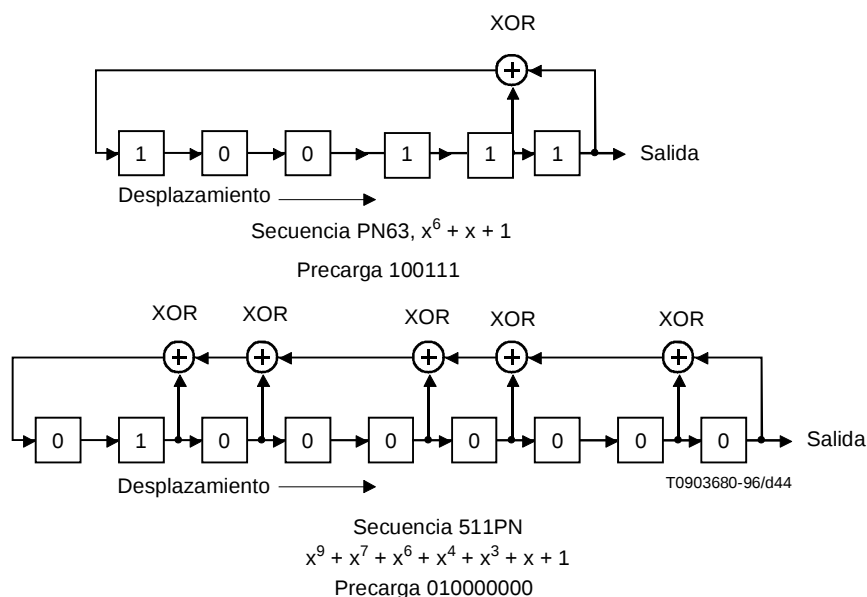


Figura D.9/J.83 – Generador de secuencias PN de sincronismo de campo

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:

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

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 2 VSB

1 0 0 1 4 VSB

1 0 1 0 8 VSB

0 0 1 1 Reservado

1 1 0 0 16 VSB cable

0 1 0 1 8 VSB terrenal (nota) (codificación reticular)

0 1 1 0 Reservado

1 1 1 1 Reservado

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

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

D.5.5.5 Reservado

Los últimos 104 bits son espacio reservado. Se sugiere que éste se rellene con una continuación de la secuencia PN63.

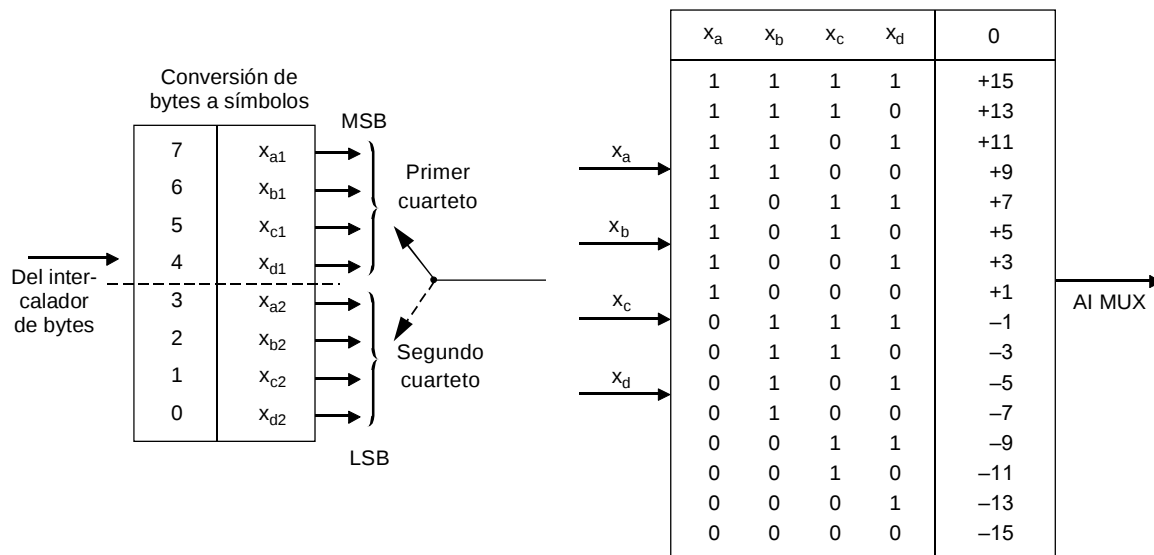
Todas las secuencias son precargadas antes del comienzo del sincronismo de campo de datos.

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.10 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.7 y D.8, los niveles nominales del sincronismo del segmento de datos y del sincronismo de campo de datos son -9 y $+9$.



T0903650-96/d45

Figura D.10/J.83 – Correspondedor 16 VSB

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. 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 quedan en estudio.

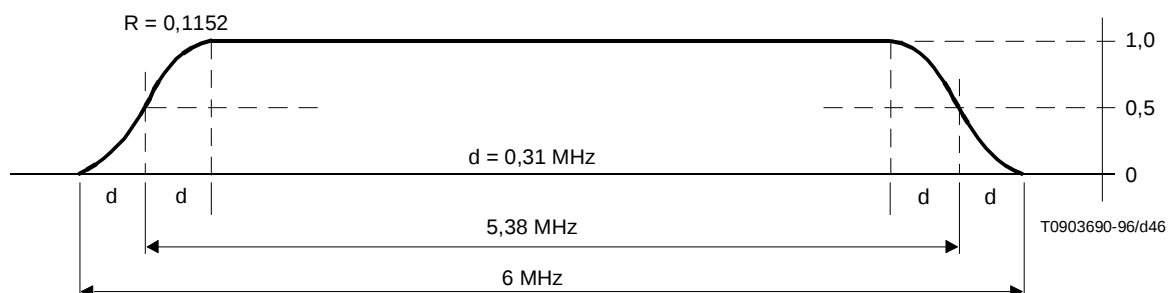


Figura D.11/J.83 – Respuesta nominal de un canal de sistema VSB (filtro Nyquist de coseno alzado de fase lineal)

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).

