

**DOCTORADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA**  
**UNIVERSIDAD DE VIGO**

***TELEVISIÓN DIGITAL INTERACTIVA:  
ARQUITECTURAS Y SERVICIOS***

**TRABAJO FINAL**

**Características de las distintas  
modulaciones empleadas en la TV digital**

---

***RAFAEL SOTELO***  
***Montevideo – Uruguay***  
***Marzo 2006***

## **Contenido**

- **Introducción**
- **Satélite**
  - DVB-S
  - ISDB-S
- **Terrestre**
  - DVB-T
  - ATSC
  - ISDB-T
  - Comparación de los sistemas de modulación TDT
- **Cable**
  - ATSC
  - DVB-C
- **Referencias**
- **Bibliografía**

## Introducción

La Televisión Digital se diferencia de la analógica básicamente en que las señales de video y audio están digitalizadas y como tales son transmitidas utilizando sistemas de modulación digitales.

Hay una variedad muy grande de estos esquemas de modulación en uso y su variedad depende principalmente de tres factores:

- El medio de transmisión
  - Satélite
  - Terrestre
  - Cable
- La aplicación o servicio
- El país de implantación

Incluimos como *medio de transmisión* los antedichos debido a que son los tradicionalmente ligados a la industria de la televisión, y donde la televisión digital *sustituye* a la analógica. En estos medios nos focalizaremos.

No forman parte de este informe, por lo tanto, la televisión para teléfonos móviles ni vía ADSL, ya que se ofrecen sobre otro sistema de telecomunicaciones y la modulación que utilizan depende de ese sistema.

DVB define un esquema de modulación para transmisión vía microondas pero no lo abordaremos por ser similar a los que describiremos y de menor difusión. [1]

La *aplicación o servicio* influye porque será distinta la modulación a utilizar según lo que quiera ofrecerse. Calidad estándar o alta definición, uno o múltiples canales, soporte de receptores móviles o no, etc. Estos objetivos, junto con el ancho de banda y ruido del medio de transmisión, colaboran en la definición del método de modulación.

El *país de implantación* lo mencionamos porque encontramos distintas normas según el país o región. Cada estado puede definir los estándares de televisión digital a utilizarse. Y lamentablemente veremos que existe más de uno. Existía la esperanza que al comenzar una nueva era, como es la de la televisión digital, no se cometiera el mismo error que se realizó con la televisión analógica de tener distintos estándares de televisión. Pero esto no ha sido así. Sin embargo, ha habido puntos en común, por ejemplo en el tema de interactividad ya que el GEM, evolucionado a partir de MHP europeo es base de los estándares de interactividad americanos de aire y cable.

Comenzaremos la exposición clasificando a partir de los distintos medios de transmisión. Subclasificaremos de acuerdo a la norma utilizada y describiremos cómo se adapta según el servicio en caso que corresponda.

En todos los casos el estándar de video digital utilizado es el MPEG-2 definido en la ISO/IEC 13818-1. Además de hablar de modulación deberemos describir el tratamiento que se hace a la trama MPEG-2 antes de enviarla al modulador. Describiremos la codificación de canal.

Veremos que la modulación digital en cualquiera de los casos representa una mejora sustantiva respecto a la modulación analógica de televisión debido a que incorpora corrección de errores, uso más eficiente del espectro, disminuye potencias de transmisión, permite múltiples canales de televisión estándar, transmisión de señales de alta definición, es menos inmune a interferencias de canales adyacentes y de co-canales.

## Satélite

### DVB-S

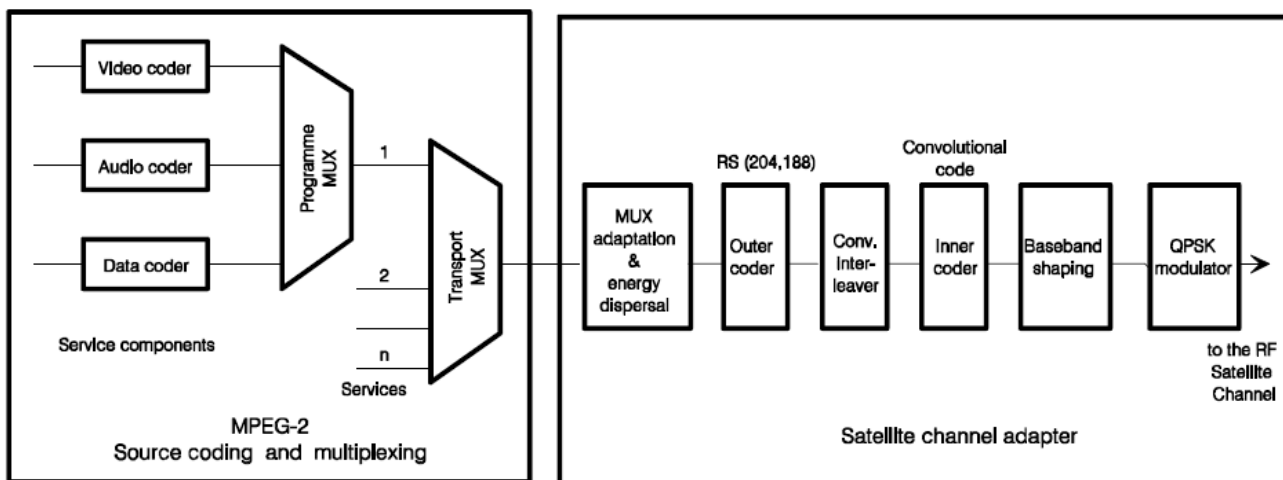
En transmisión de televisión por satélite hay prácticamente un estándar utilizado: DVB-S. Podemos ver la definición de esta modulación en la norma ETSI [2] y la más reciente [3].

La televisión por satélite fue la primera aplicación en transmisión de televisión digital. La motivación principal resultó la reducción de los anchos de banda debido a lo caro de este recurso en un satélite.

La transmisión a utilizar es QPSK (*quadriphase shift keying*). El ancho de banda utilizado será función del bitrate del múltiplex MPEG-2 y de la robustez que se pretenda.

Si la señal recibida está sobre los umbrales de C/N y C/I, la técnica de “Forward Error Correction” (FEC) garantiza que la calidad de salida será “Quasi Error Free” (QEF). QEF significa menos de un error por hora de transmisión, correspondiendo a un “Bit Error Rate” (BER) de  $10^{-10}$  to  $10^{-11}$  a la entrada del demultiplexor MPEG-2.

La siguiente figura ilustra las distintas etapas que atraviesan los datos antes de ser enviados al satélite.



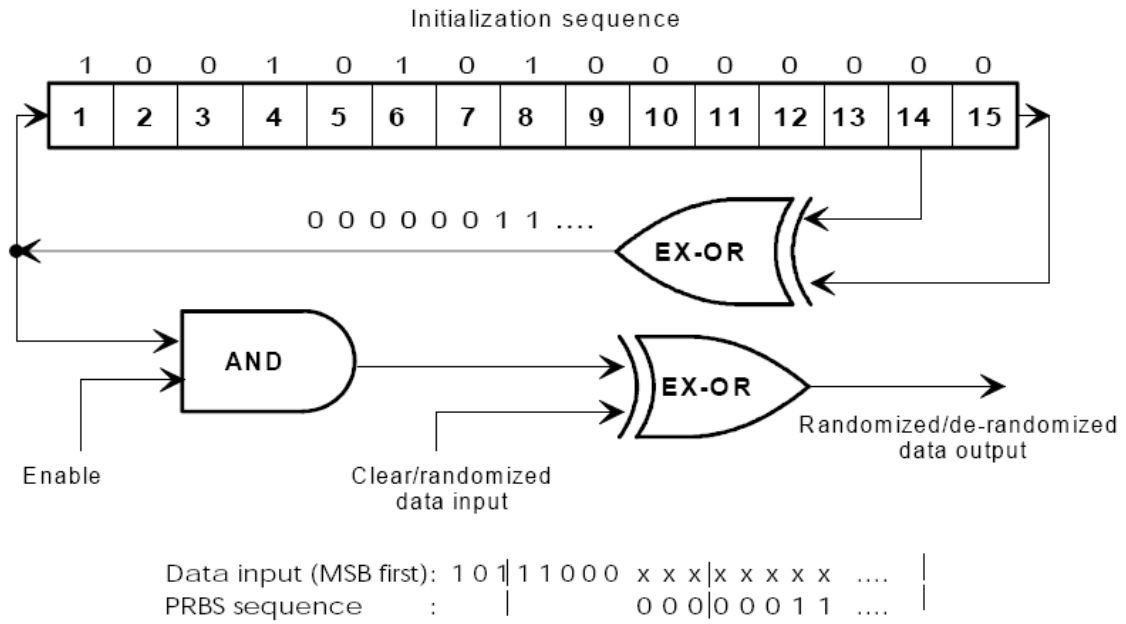
Veremos a continuación cada uno de ellas.

Como se sabe, la salida del multiplexor MPEG-2 son paquetes de 188 bytes que comienzan con una palabra de sincronismo 47H. El procesamiento comenzará con el bit más significativo.

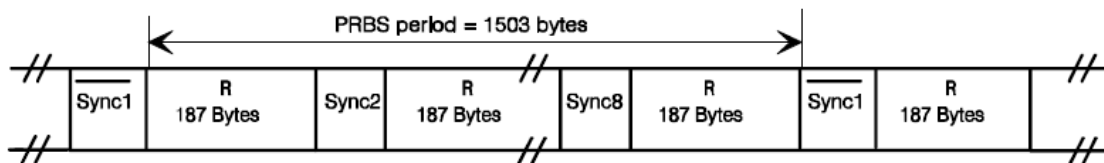


#### Adaptación del múltiplex de transporte y aleatorización para dispersión de energía

Para garantizar transiciones binarias adecuadas (necesarias para sincronización en el receptor) se realiza una “aleatorización” de los datos de la forma que se describe a continuación:



El polinomio para la "Pseudo Random Binary Sequence" (PRBS) será  $1 + X^{14} + X^{15}$

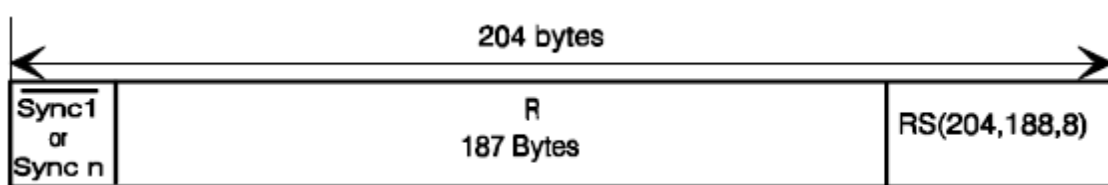


A los efectos de que el descrambler pueda tener una señal de inicialización, el primer sync byte de un grupo de ocho paquetes MPEG-2 se invierte, cambiando de 47H a B8H. Los sync bytes de los otros siete paquetes se transmiten para facilitar la sincronización. El generador PRBS está funcionando permanentemente pero se deshabilita su salida durante el pasaje de los sync bytes.

También funcionará este proceso cuando no haya entrada de trama MPEG-2, para evitar que del modulador salga una portadora sin modular, lo que podría traer problemas a nivel de transmisión.

#### Outer coding (Reed Solomon), Interleaving y framing

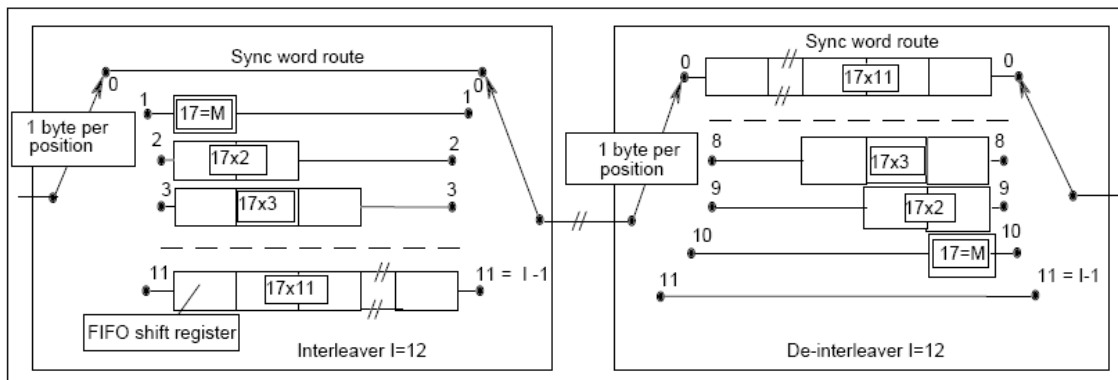
A los paquetes resultantes se les aplica una codificación Reed Solomon (204, 188, T=8) para generar un paquete con corrección de error. Al paquete de 188 bytes se agregan 16 más que garantizan corrección de errores hasta 8 bits.



**Code Generator Polynomial:**  $g(x) = (x+\lambda^0)(x+\lambda^1)(x+\lambda^2) \dots (x+\lambda^{15})$ , where  $\lambda = 02_{\text{HEX}}$ .