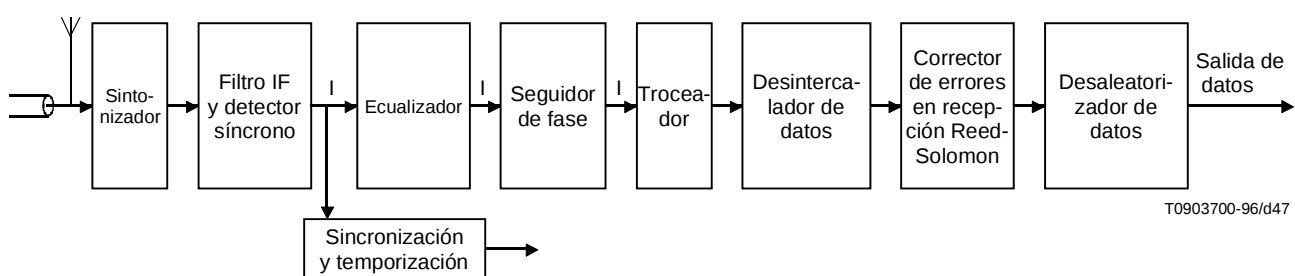


Figura D.12/J.83 – Receptor 16 VSB

D.8 Otros modos VSB

D.8.1 Introducción

En D.5.5.4 anterior se identificaban los bits de modo VSB en el intervalo de sincronismo de campo de datos VSB para los modos 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB, 16 VSB y 8 VSB (codificación reticular). Hasta este punto se han descrito procesos de modos de 16 VSB que incluyen los paquetes de entrada MPEG de 188 octetos, estructura de trama de datos, aleatorizador de datos, corrección de errores hacia delante Reed-Solomon (FEC), intercalación de octetos, correspondedor, sincronización de segmento de datos, sincronización de campos de datos, modulación VSB y el receptor 16 VSB.

D.8.2 Visión general de los modos VSB

El grupo de modos VSB forma una familia con un alto grado de procesos comunes. Cada modo de la familia utiliza la misma sincronización de velocidad de símbolos, la misma conformación del espectro y la misma anchura de banda de canal. La diferencia entre los modos se debe a la variación de bits por símbolo y la consiguiente velocidad de datos de cabida útil que se puede acomodar. El Cuadro D.1 muestra las relaciones.

Cuadro D.1 – Tabla de comparación de modos VSB

Modo VSB	Velocidad de datos de transporte	Tolerancia de ráfagas de ruido	Umbral C/N
2 VSB	9,7 Mbit/s	387 µseg	10 dB
4 VSB	19,39 Mbit/s	193 µseg	16 dB
8 VSB	29,09 Mbit/s	129 µseg	22 dB
16 VSB	38,79 Mbit/s	97 µseg	28 dB
8 VSB (retícula)	19,39 Mbit/s	193 µseg	15 dB

A continuación se tratan cada uno de los modos VSB.

D.8.3 Capa transporte MPEG-2

Como se indica en la cláusula D.3, la capa transporte proporciona paquetes de 188 octetos.

D.8.4 Estructura de alineación de trama

La Figura D.2 muestra los símbolos de datos, segmentos de datos y organización de campo de datos que es común a todos los modos VSB. El Cuadro D.2 muestra la relación entre paquetes MPEG-2 protegidos con FEC Reed-Solomon y los segmentos de datos y modos VSB.

Cuadro D.2 – Tabla de comparación de trama de datos-paquete MPEG-modo VSB

Modo VSB	Bits/símbolo	Bits/segmento	Paquetes/segmento MPEG protegidos con FEC
2	1	828	1/2
4	2	1 656	1
8	3	2 484	1 1/2
16	4	3 312	2
8T	2	1 656	1

D.8.5 Codificación de canal

D.8.5.1 Aleatorizador de datos

La aleatorización de datos para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB y 8 VSB (retícula) se realiza como se indica en D.5.1.

D.8.5.2 Codificador Reed-Solomon

El proceso FEC de R S para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB y 8 VSB (codificación reticular) se describe en la cláusula D.5.2.

D.8.5.3 Intercalación

La intercalación para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB, y 8 VSB (codificación reticular) se describe en D.5.3. Como las velocidades binarias son diferentes para los distintos modos VSB, la característica con ráfagas de ruido varía como se muestra en el Cuadro D.1.

D.8.5.4 Sincronismo de segmentos de datos

El sincronismo de segmentos de datos es común a todos los modos VSB. Los particulares del sincronismo de segmentos de datos se describen en la cláusula D.5.4. Sin embargo, la incrustación del sincronismo en los datos de símbolos multinivel varía. Esto se muestra en las Figuras D.13, D.14, D.15 y D.16 para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB y 8VSB (codificación reticular), respectivamente.

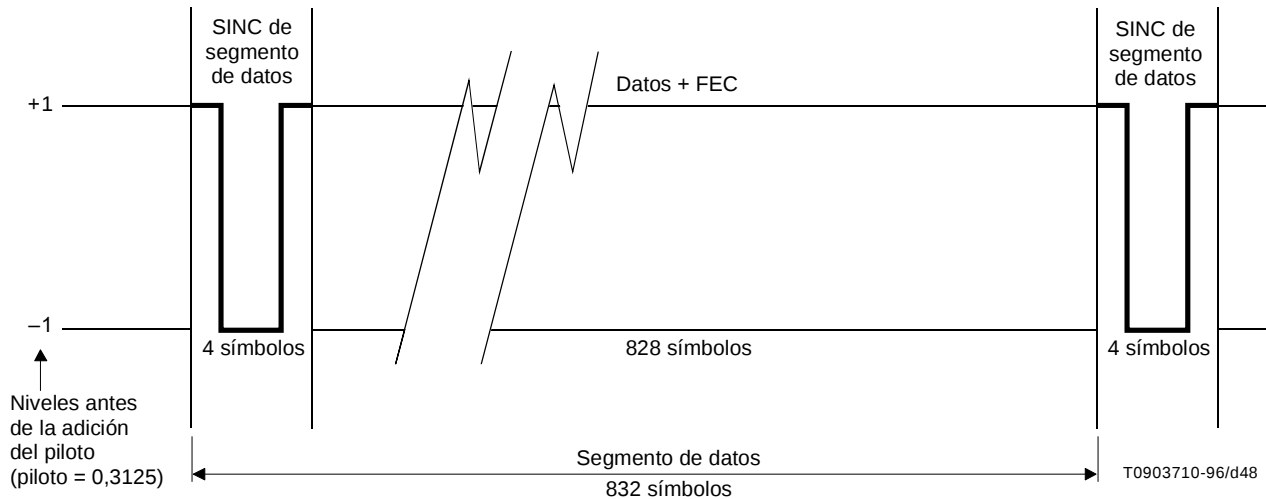


Figura D.13/J.83 – Segmento de datos 2 VSB

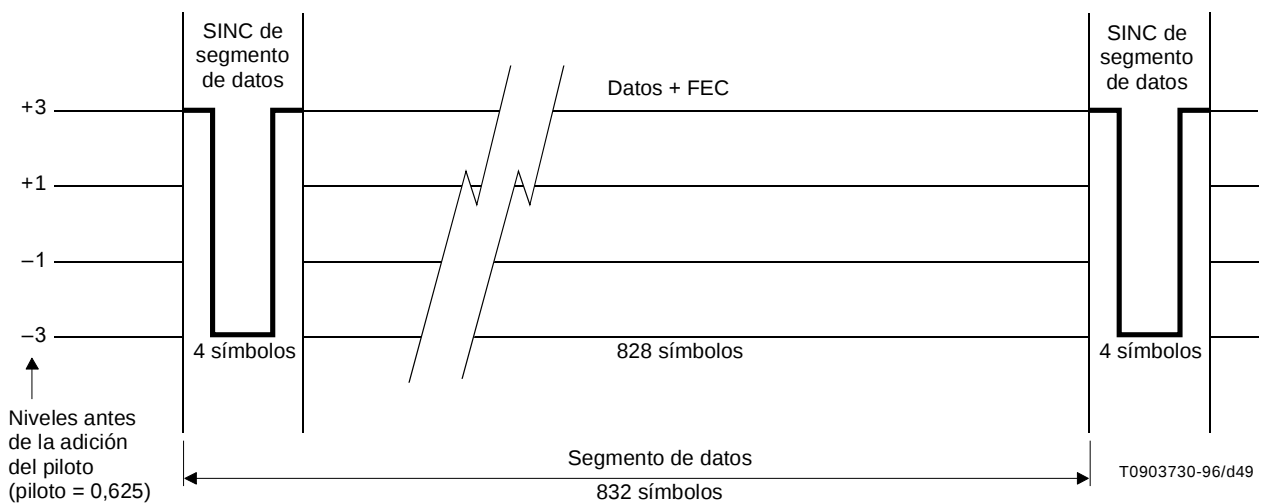


Figura D.14/J.83 – Segmento de datos 4 VSB

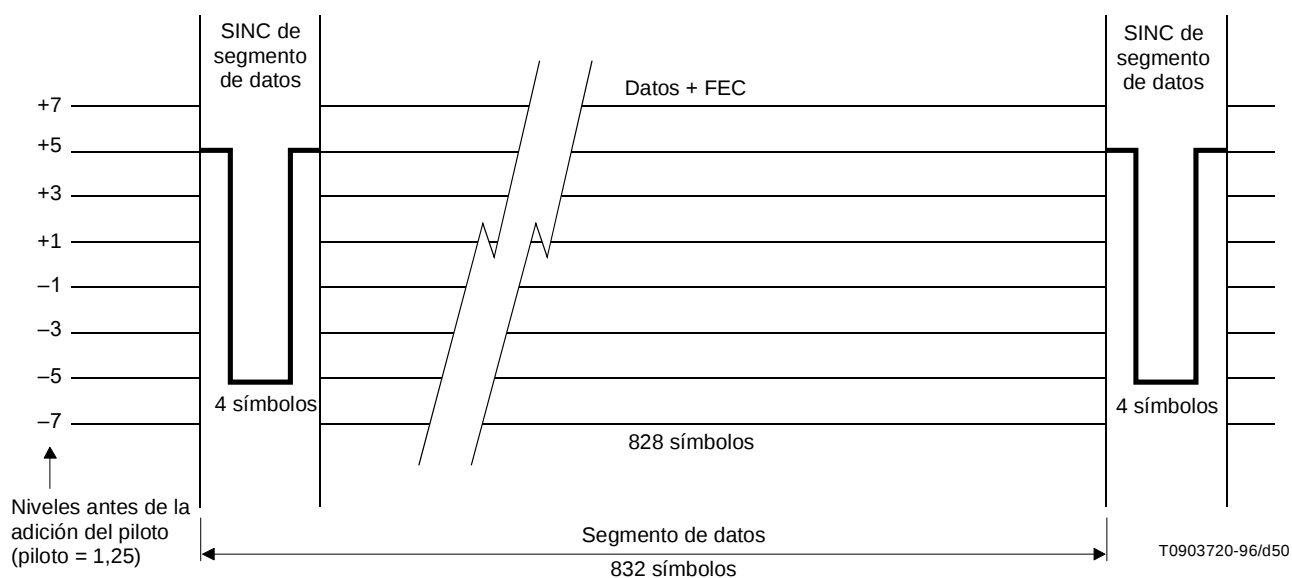


Figura D.15/J.83 – Segmento de datos 8 VSB

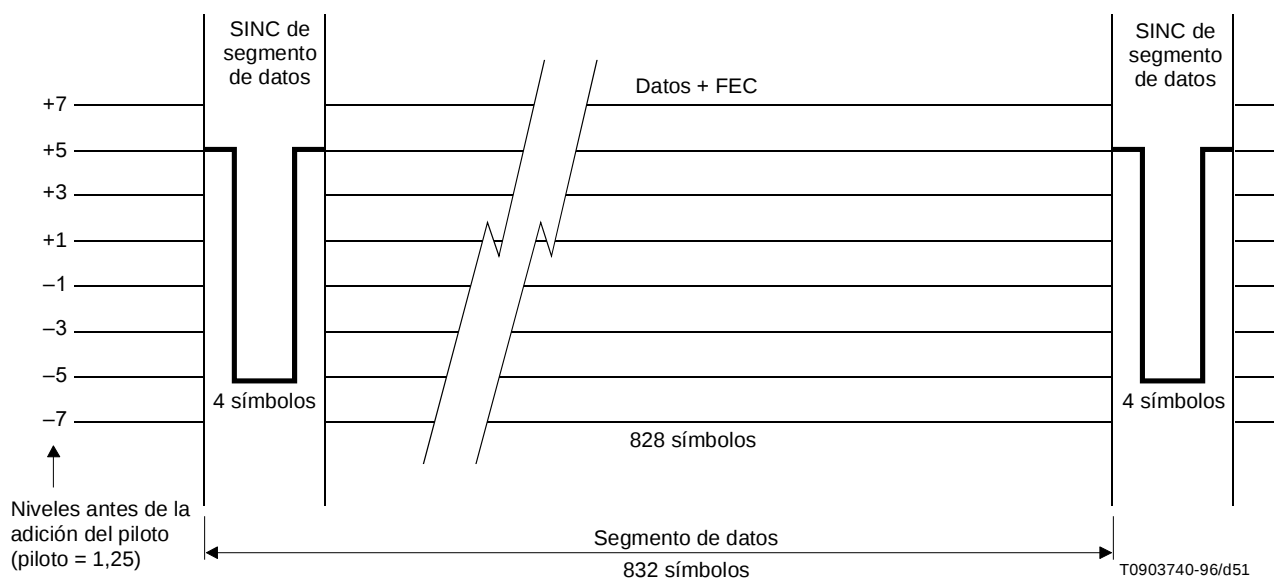


Figura D.16/J.83 – Segmento de datos 8 VSB (codificación reticular)

D.8.5.5 Sincronismo de campo de datos

El sincronismo de campo de datos es común a todos los modos VSB. Los particulares del sincronismo de campo de datos se describen en la cláusula D.5.5. Sin embargo, como en el caso del sincronismo de segmento, la incrustación del sincronismo de campo de datos en datos de símbolos multinivel varía. Esto se muestra en las Figuras D.17, D.18, D.19 y D.20 para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB y 8 VSB (codificación reticular), respectivamente.