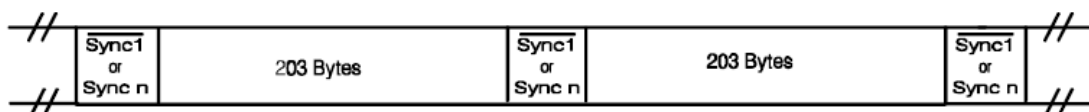
**Field Generator Polynomial:**  $p(x) = x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$ .

Todos estos paquetes se pasan por un Interleaver con una profundidad  $I=12$ . Este elemento se utiliza para protección de errores tipo burst.



Los sync bytes invertidos o no, deberán pasar siempre por la rama "0" para garantizar la sincronización a la salida.

Luego del Interleaver se tiene:

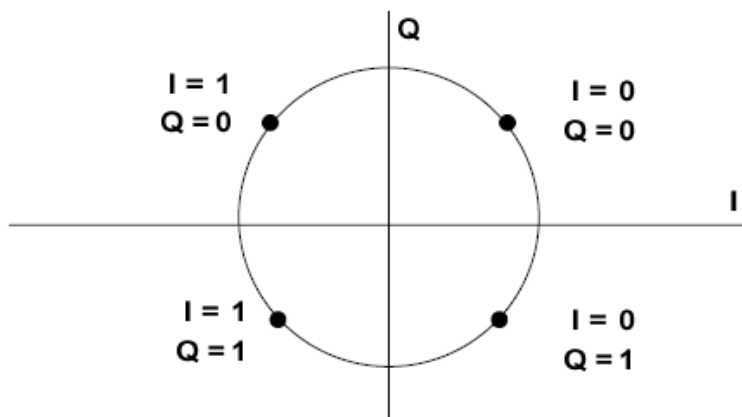
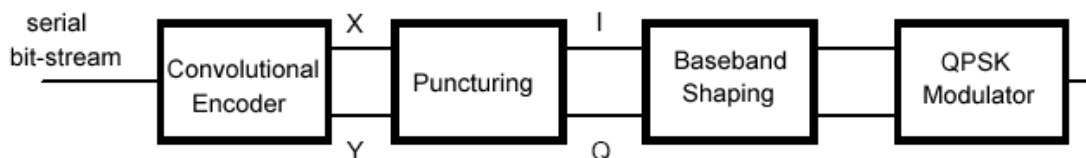


Inner Coding (Convolutional)

Se aplica código de convolución según la siguiente tabla. Los valores posibles son 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8. Esto permitirá el nivel de corrección de error más apropiado para un servicio determinado o velocidad de datos.

Original code			Code rates									
			1/2		2/3		3/4		5/6		7/8	
K	G1 (X)	G2 (Y)	P	dfree	P	dfree	P	dfree	P	dfree	P	dfree
7	171 <sub>OCT</sub>	133 <sub>OCT</sub>	X: 1 Y: 1 I=X1 Q=Y1	10	X: 10 Y: 11 I=X1 Y2 Y3 Q=Y1 X3 Y4	6	X: 101 Y: 110 I=X1 Y2 Q=Y1 X3	5	X: 10101 Y: 11010 I=X1 Y2 Y4 Q=Y1 X3 X5	4	X: 1000101 Y: 1111010 I=X1 Y2 Y4 Y6 Q=Y1 Y3 X5 X7	3

NOTE: 1 = transmitted bit  
0 = non transmitted bit



“Shaping” de banda base y modulación

Se utiliza la modulación QPSK tal como se ve en la figura anterior. Antes de modular, las señales I y Q se filtran de la siguiente manera:

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

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

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

Donde la frecuencia de Nyquist es:

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

Y el factor de roll-off es  $\alpha = 0,35$

Si bien no está en la norma, también es utilizado el roll-off de 20%.

Veamos qué Eb/No se necesita según el inner code rate para tener QEF luego del Reed-Solomon.

Inner code rate	Required Eb/No for BER = 2 × 10 <sup>-4</sup> after Viterbi QEF after Reed-Solomon
1/2	4,5
2/3	5,0
3/4	5,5
5/6	6,0
7/8	6,4

Estamos ya en condiciones de desplegar datos más interesantes a nuestros efectos, que muestran bitrates en función del ancho de banda del transpondedor satelital utilizado:

Table C.1: Examples of bit rates versus transponder bandwidth

BW (at -3 dB) [MHz]	BW' (at -1 dB) [MHz]	R <sub>s</sub> (for BW/R <sub>s</sub> =1.28) [Mbaud]	R <sub>u</sub> (for QPSK + 1/2 convol) [Mbit/s]	R <sub>u</sub> (for QPSK + 2/3 convol) [Mbit/s]	R <sub>u</sub> (for QPSK + 3/4 convol) [Mbit/s]	R <sub>u</sub> (for QPSK + 5/6 convol) [Mbit/s]	R <sub>u</sub> (for QPSK + 7/8 convol) [Mbit/s]
54	48,6	42,2	38,9	51,8	58,3	64,8	68,0
46	41,4	35,9	33,1	44,2	49,7	55,2	58,0
40	36,0	31,2	28,8	38,4	43,2	48,0	50,4
36	32,4	28,1	25,9	34,6	38,9	43,2	45,4
33	29,7	25,8	23,8	31,7	35,6	39,6	41,6
30	27,0	23,4	21,6	28,8	32,4	36,0	37,8
27	24,3	21,1	19,4	25,9	29,2	32,4	34,0
26	23,4	20,3	18,7	25,0	28,1	31,2	32,8

NOTE 1: R<sub>u</sub> stands for the useful bit rate after MPEG-2 MUX. R<sub>s</sub> (symbol rate) corresponds to the -3dB bandwidth of the modulated signal.

NOTE 2: The figures of table C.1 correspond to an Eb/No degradation of 1,0 dB (with respect to AWGN channel) for the case of 0,35 roll-off and 2/3 code rate, including the effects of IMUX, OMUX and TWTA.

Y a continuación una tabla que indica la performance del sistema para un transpondedor de 33MHz:

Bit Rate R <sub>u</sub> (after MUX) [Mbit/s]	Bit Rate R' <sub>u</sub> (after RS) [Mbit/s]	Symbol Rate [Mbaud]	Convolut. Inner Code Rate	RS Outer Code Rate	C/N (33 MHz) [dB]
23,754	25,776	25,776	1/2	188/204	4,1
31,672	34,368	25,776	2/3	188/204	5,8
35,631	38,664	25,776	3/4	188/204	6,8
39,590	42,960	25,776	5/6	188/204	7,8
41,570	45,108	25,776	7/8	188/204	8,4

Aquí podemos ver el bit rate útil que tendremos en este transpondedor en función del convolution inner code rate que elijamos. La elección depende del compromiso entre qué bit rate queremos transmitir y qué C/N podemos proporcionar. Por ejemplo, si elegimos 7/8 tendremos 41,570 Mbps y necesitaremos un C/N de 8,4dB. En ese caso necesitamos una parábola mayor para tener mejor relación S/N o un LNB de menor ruido o un satélite más potente que cuando elegimos 1/2. Esto último es más robusto pero nos da un bit rate útil de casi la mitad, 23,754Mbps.

Las aplicaciones de broadcasting por satélite están enfocadas a parábolas receptoras pequeñas porque van en la casa del televidente. El tamaño importa por un tema de costos ya que los televidentes son numerosos. Y además porque si fuera mayor a 90 cm muchas veces se dificultaría la instalación en un hogar.

Por ello, en general se usa inner code rates de 1/2 o 2/3 y satélites con alta potencia.

Hasta aquí está descrita la modulación más popular para servicios de televisión por satélite. Prácticamente 100% de las aplicaciones utilizan DVB-S [2].

La norma DVB-DSNG EN 301 210 en 1997 estableció además del formato DVB-S, el uso de 8PSK y 16QAM para transmisión de noticias por satélite y contribución. Su última versión es de 1999 [4].

La última innovación en materia de modulación por satélite está incluida en la EN 302 307 [3] donde se utilizan nuevos métodos de modulación y se prevén nuevos servicios, por ejemplo servicios interactivos incluyendo acceso a Internet.

## ISDB-S

Sistema utilizado en Japón, donde si bien las primeras operaciones satelitales utilizaron DVB-S, el sistema no satisfizo a los operadores locales. Buscaron en un nuevo sistema capacidad HDTV, servicios interactivos, acceso de red, y utilización de frecuencia eficiente.

Sus características son:

Transmission channel coding	Modulation	TC8PSK,QPSK,BPSK (Hierarchical transmission)
	Error correction coding	Inner coding:Trellis [TC8PSK] and Convolution  Outer coding :RS(204,188);  TMCC:Convolution coding+RS
	Time domain multiplexing	TMCC
Conditional Access		Mutli-2
Data broadcasting		ARIB STD B-24(BML, ECMA script)
Service information		ARIB STD B-10
Multiplexing		MPEG-2 Systems
Audio coding		MPEG-2 Audio (AAC)



**Características de las distintas modulaciones empleadas en la TV digital**

Video coding	MPEG-2 Video
--------------	--------------

Method	BS digital broadcasting	Wide band CS digital broadcasting
Frequency band	11.7 to 12.2 GHz	12.2 to 12.75 GHz
Transmission bit rate	51 Mbit/s (TC8PSK)	40 Mbit/s (QPSK)
Transmission band width	34.5 MHz*	34.5 MHz

## Terrestre

En este punto hay más diversidad que en el anterior y se distinguen tres sistemas:

- Digital Video Broadcasting-Terrestrial (DVB-T) de Europa
- Advanced Television Systems Committee (ATSC) de Estados Unidos
- Integrated Services Digital Broadcasting-T (ISDB-T) de Japón

Entre ellos existen marcadas diferencias y una gran competencia comercial persiguiendo la adopción del estándar por terceros países.

### DVB-T

El estándar de televisión digital europeo transmite streams MPEG-2 utilizando modulación COFDM con detección y corrección de errores. Está definido en la norma ETSI EN 300 744 [5].

El sistema está previsto para convivir con las transmisiones de televisión analógica existentes en VHF y UHF, por lo que debe tener protección suficiente respecto a interferencia co-canal y a interferencia en canal adyacente que provenga de canales en los sistemas PAL/SECAM/NTSC. La norma especifica el uso de canales de 8, 7 y 6 MHz. Entre ellos cambia sólo un parámetro, el *período elemental T*.

Admite dos modos de funcionamiento 2K y 8K, diferentes modos de modulación QAM y de inner code rates. Al igual que en el caso de DVB-S, la elección del modo de funcionamiento surgirá de un compromiso entre el bit rate a transmitir y la robustez del sistema.

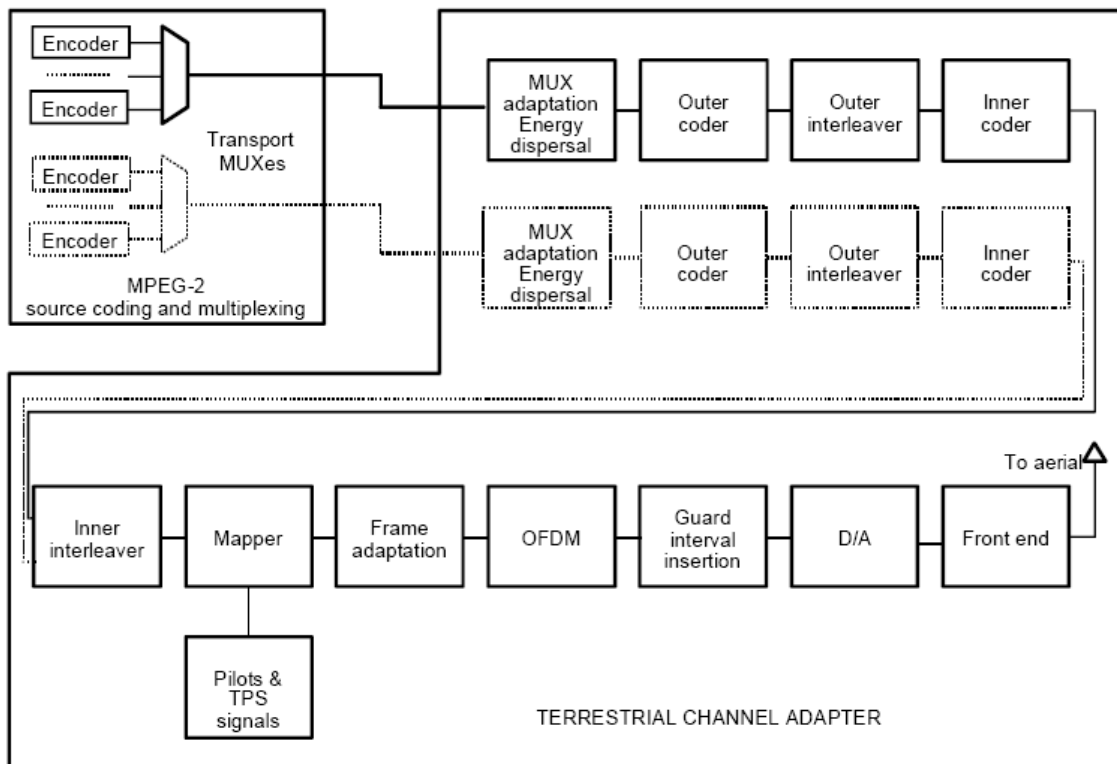
Se permite una modulación jerárquica en la que dos transport streams MPEG-2 son transmitidos. Uno de ellos es de baja prioridad y el otro es de alta.

De esta forma una señal televisiva puede ser transmitida simultáneamente en un modo de bajo bit rate con gran robustez, permitiendo recepción muy segura con un receptor más sencillo, y en un modo de alto bit rate, para receptores más sofisticados y permitiendo mejor calidad de imagen.

Un tercer modo (4K) es usado para DVB-T, transmisión para receptores móviles.

El procesamiento de las tramas MPEG-2 tiene elementos en común con DVB-S y en aras a la simplicidad y claridad destacaremos las diferencias respecto a ese sistema.

**Características de las distintas modulaciones empleadas en la TV digital**

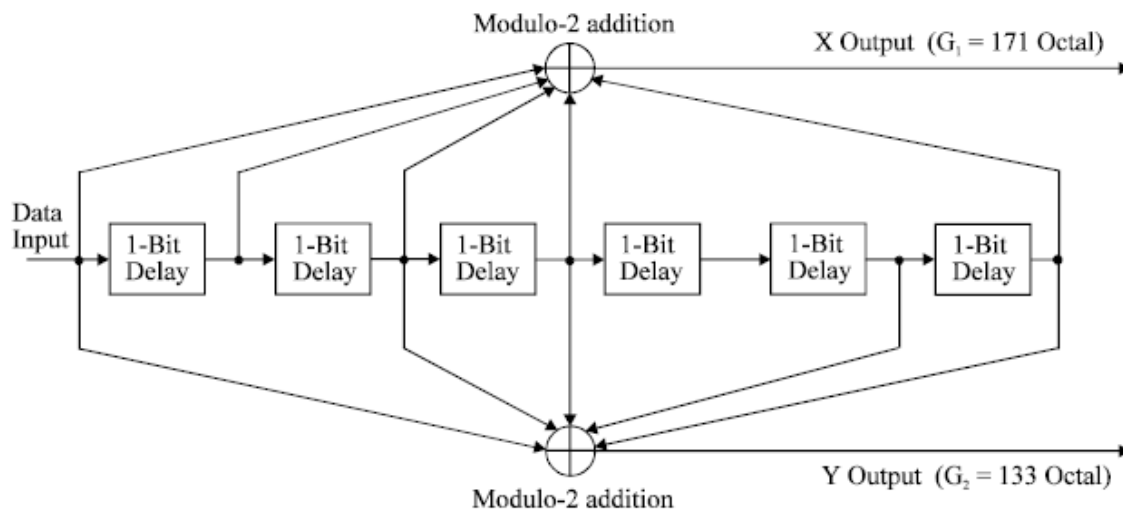


Las tres primeras etapas (MUX adaptation Energy dispersal, Outer coder, Outer interleaver) son idénticas a las correspondientes de DVB-S.

Inner coder

También se utiliza un codificador convolucional madre de 1/2 con 64 estados.

Nuevamente los polinomios generadores del código madre son  $G_1 = 171_{OCT}$  para la salida X y  $G_2 = 133_{OCT}$  para la salida Y.



Los valores aceptados son 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 y 7/8. Esto permitirá el nivel de corrección de error más apropiado para un servicio determinado o velocidad de datos.

Code Rates r	Puncturing pattern	Transmitted sequence (after parallel-to-serial conversion)
1/2	X: 1 Y: 1	$X_1 Y_1$
2/3	X: 1 0 Y: 1 1	$X_1 Y_1 Y_2$
3/4	X: 1 0 1 Y: 1 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 X_3$
5/6	X: 1 0 1 0 1 Y: 1 1 0 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 X_3 Y_4 X_5$
7/8	X: 1 0 0 0 1 0 1 Y: 1 1 1 1 0 1 0	$X_1 Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 X_5 Y_6 X_7$

### Inner Interleaver y Mapper

Consta de dos etapas *Bit wise Interleaving* y *Symbol Interleaver*. Los datos son reacomodados nuevamente para disminuir los *burst errors*. Su cometido básico es mapear su entrada a los símbolos de la modulación, sea ella QPSK, 16-QAM, o 64-QAM.

Es un proceso con variaciones según el tipo de modulación y si ésta es jerárquica o no. Se puede consultar la norma [5] para conocer los detalles.

A la salida de estas etapas se obtendrá lo que modulará cada portadora por símbolo OFDM. Los símbolos serán 1512 en el modo 2K o 6048 en el modo 8K.

Se agregan más adelante señales piloto y TPS (Transmission Parameters Signalling) para simplificar la recepción.

### Estructura de trama OFDM

La señal transmitida se organiza en tramas. Cada trama tiene una duración  $T_F$  y consiste de 68 símbolos OFDM. Cuatro tramas constituyen una super-trama. Cada símbolo está constituido por un conjunto de  $K=6817$  portadoras en el modo 8K, o  $K=1705$  portadoras en el modo 2K, y es transmitido con una duración  $T_S$ . Se compone de dos partes: una parte útil  $T_U$  y un intervalo de guarda de duración  $\Delta$ . El intervalo de guarda consiste en una continuación cíclica de la parte útil y se inserta previa a ella. Hay cuatro valores posibles para el intervalo de guarda que se verán más adelante.

A continuación veremos una serie de tablas con parámetros de modulación.

Para canales de 8 MHz:

Parameter	8K mode	2K mode
Number of carriers K	6 817	1 705
Value of carrier number $K_{min}$	0	0
Value of carrier number $K_{max}$	6 816	1 704
Duration $T_U$ (see note 2)	896 $\mu s$	224 $\mu s$
Carrier spacing $1/T_U$ (see notes 1 and 2)	1 116 Hz	4 464 Hz
Spacing between carriers $K_{min}$ and $K_{max}$ $(K-1)/T_U$ (see note 2)	7,61 MHz	7,61 MHz

Duración de la parte de símbolo para los intervalos de guarda permitidos en canales de 8MHz:

Mode	8K mode				2K mode			
	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Guard interval $\Delta / T_U$								
Duration of symbol part $T_U$	8 192 $\times T$ 896 $\mu s$ (see note)				2 048 $\times T$ 224 $\mu s$ (see note)			
Duration of guard interval $\Delta$	2 048 $\times T$ 224 $\mu s$	1 024 $\times T$ 112 $\mu s$	512 $\times T$ 56 $\mu s$	256 $\times T$ 28 $\mu s$	512 $\times T$ 56 $\mu s$	256 $\times T$ 28 $\mu s$	128 $\times T$ 14 $\mu s$	64 $\times T$ 7 $\mu s$
Symbol duration $T_S = \Delta + T_U$	10 240 $\times T$ 1 120 $\mu s$	9 216 $\times T$ 1 008 $\mu s$	8 704 $\times T$ 952 $\mu s$	8 448 $\times T$ 924 $\mu s$	2 560 $\times T$ 280 $\mu s$	2 304 $\times T$ 252 $\mu s$	2 176 $\times T$ 238 $\mu s$	2 112 $\times T$ 231 $\mu s$

**Características de las distintas modulaciones empleadas en la TV digital**

Obviaremos algunos elementos sobre identificación, sobre el intervalo de guarda y sobre corrección de errores, para simplificar esta explicación y llegar directamente a lo que más nos interesa, *el bit rate útil para distintas elecciones de los parámetros en canales de 8 MHz:*

Modulation	Code rate	Guard interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

Las mismas tablas para canales de 6 MHz:

Parameter	8K mode	2K mode
Number of carriers K	6 817	1 705
Value of carrier number $K_{min}$	0	0
Value of carrier number $K_{max}$	6 816	1 704
Duration $T_U$	1 194,667 $\mu s$	298,6667 $\mu s$
Carrier spacing $1/T_U$	0,837054 kHz	3,348214 kHz
Spacing between carriers $K_{min}$ and $K_{max}$ : $(K-1)/T_U$	5,71 MHz	5,71 MHz

Mode	8K mode				2K mode			
	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Guard interval $\Delta / T_U$								
Duration of symbol part $T_U$	8 192 $\times T$ 1 194,667 $\mu s$				2 048 $\times T$ 298,667 $\mu s$			
Duration of guard interval $\Delta$	2 048 $\times T$ 298,667 $\mu s$	1 024 $\times T$ 149,333 $\mu s$	512 $\times T$ 74,667 $\mu s$	256 $\times T$ 37,333 $\mu s$	512 $\times T$ 74,667 $\mu s$	256 $\times T$ 37,333 $\mu s$	128 $\times T$ 18,667 $\mu s$	64 $\times T$ 9,333 $\mu s$
Symbol duration $T_S = \Delta + T_U$	10 240 $\times T$ 1 493,3 $\mu s$	9 216 $\times T$ 1 344 $\mu s$	8 704 $\times T$ 1 269,3 $\mu s$	8 448 $\times T$ 1 232 $\mu s$	2 560 $\times T$ 373,3 $\mu s$	2 304 $\times T$ 336 $\mu s$	2 176 $\times T$ 317,3 $\mu s$	2 112 $\times T$ 308 $\mu s$

Modulation	Code rate	Guard interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	3,732	4,147	4,391	4,524
	2/3	4,976	5,529	5,855	6,032
	3/4	5,599	6,221	6,587	6,786
	5/6	6,221	6,912	7,318	7,540
	7/8	6,532	7,257	7,684	7,917
16-QAM	1/2	7,465	8,294	8,782	9,048
	2/3	9,953	11,059	11,709	12,064
	3/4	11,197	12,441	13,173	13,572
	5/6	12,441	13,824	14,637	15,080
	7/8	13,063	14,515	15,369	15,834
64-QAM	1/2	11,197	12,441	13,173	13,572
	2/3	14,929	16,588	17,564	18,096
	3/4	16,796	18,662	19,760	20,358
	5/6	18,662	20,735	21,955	22,620
	7/8	19,595	21,772	23,053	23,751

En particular notemos que permite bit rates del orden de 20Mbps en determinados modos, lo que habilita a transmitir señales de alta definición.

Y para canales de 7 MHz:

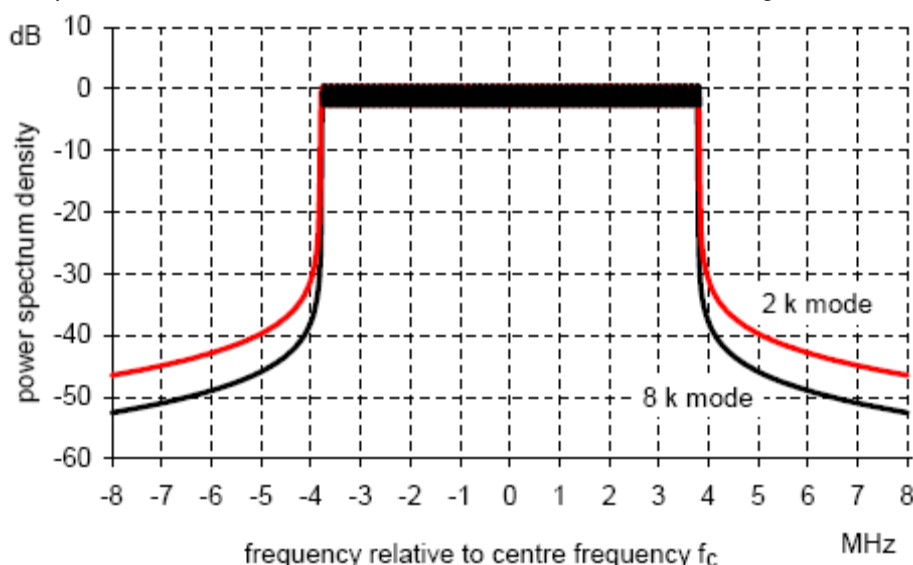
**Características de las distintas modulaciones empleadas en la TV digital**

Parameter	8K mode	2K mode
Number of carriers K	6 817	1 705
Value of carrier number $K_{min}$	0	0
Value of carrier number $K_{max}$	6 816	1 704
Duration $T_U$	1 024 $\mu$ s	256 $\mu$ s
Carrier spacing $1/T_U$	0,976563 kHz	3,90625 kHz
Spacing between carriers $K_{min}$ and $K_{max}$ : $(K-1)/T_U$	6,66 MHz	6,66 MHz

Mode	8K mode				2K mode			
Guard interval $\Delta / T_U$	1/4	1/8	1/16	1/32	1/4	1/8	1/16	1/32
Duration of symbol part $T_U$	8 192 $\times T$ 1 024 $\mu$ s				2 048 $\times T$ 256 $\mu$ s			
Duration of guard interval $\Delta$	2 048 $\times T$ 256 $\mu$ s	1 024 $\times T$ 128 $\mu$ s	512 $\times T$ 64 $\mu$ s	256 $\times T$ 32 $\mu$ s	512 $\times T$ 64 $\mu$ s	256 $\times T$ 32 $\mu$ s	128 $\times T$ 16 $\mu$ s	64 $\times T$ 8 $\mu$ s
Symbol duration $T_S = \Delta + T_U$	10 240 $\times T$ 1 280 $\mu$ s	9 216 $\times T$ 1 152 $\mu$ s	8 704 $\times T$ 1 088 $\mu$ s	8 448 $\times T$ 1 056 $\mu$ s	2 560 $\times T$ 320 $\mu$ s	2 304 $\times T$ 288 $\mu$ s	2 176 $\times T$ 272 $\mu$ s	2 112 $\times T$ 264 $\mu$ s

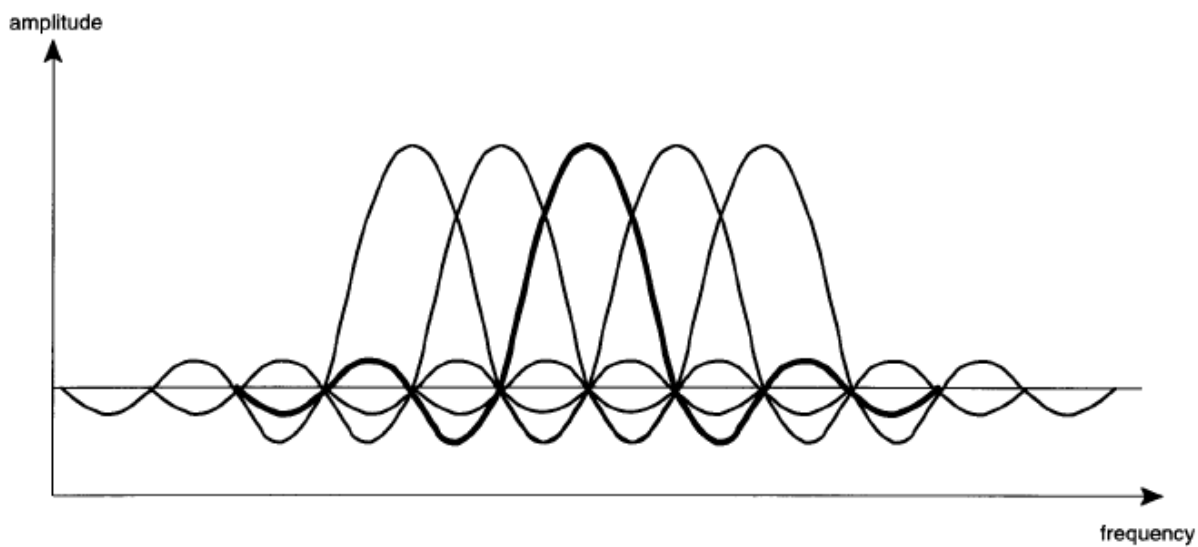
Modulation	Code rate	Guard interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,354	4,838	5,123	5,278
	2/3	5,806	6,451	6,830	7,037
	3/4	6,532	7,257	7,684	7,917
	5/6	7,257	8,064	8,538	8,797
	7/8	7,620	8,467	8,965	9,237
16-QAM	1/2	8,709	9,676	10,246	10,556
	2/3	11,612	12,902	13,661	14,075
	3/4	13,063	14,515	15,369	15,834
	5/6	14,515	16,127	17,076	17,594
	7/8	15,240	16,934	17,930	18,473
64-QAM	1/2	13,063	14,515	15,369	15,834
	2/3	17,418	19,353	20,491	21,112
	3/4	19,595	21,772	23,053	23,751
	5/6	21,772	24,191	25,614	26,390
	7/8	22,861	25,401	26,895	27,710

El espectro resultante en un canal de 8 MHz con un intervalo de guarda 1/4 es:



Donde vemos que hay un uso eficiente del espectro, teniendo todo el ancho de banda la misma densidad espectral de potencia. La potencia transmitida cae marcadamente fuera del canal y puede ser filtrada para minimizar interferencia a canales adyacentes.

Incluimos las siguientes figuras del trabajo de Maddocks [6] para aclarar aspectos de la modulación COFDM.



*Fig. 7 - Carriers with orthogonal frequency spacing.*

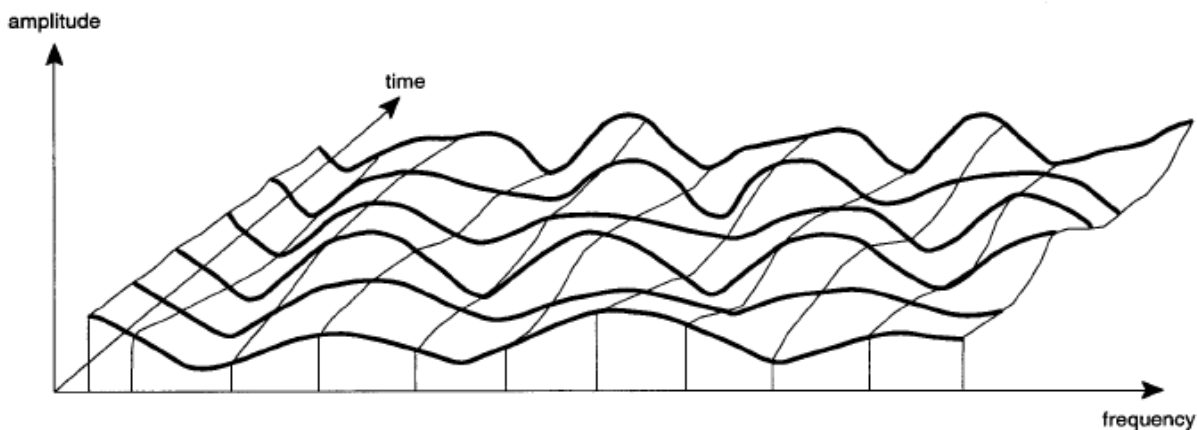


Fig. 10 - Multipath channel response.

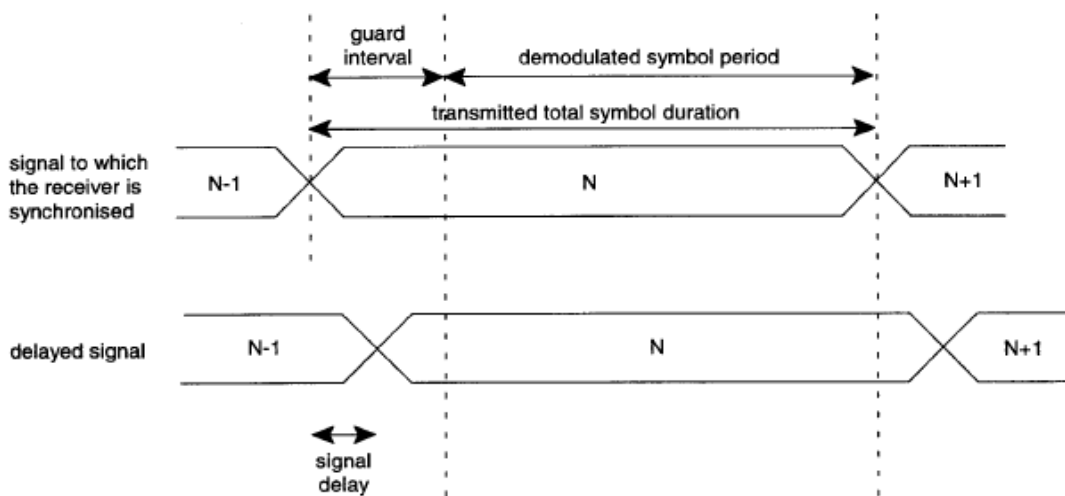


Fig. 11 - Multipath with a delay of less than the guard interval.

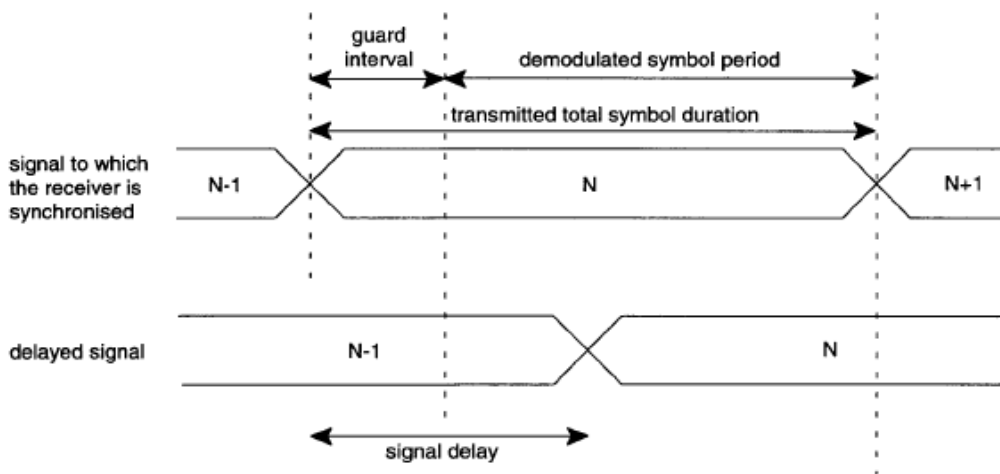


Fig. 12 - Multipath delay exceeding the guard interval.



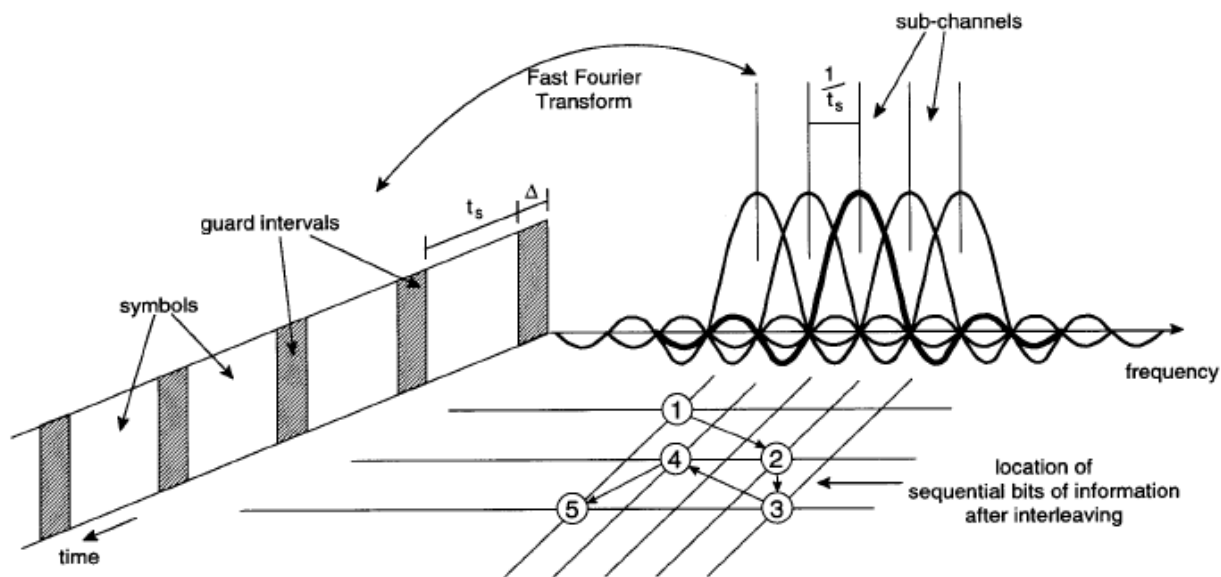
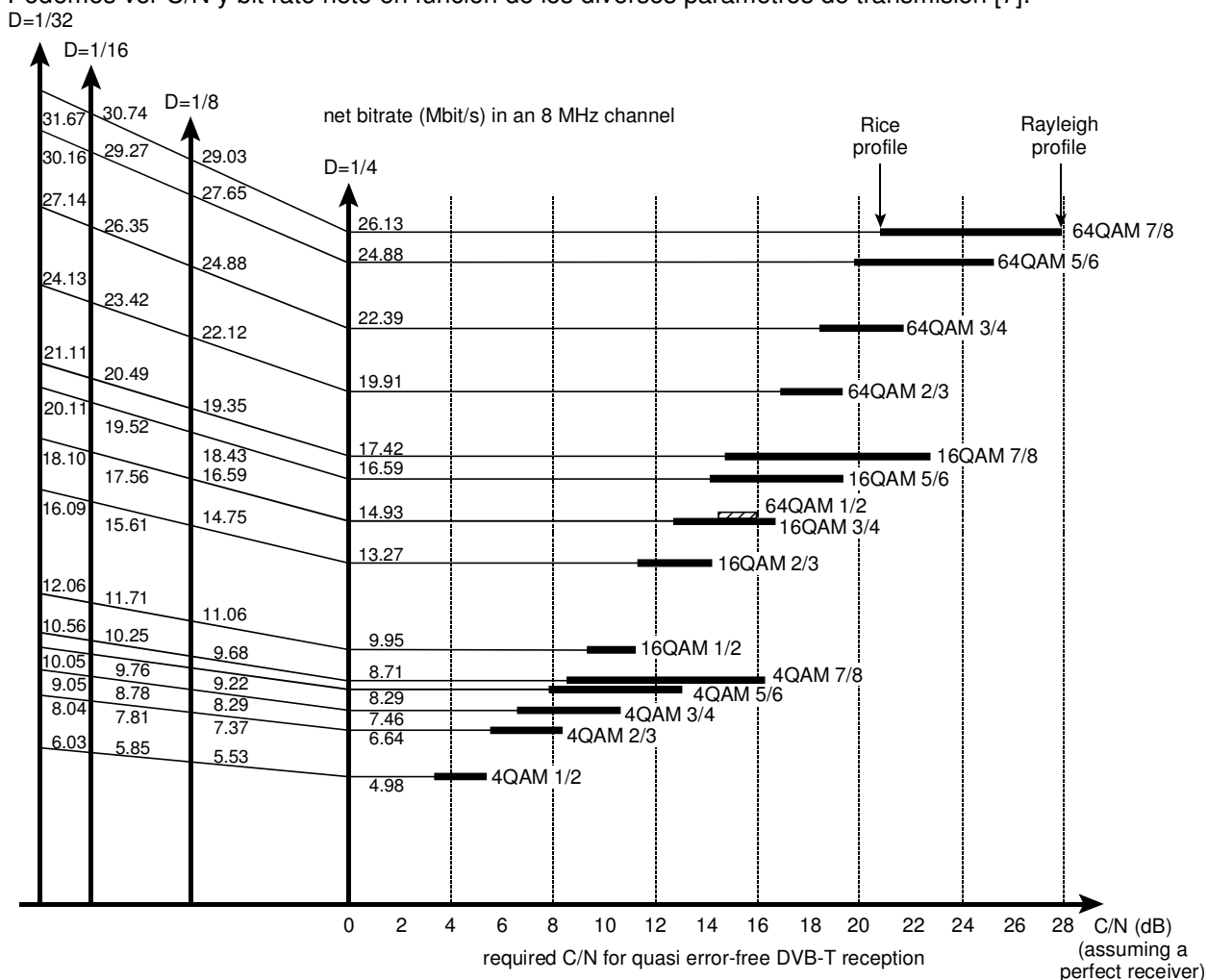


Fig. 13 - Spectral and temporal representation of a COFDM signal

Podemos ver C/N y bit rate neto en función de los diversos parámetros de transmisión [7]:



Se constata por múltiples fuentes que el sistema DVB-T cumple una serie de **características** sumamente positivas, gracias a la modulación COFDM, modulación con múltiples portadoras y con *forward error correction*.

Estas características son:

- **Tolerancia a interferencia multicamino** (el popular “fantasma” de la televisión analógica). Debido a la existencia de múltiples portadoras, la interferencia por multipath no es igual sobre todas ellas, permitiendo obtener la señal original utilizando la corrección de errores.
- **Recepción en dispositivos móviles**. Se han hecho pruebas de DVB-T en receptores móviles a velocidades de hasta 200 km/h [8] y [12].
- **Recepción en interiores**. [9]
- **Tolerancia a interferencias co-canal**. Permite realizar redes de una sola frecuencia (SFN). [9]
- **Tolerancia a interferencias de canales adyacentes**. [9]
- **Modulación jerárquica**, permitiendo transmisión simultánea del mismo programa con alta y baja resolución con más facilidad de recepción en el último caso, con tan solo un pequeño freeze al pasar de uno a otro. Para una explicación detallada de la modulación jerárquica ver el artículo de Nokes y Mitchell [10].
- **Posibilidad de realizar Single Frequency Networks** [11]

## ATSC

El ATSC (Advanced Television System Committee) es el sistema de televisión digital estadounidense que ha sido adoptado también por Canadá, México y Corea del Sur, estando en consideración en otros varios países.

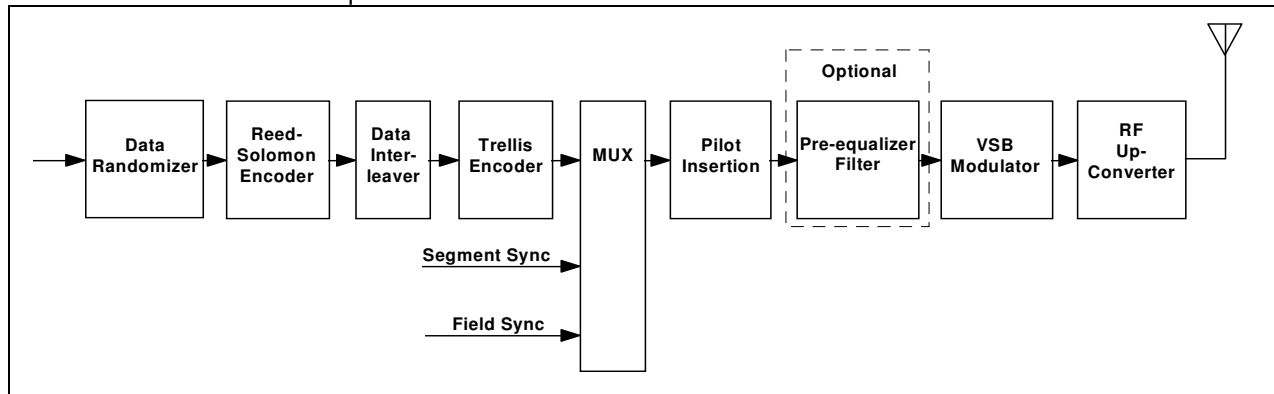
Al igual que el DVB-T transmite paquetes MPEG-2, pero tiene una codificación y modulación totalmente distintas.

Utiliza para transmisión de televisión digital terrestre la modulación 8-VSB en un canal de 6 MHz y permite transmitir 19,39 Mbps en ese ancho de banda. También tiene un modo de “high data rate” utilizado en CATV donde se modula en 16-VSB y se obtienen 38,78 Mbps. Una performance mayor que DVB-T pero con otra serie de desventajas que se describirán más adelante.

El sistema ha sido criticado como complicado y caro de implementar y usar.

El estándar está definido en una serie de documentos y en particular las características del sistema de transmisión de radiofrecuencia se encuentran en el A53 “ATSC Digital Television Standard” (16 Set 1995) [13].

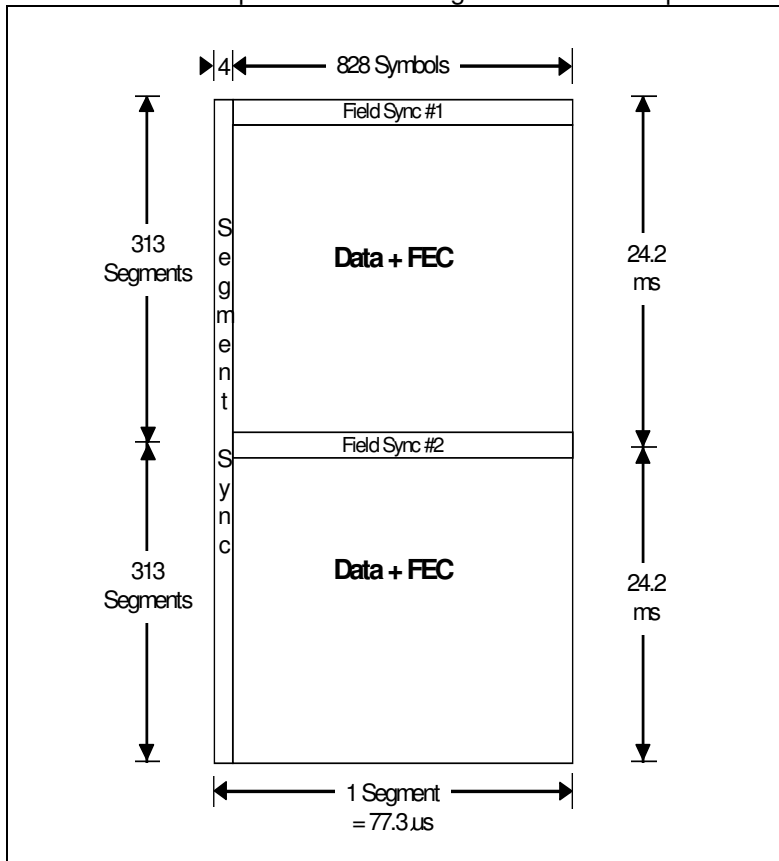
El modo de televisión terrestre (8-VSB) soporta una carga útil de 19.28...Mbps en un canal de 6 MHz. A continuación el esquema de un transmisor VSB:



La entrada al transmisor es un multiplex MPEG-2 de 19.39... Mbps de paquetes de 188 bytes incluyendo un byte de sincronismo. Son 187 bytes de datos que representan 19.28...Mbps de carga útil.

La carga útil es aleatorizada y luego procesada para forward error correction (FEC) en la forma de codificación Reed Solomon (RS) (20 bytes de paridad RS se agregan a cada paquete), 1/6 data field interleaving, y rango de codificación trellis de 2/3. La aleatorización y proceso FEC no se aplica al sync byte que está presente en transmisión en el Data Segment Sync que se describe adelante. Luego los paquetes de datos son formateados en Data Frames para transmisión y se agregan Data Segment Sync y Data Field Sync.

A continuación se aprecia cómo se organizan los datos para transmisión:



Cada Data Frame consiste en dos Data Fields, cada uno de 313 Data Segments. El primer Data Segment de cada Data Field es una señal de sincronización (Data Field Sync). Incluye la secuencia de entrenamiento usada por el ecualizador en el receptor.

Cada uno de los otros 312 Data Segments transmite la información de un paquete MPEG-2 de 188 bytes más el overhead proveniente de su correspondiente FEC.

Debido al interleaving los datos en un segmento provienen en realidad de varios paquetes de 188 bytes.

Cada Data Segment consta de 832 símbolos. Los primeros 4 símbolos se transmiten de forma binaria y proveen sincronización de segmento. Los otros 828 símbolos se transmiten en 8 niveles y en consecuencia transmiten 3 bits por símbolo.

Así en cada segmento se transmiten  $828 \times 3 = 2484$  bits que es exactamente lo que se precisa para transmitir un paquete de transporte protegido:

$$187 \text{ data bytes} + 20 \text{ RS parity bytes} = 207 \text{ bytes}$$

$$207 \text{ bytes} \times 8 \text{ bits/byte} = 1656 \text{ bits}$$

$$2/3 \text{ rate trellis coding requiere } 3/2 \times 1656 \text{ bits} = 2484 \text{ bits.}$$

El symbol rate está dado por:

$$(1) \quad S_r \text{ (MHz)} = 4.5/286 \times 684 = 10.76... \text{ MHz}$$

La frecuencia de Data Segment es:

$$(2) \quad f_{\text{seg}} = S_r / 832 = 12.94... \times 103 \text{ Data Segments/s.}$$

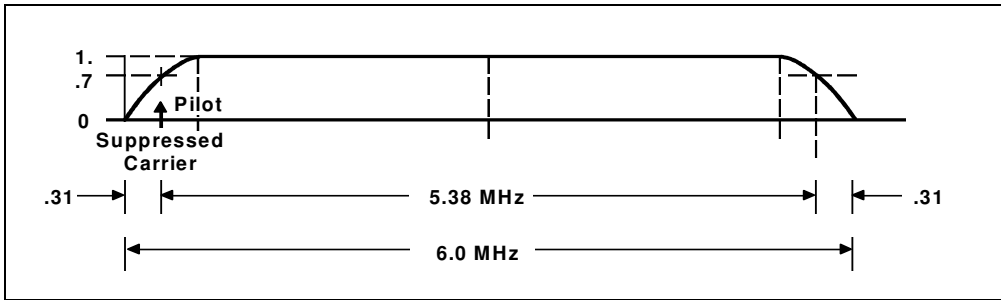
El Data Frame rate es:

$$(3) \quad f_{\text{frame}} = f_{\text{seg}}/626 = 20.66 \dots \text{ frames/s.}$$

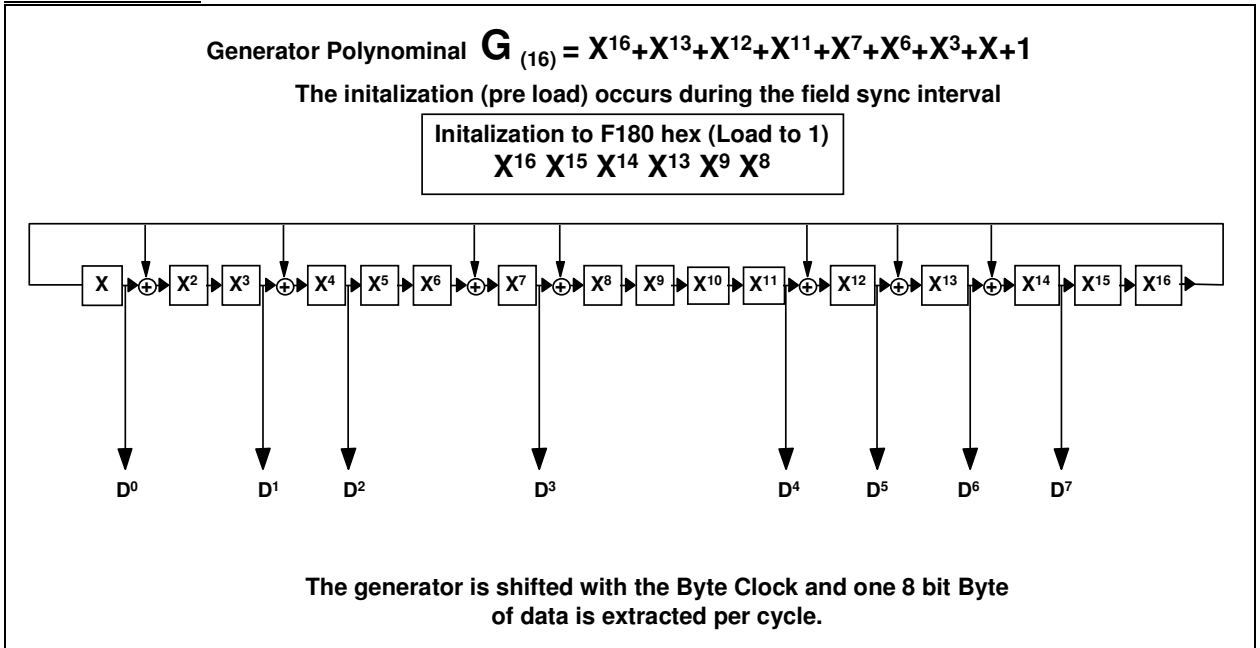
Los símbolos de 8 niveles combinados con los Data Segment Sync y Data Field Sync binarios modulan una portadora única de una forma "portadora suprimida".

## Características de las distintas modulaciones empleadas en la TV digital

La mayor parte de la banda inferior será suprimida antes de la transmisión y el espectro de la señal transmitida tendrá estas características:



## Data randomizer



## Reed Solomon Encoder

El código RS usado en VSB es  $t = 10$  (207,187)

$$\prod_{i=0}^{2t-1} (X + \alpha^i) = X^{20} + X^{19}\alpha^{17} + X^{18}\alpha^{60} + X^{17}\alpha^{79} + X^{16}\alpha^{50} + X^{15}\alpha^{61} + X^{14}\alpha^{163} + X^{13}\alpha^{26} + X^{12}\alpha^{187} + X^{11}\alpha^{202} + X^{10}\alpha^{180} + X^9\alpha^{221} + X^8\alpha^{225} + X^7\alpha^{83} + X^6\alpha^{239} + X^5\alpha^{156} + X^4\alpha^{164} + X^3\alpha^{212} + X^2\alpha^{212} + X^1\alpha^{188} + \alpha^{190}$$

$$= X^{20} + 152X^{19} + 185X^{18} + 240X^{17} + 5X^{16} + 111X^{15} + 99X^{14} + 6X^{13} + 220X^{12} + 112X^{11} + 150X^{10} + 69X^9 + 36X^8 + 187X^7 + 22X^6 + 228X^5 + 198X^4 + 121X^3 + 121X^2 + 165X + 174$$

Connect for first (k) Bytes  
Open for last (N-k) Bytes

⊕ Mod(256) add two field elements (Bytes)  
⊗ Mod(256) multiply a field element with a fixed element  $\alpha$   
▭ Store one element (Byte)

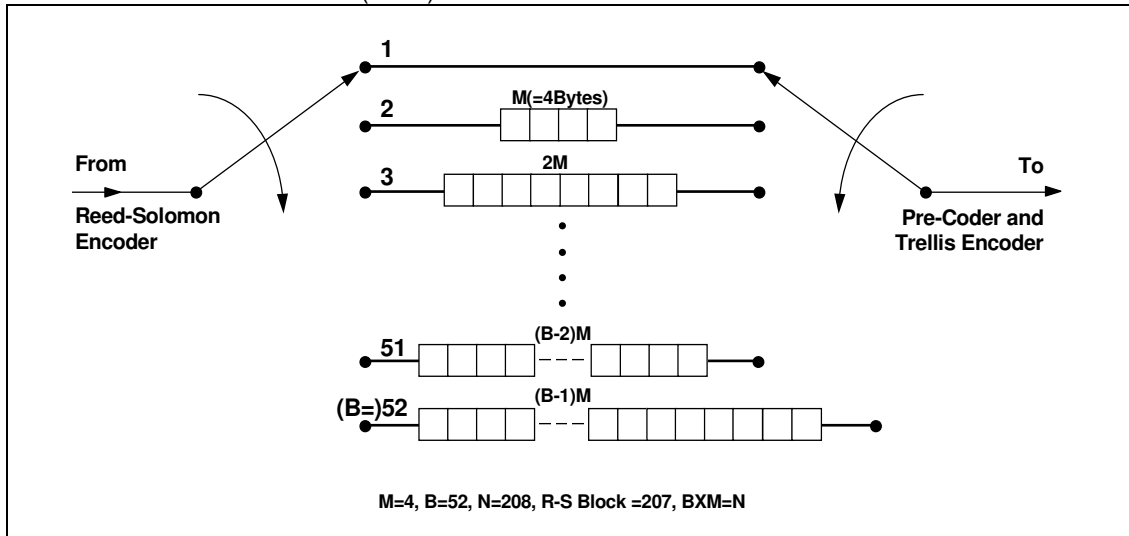
Connect A for first (k) Bytes  
Connect B for last (N-k) Bytes

Primitive Field Generator Polynomial (Galois Field)  
 $G(256) = X^8 + X^4 + X^3 + X^2 + 1$

Each shift of the generator produces a field element

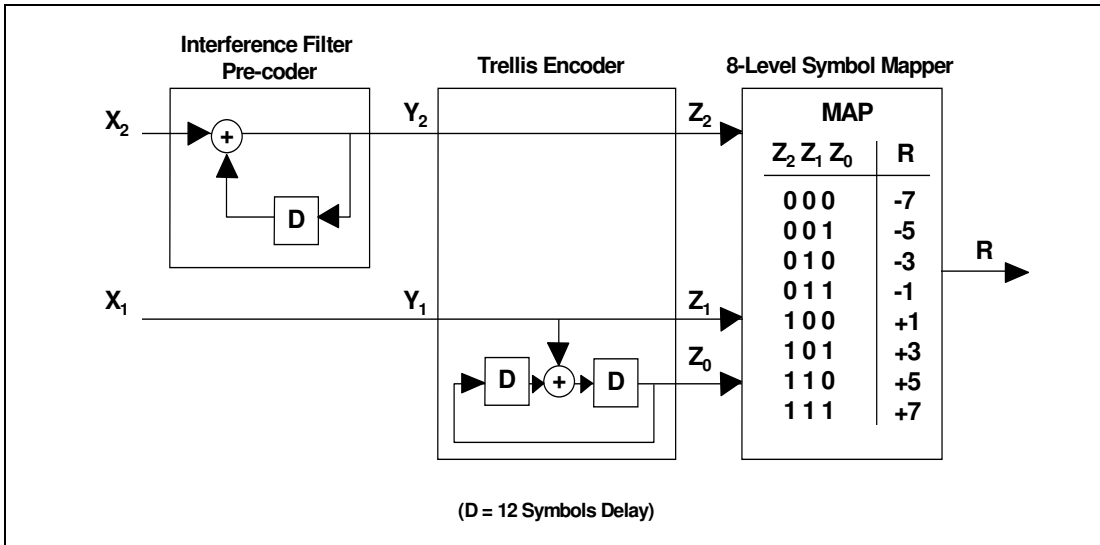
Interleaving

El interleaver de convolución es de 52 data segments. Se realiza con una profundidad de alrededor de 1/6 de data field (4 ms).

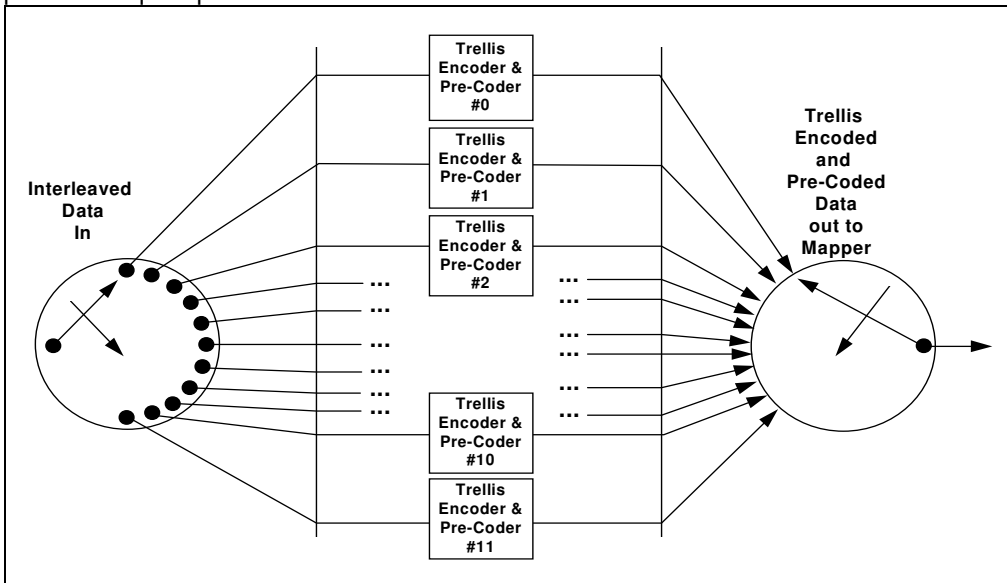


Codificación Trellis

Utiliza un código Trellis de 2/3 (R=2/3).



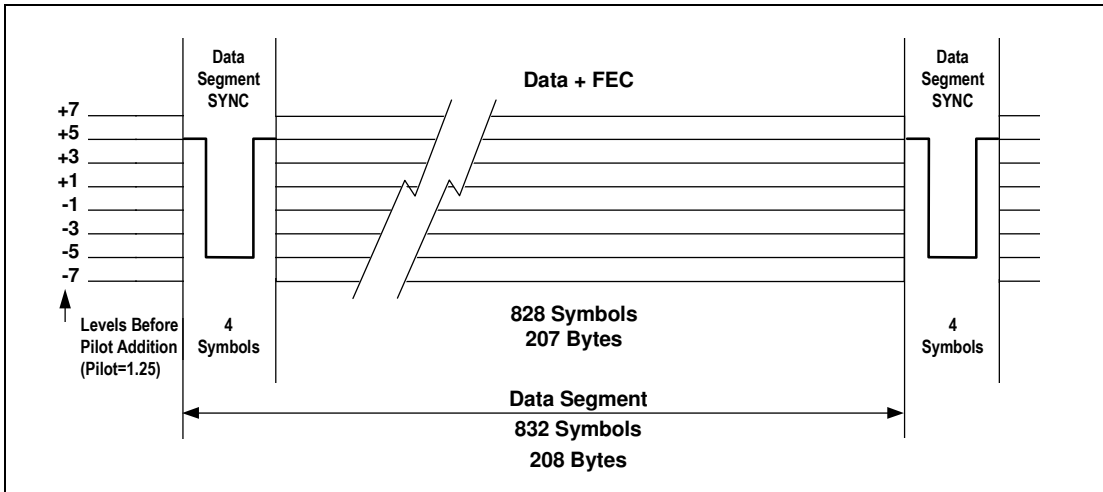
Hay un Interleaving intrasegmento en la codificación Trellis. Utiliza doce codificadores Trellis y precoders que operan en datasiimbolos interlaceados.



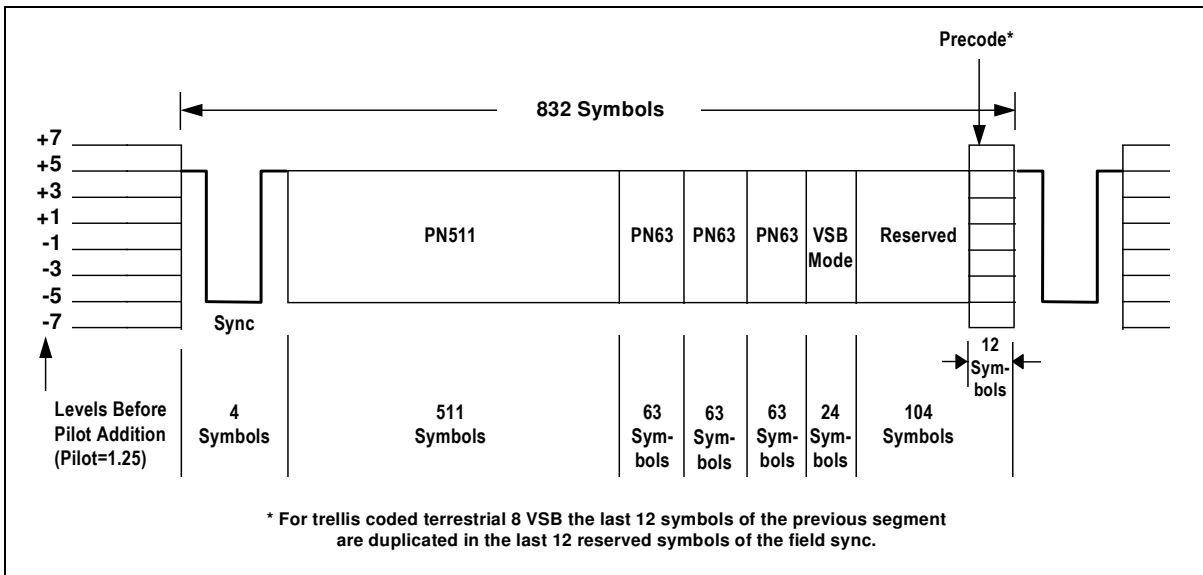
Actúa según la siguiente secuencia de interleaving:

Segment	Block 0	Block 1	...	Block 68
0	D0 D1 D2 ... D11	D0 D1 D2 ... D11	...	D0 D1 D2 ... D11
1	D4 D5 D6 ... D3	D4 D5 D6 ... D3	...	D4 D5 D6 ... D3
2	D8 D9 D10 ... D7	D8 D9 D10 ... D7	...	D8 D9 D10 ... D7

Data segment



Data Field Sync



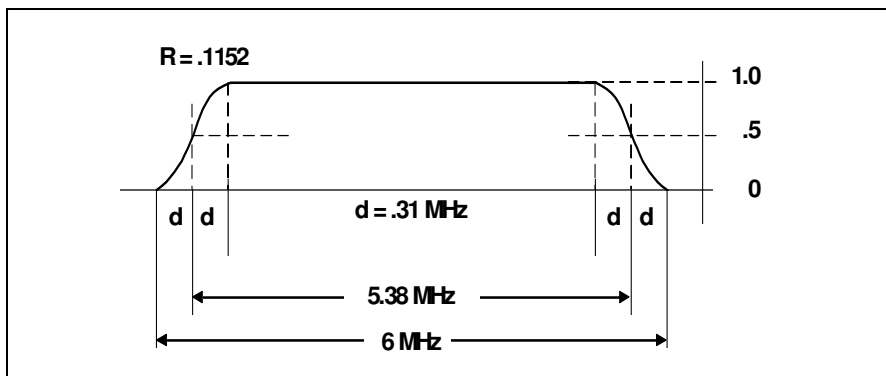
Los distintos campos están definidos en el documento [13] y sirven para sincronización, corrección de errores, y definición de modos de transmisión.

Modulación

A la señal de ocho niveles resultantes del mapeo bit a símbolo, se le suma un valor de 1,25 a efectos de crear una pequeña portadora piloto.

El piloto es de la misma frecuencia que la portadora suprimida. La potencia de la portadora piloto está 11,3 dB por debajo de la potencia promedio de la señal.

El modulador VSB recibe 10,76 Msímbolos/s. Los filtros son como se muestra en la siguiente figura:



## ISDB-T

El sistema japonés no ha sido adoptado en el resto del mundo aunque está siendo considerado seriamente por Brasil, lo que podría tener consecuencias en el resto de Latinoamérica.

Al ser un sistema menos divulgado daremos un resumen de sus características:

Transmisión channel coding	Modulation	64QAM-OFDM,  16QAM-OFDM, QPSK-OFDM, DQPSK-OFDM  (Hierarchical transmission)
	Error correction coding	Inner coding,  Convolution 7/8,3/4,2/3,1/2  Outer coding :RS(204,188)
	Guard interval	1/16,1/8,1/4
	Interleaving	Time, Frequency, bit, byte
	Frequency domain multiplexing	BST-OFDM (Segmented structure OFDM)
Conditional Access	Mutli-2	
Data broadcasting	ARIB STD B-24(BML, ECMA script)	
Service information	ARIB STD B-10	
Multiplexing	MPEG-2 Systems	
Audio coding	MPEG-2 Audio (AAC)	
Video coding	MPEG-2 Video	MPEG-4 AVC /H.264

Method	terrestrial digital broadcasting
Frequency band	VHF/UHF, Super high band
Transmisión bit rate	19 Mbit/s(64QAM)
Transmission band width	5.6 MHz



## COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MODULACIÓN TDT

Una comparación interesante de los sistemas puede encontrarse en el informe del comité evaluador de televisión digital en Singapur [14]. Un resumen de lo que nos interesa en temas de modulación está en la siguiente tabla:

No.	Criteria	ATSC	DVB	ISDB
1	Characteristics of Transmitted Signals			
a	Robustness of signal	1	3	2
	Immunity to Electrical Interference Effective Coverage Efficiency of Transmitted Signal Receivable using Indoor Antenna Adjacent Channel Performance Co-channel Performance			
b	Resilience to distortions	3	2	1
	Resilience to multipath distortions Mobile reception Portable reception			
c	Single Frequency Network Performance	3	1	1

Siendo 1, 2 y 3 performances relativas. 1 significa mejor performance.

7	Spectrum Efficiency	3	2	1
	Usage of 'Taboo'/Adjacent Channels Sharing of Channel Bandwidth by Multiple Programs Low Protection Ratio			

ATSC sólo prevé ancho de banda de 6 MHz e ISDB de 5,6 MHz.

Otra comparación de referencia es la efectuada por el panel de expertos que finalmente recomendó DVB en Australia [15].

Se constató ventaja de cobertura de ATSC utilizando antenas exteriores pero inferior performance cuando hay recepción con antena interior debido a los multicaminos y reflexiones de la señal.

Se constató que sólo DVB proporciona recepción en móviles.

Las interferencias co-canal y de canal adyacente son satisfactorias en ambos sistemas. DVB provee mejor performance en *multipath*. (ATSC posteriormente mejoró su sistema permitiendo un modo más robusto pero disminuyendo el bitrate; incluye ecualizadores, encareciendo la recepción).

ATSC es más inmune a ruido impulsivo.

DVB puede transmitir más fácilmente con un canal PAL de 7 MHz adyacente.

DVB tiene facilidades para realizar redes de un solo canal.

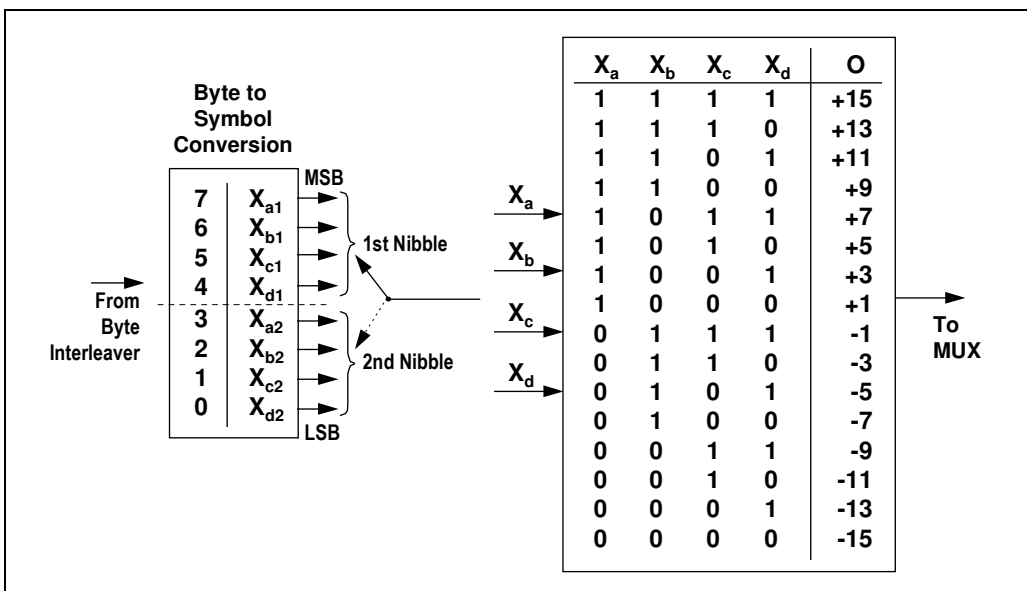
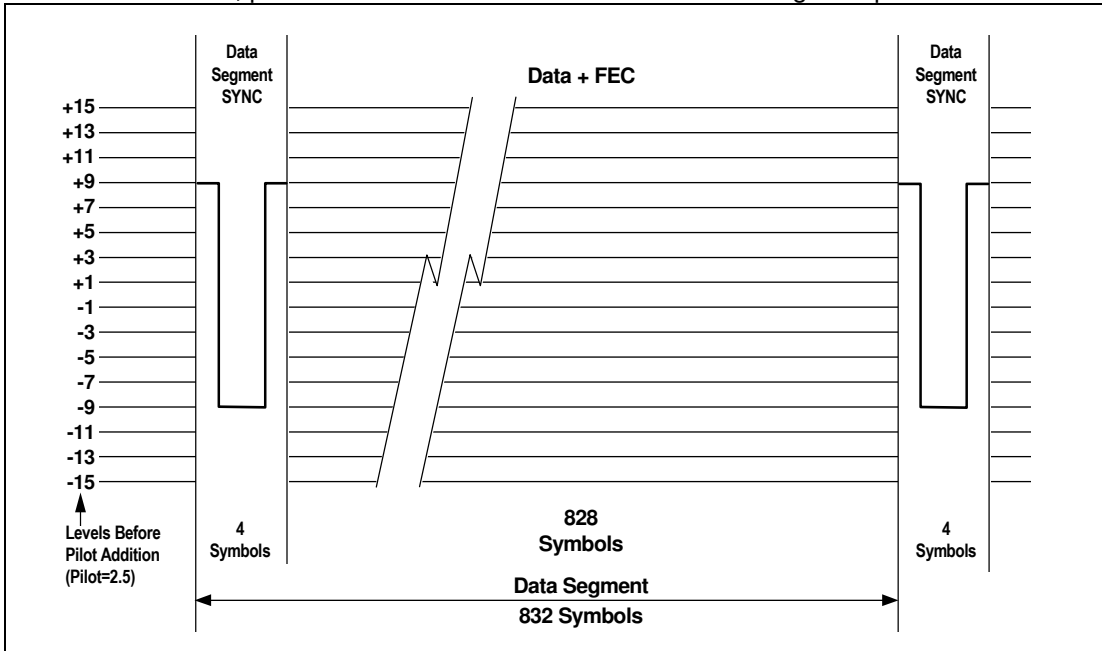
Ambos sistemas pueden utilizar las plantas transmisoras existentes.

## Cable

### ATSC

El sistema estadounidense prevé la modulación 16-VSB para su estándar de transmisión de televisión por cable.

Es esencialmente igual a 8-VSB con la diferencia de que al ser un medio que garantiza mejor relación señal ruido, pueden enviarse 16 niveles. Con ello se consigue duplicar la tasa de bits.



El interleaving es levemente distinto siendo una convolución de 26 data segments. Se provee con una profundidad de 1/12 de data field (2 ms).

La modulación es análoga a la de 8-VSB pero con los 16 niveles y con una portadora piloto de 2,5, que resulta también en 11,3 dB por debajo de la potencia promedio de la señal.

## **DVB-C**

El estándar europeo para transmisión por cable es por lejos el más difundido a nivel mundial y está definido en la norma EN 300 429 V1.2.1 (1998-04) [16]. Utiliza modulación QAM 16, 32, 64, 128 o 256.

A continuación un diagrama de bloques del sistema en el head-end y en recepción.

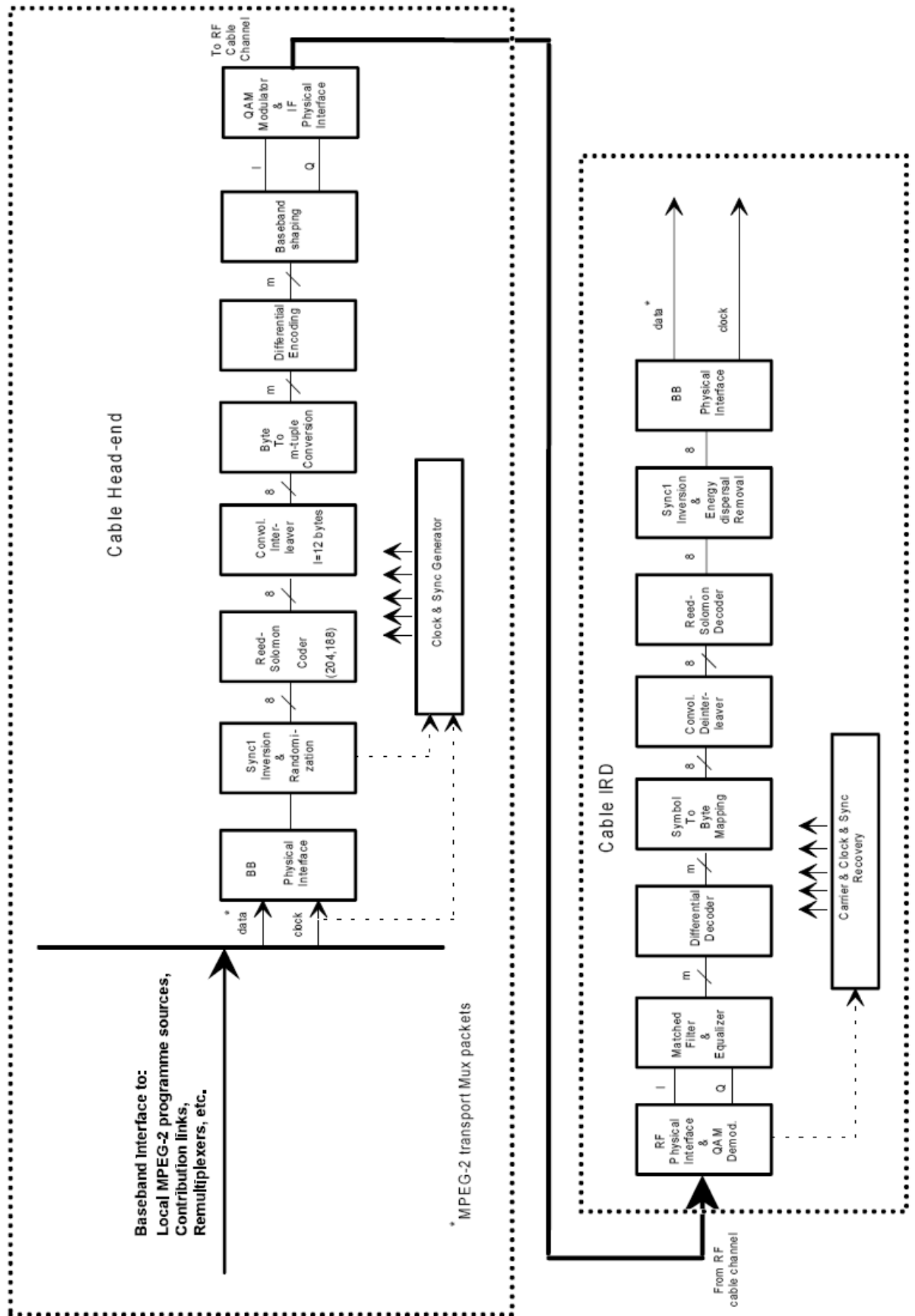
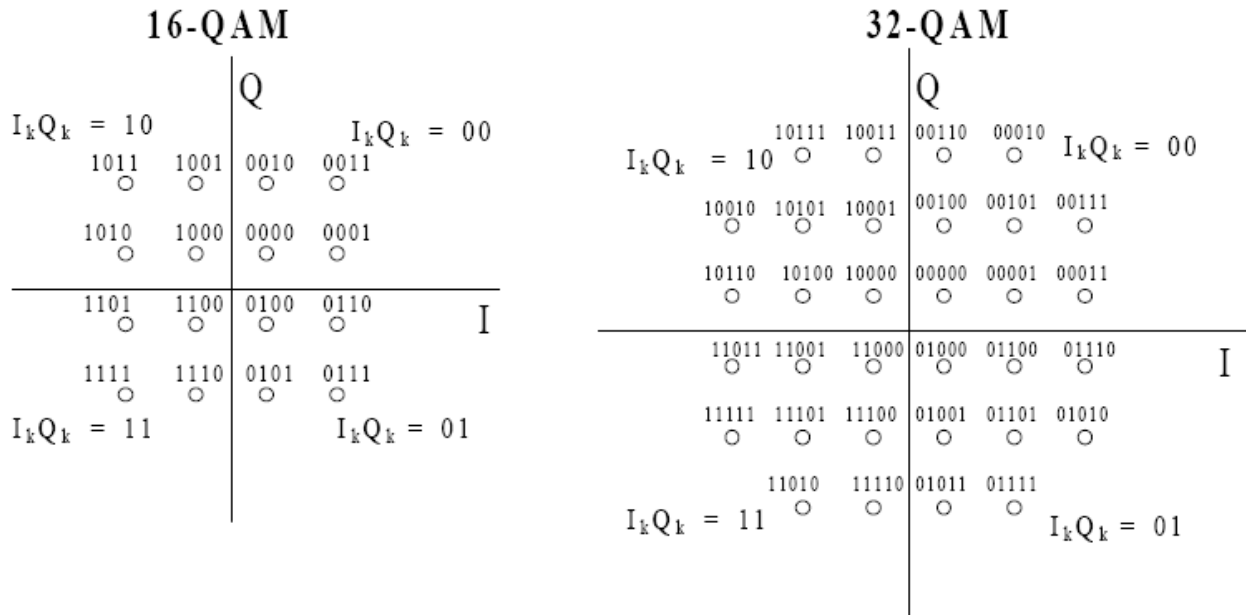
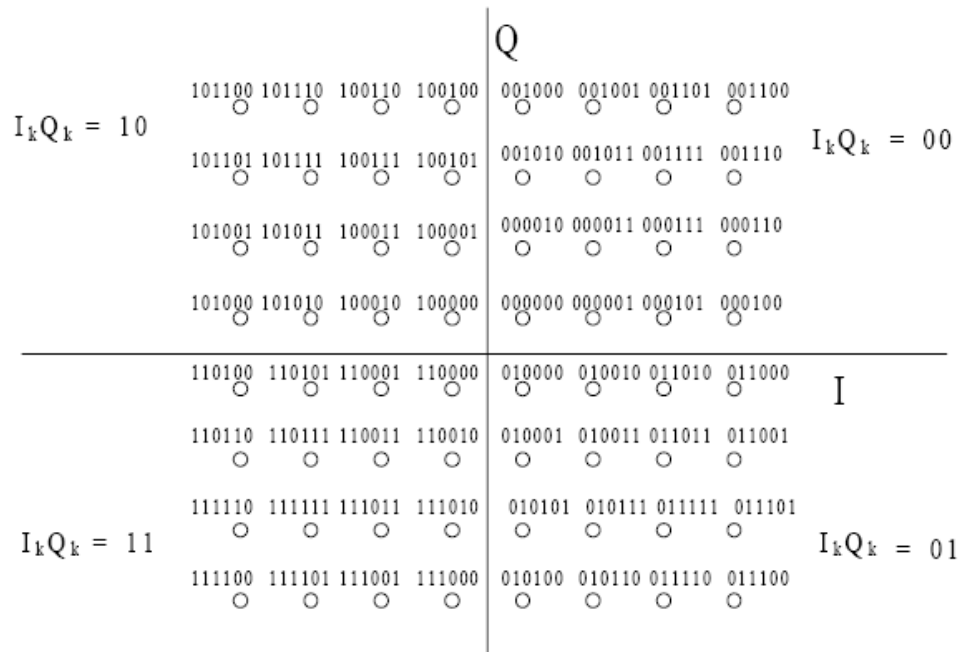


Figure 1: Conceptual block diagram of elements at the cable head-end and receiving site

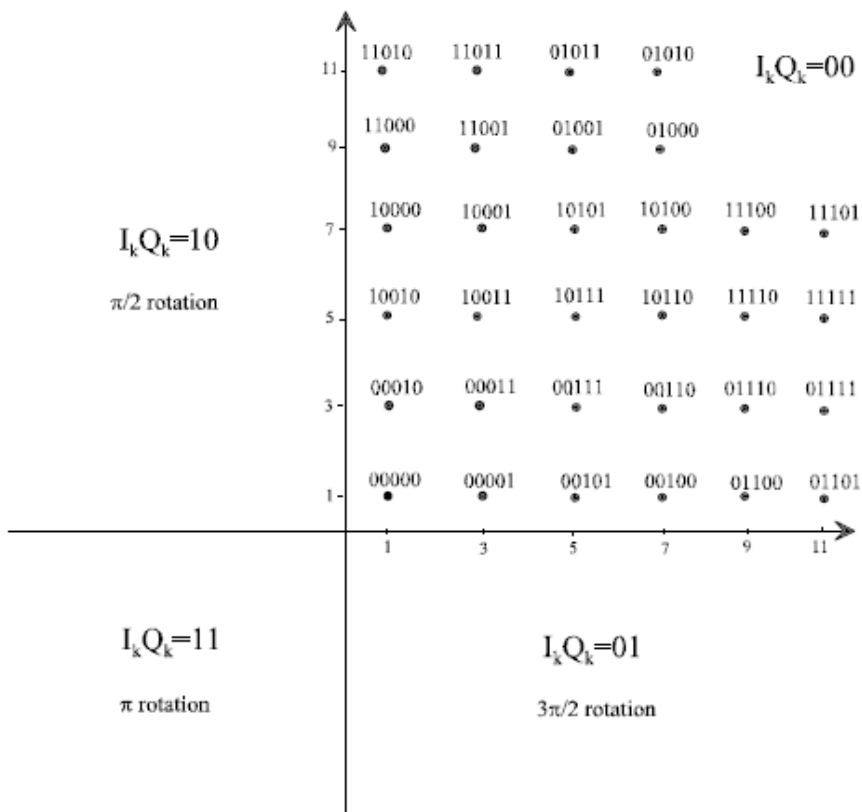




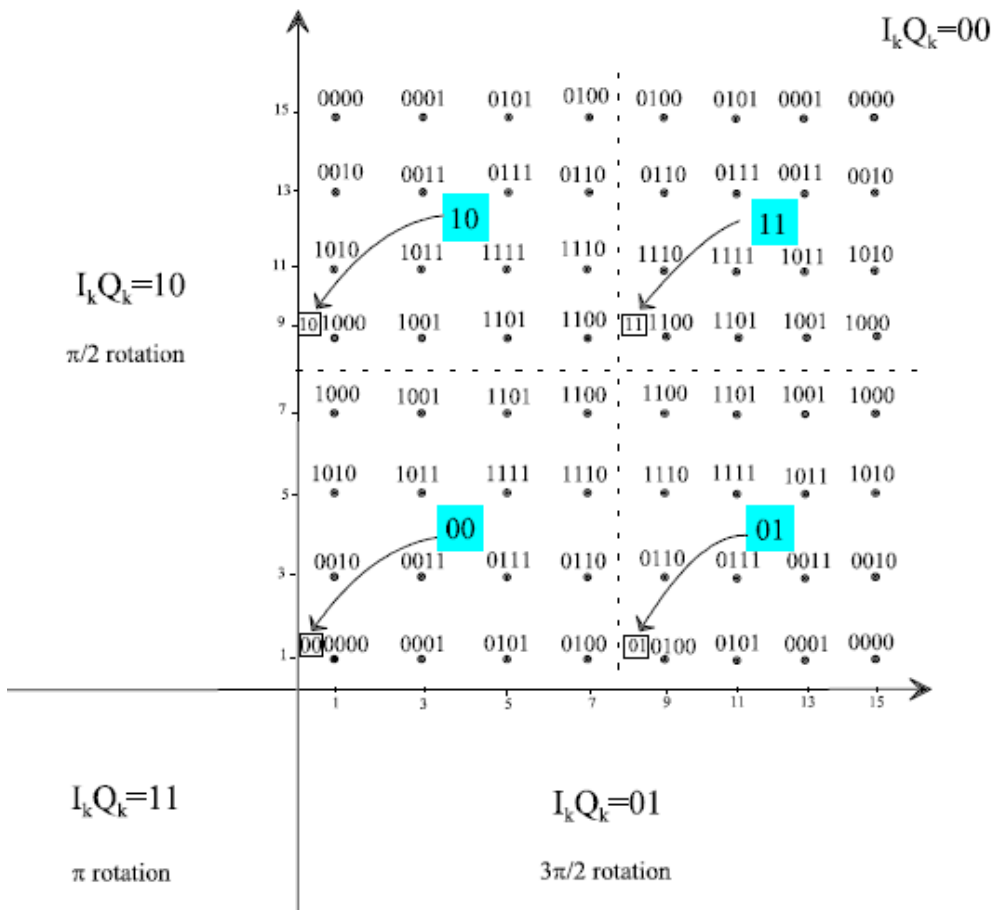
### 64-QAM



$I_k Q_k$  are the two MSBs in each quadrant



### 256 QAM



Antes de la modulación las señales I y Q son pasadas por un filtro de raíz cuadrada. El factor de roll-off es de 0,15.

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

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

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

donde

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

es la frecuencia de Nyquist y el factor de roll-off es  $\alpha = 0,15$ .

Finalmente obtenemos una tabla con ejemplos de bit rates posibles según ancho de banda y modulación empleada:

Useful bit rate $R_U$ (MPEG-2 transport layer) [Mbit/s]	Total bit rate $R_{U'}$ incl. RS(204,188) [Mbit/s]	Cable symbol rate [MBAud]	Occupied bandwidth [MHz]	Modulation scheme
38,1	41,34	6,89	7,92	64-QAM
31,9	34,61	6,92	7,96	32-QAM