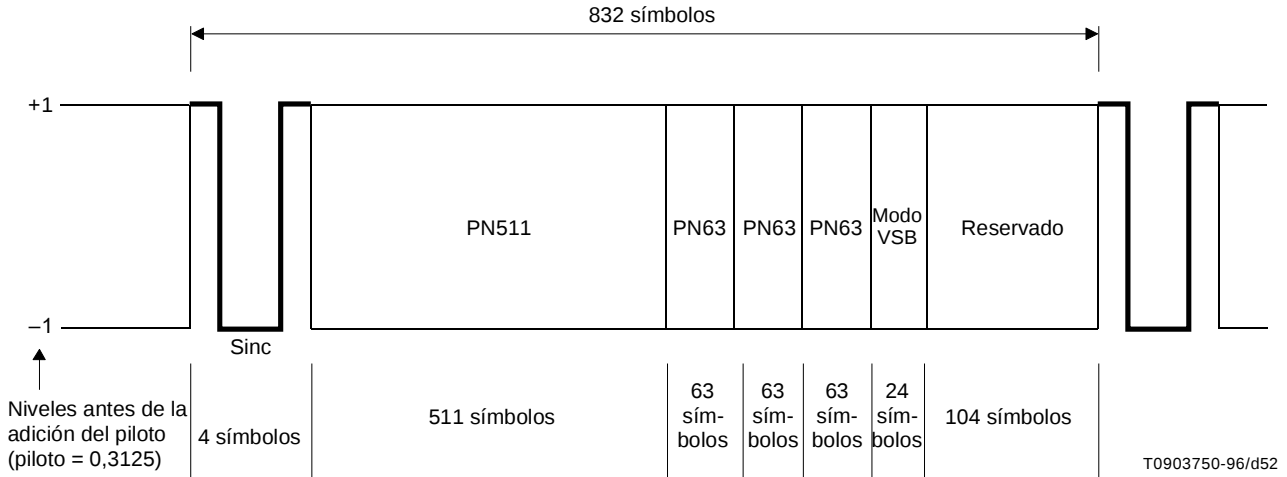


Figura D.17/J.83 – Sincronismo de campo de datos 2 VSB

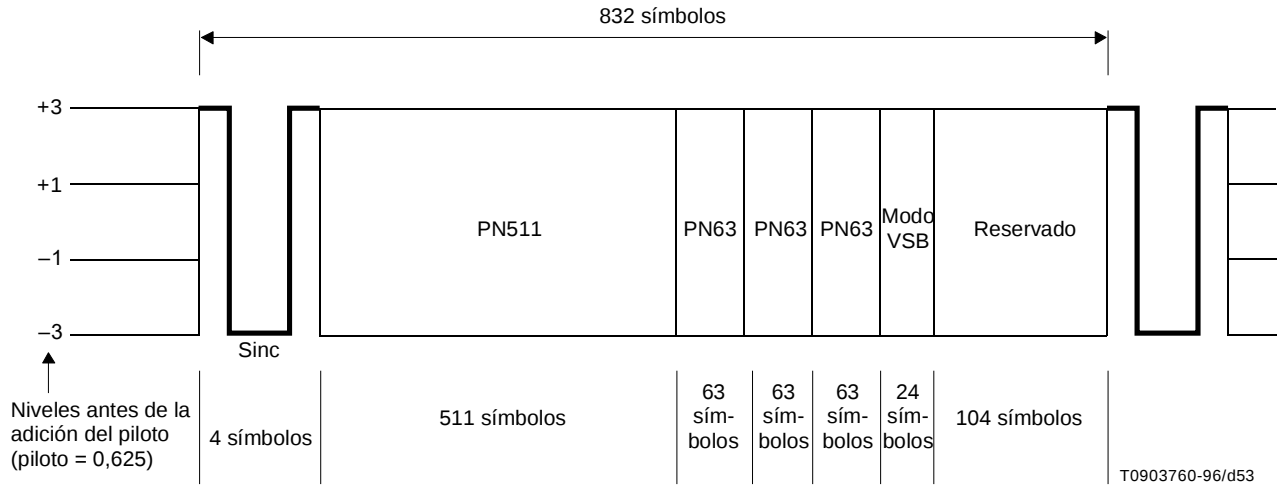


Figura D.18/J.83 – Sincronismo de campo de datos 4 VSB

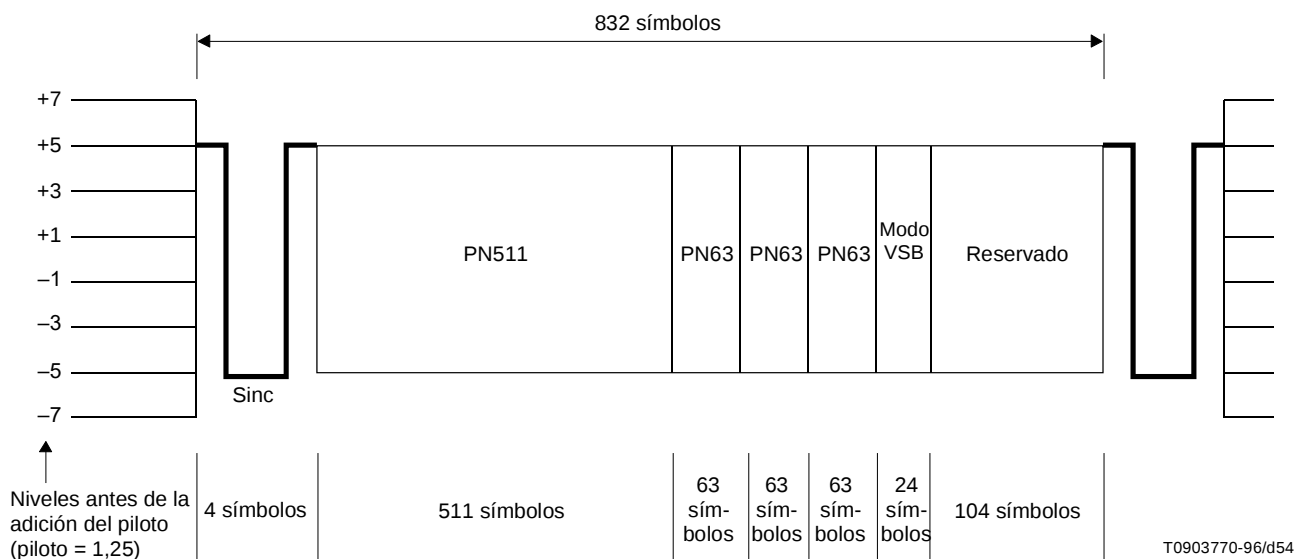
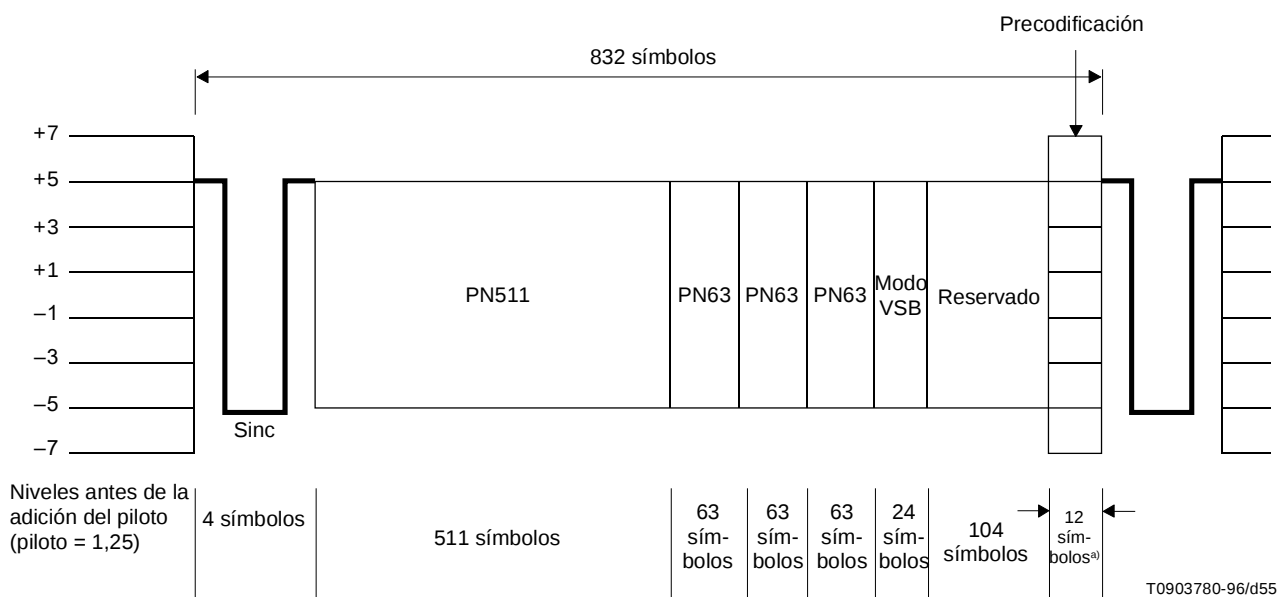


Figura D.19/J.83 – Sincronismo de campo de datos 8 VSB



a) Para 8 VSB con codificación reticular, los últimos 12 símbolos del segmento anterior se duplican en los últimos 12 símbolos reservados del sincronismo de campo.

Figura D.20/J.83 – Sincronismo de campo de datos 8 VSB (codificación reticular)

D.8.6 Modulación

D.8.6.1 Correspondencia de bits y símbolos

La correspondencia de bits y símbolos para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB y 8 VSB (codificación reticular) se muestra en las Figuras D.21, D.22, D.23 y D.24, respectivamente. Los niveles de símbolos de datos son ± 1 para 2 VSB, $\pm 1, \pm 3$ para 4 VSB y $\pm 1, \pm 3, \pm 5, \pm 7$ para 8 VSB y 8 VSB (codificación reticular)².

² El modo 8 VSB (codificación reticular) se describe detalladamente en [b-1].

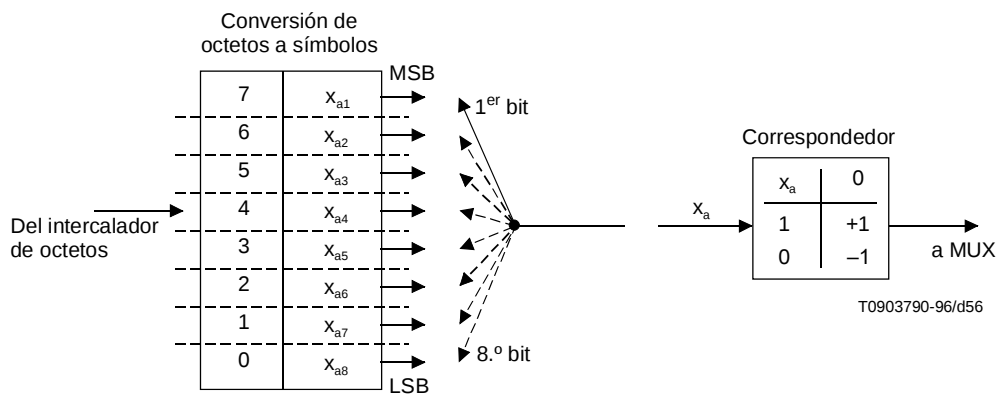


Figura D.21/J.83 – Correspondedor 2 VSB

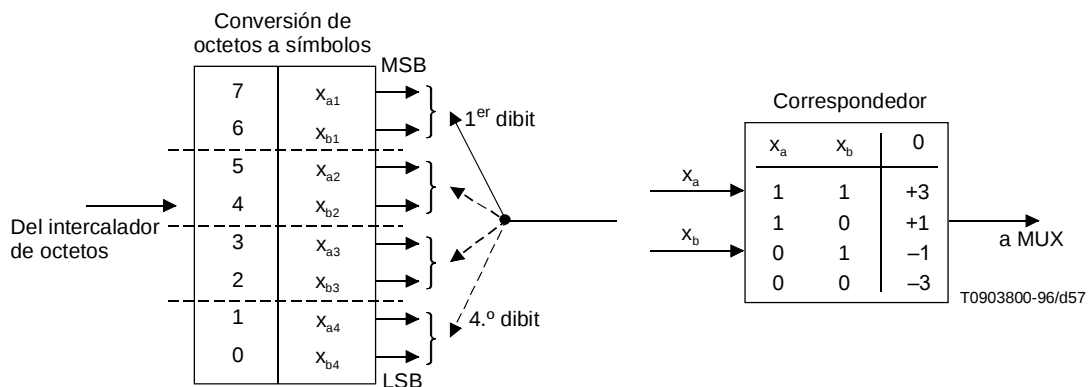


Figura D.22/J.83 – Correspondedor 4 VSB

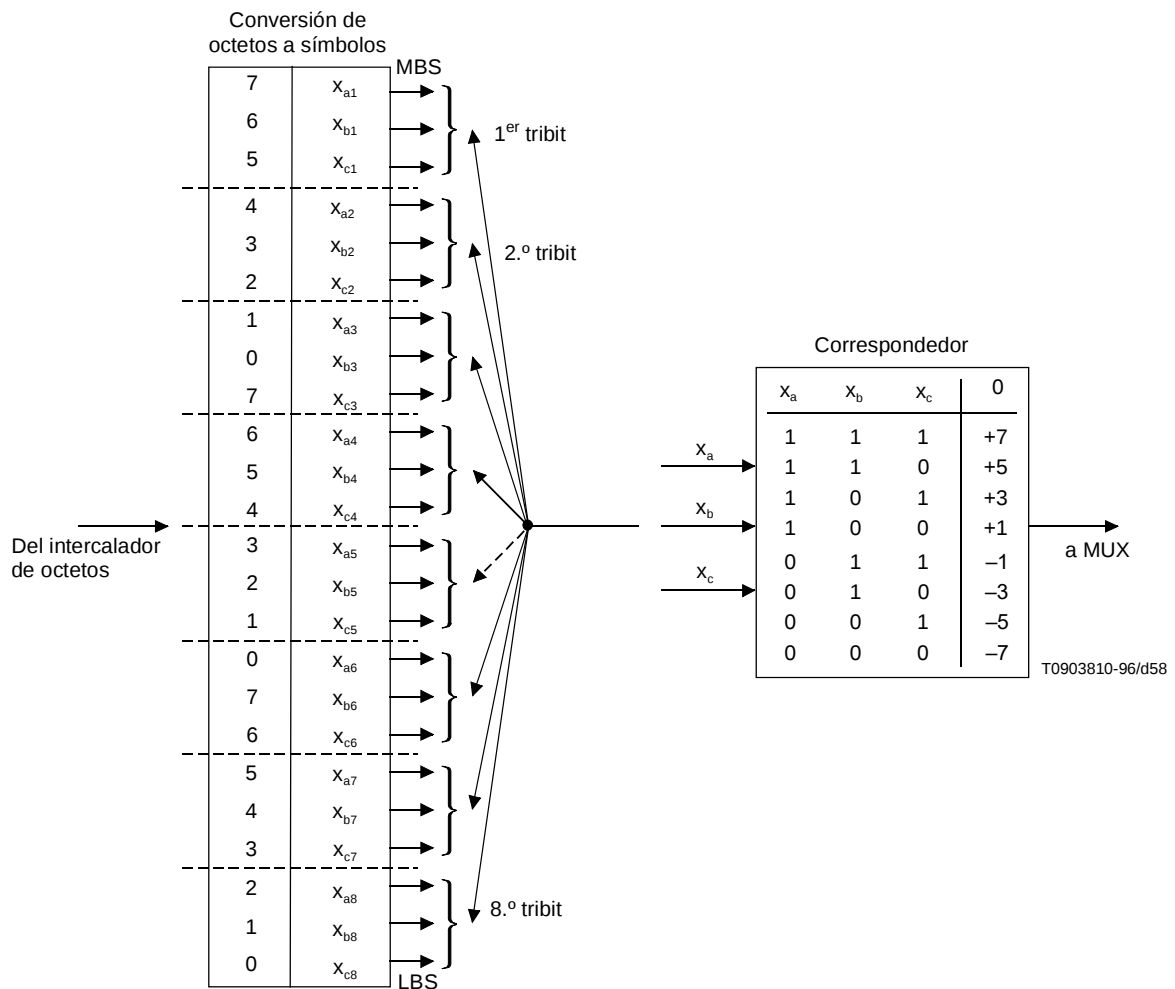


Figura D.23/J.83 – Correspondedor 8 VSB

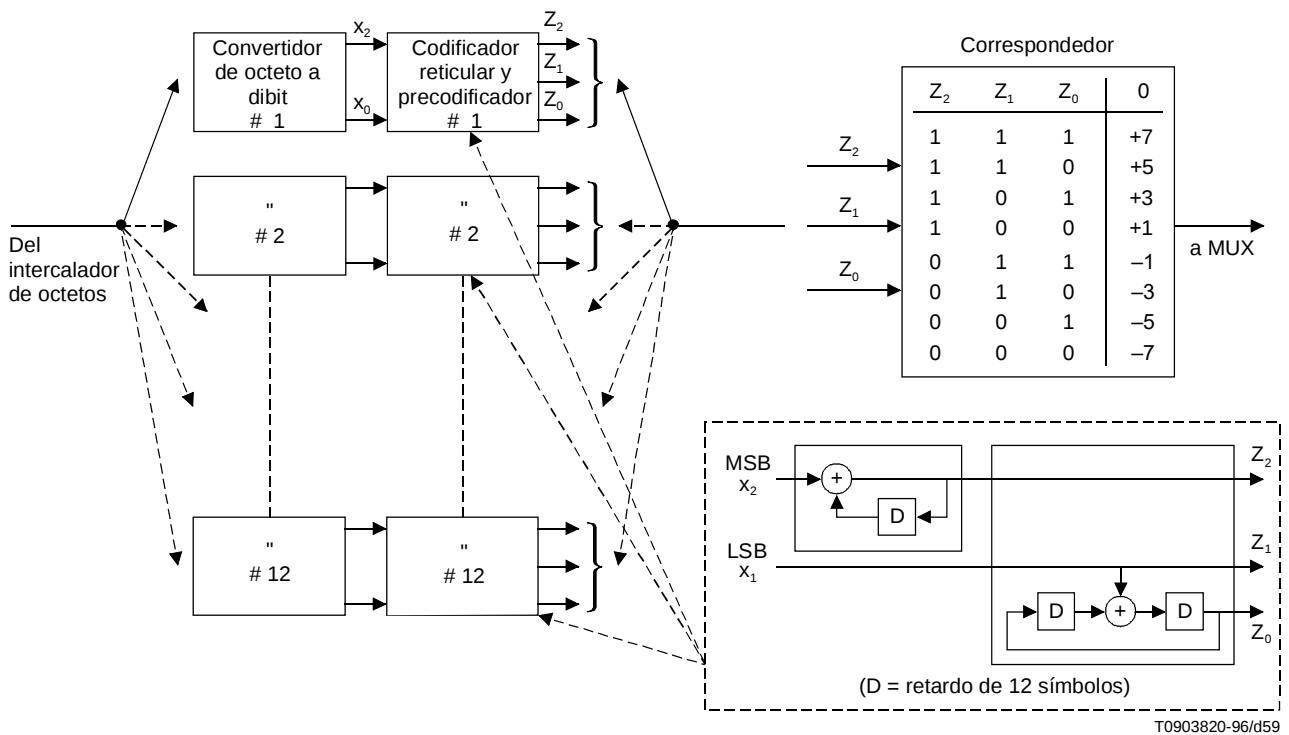


Figura D.24/J.83 – Correspondedor 8 VSB (precodificador, codificador reticular)
velocidad = 2/3

D.8.6.2 Adición de piloto

La adición de piloto se puede efectuar de la misma manera indicada en D.6.2, añadiendo un pequeño nivel DC a los símbolos de banda de base (datos y sincronismo). El valor del nivel DC es 0,3125 para 2 VSB, 0,625 para 4 VSB, 1,25 para 8 VSB y 8 VSB (codificación reticular).

Esto se muestra en las Figuras D.13, D.14, D.15 y D.16 para 2 VSB, 4 VSB, 8 VSB y 8 VSB (codificación reticular), respectivamente.

D.8.6.3 Método de modulación VSB

El método de modulación para todos los sistemas VSB se aplica de la misma manera indicada en D.6.3. La respuesta de frecuencia de canal global se conforma como se indica en la Figura D.11.

D.8.6.4 Conversión-elevación

El método de modulación se suele aplicar en una frecuencia intermedia. Se aplica la conversión-elevación a la frecuencia intermedia modulada hasta la frecuencia de canal final del sistema de transmisión RF.

D.8.7 Receptor VSB

El receptor VSB tiene todas las funciones inversas del transmisor. El modo de transmisión VSB se indica al receptor como se describe en D.5.5.4. Las funciones del receptor se ajustan para acomodar los distintos niveles de deslizamiento de datos requeridos y las diferentes velocidades binarias entrantes³.

³ El proceso receptor 8 VSB (codificación reticular) se describe detalladamente en [b-2] de la bibliografía.

Bibliografía

- [b-1] Advanced Television Systems Committee (ATSC): *Digital television standard*, Washington D.C., September 1995.
- [b-2] Advanced Television Systems Committee (ATSC): *Guide to the use of the ATSC digital standard*, Washington D.C., October 1995.

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie D	Principios de tarificación y contabilidad y cuestiones económicas y políticas de las telecomunicaciones/TIC internacionales
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedia
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedia
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Medio ambiente y TIC, cambio climático, ciberdesechos, eficiencia energética, construcción, instalación y protección de los cables y demás elementos de planta exterior
Serie M	Gestión de las telecomunicaciones, incluida la RGT y el mantenimiento de redes
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de la transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes de líneas locales
Serie Q	Conmutación y señalización, y mediciones y pruebas asociadas
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos, comunicaciones de sistemas abiertos y seguridad
Serie Y	Infraestructura mundial de la información, aspectos del protocolo Internet, redes de próxima generación, Internet de las cosas y ciudades inteligentes
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación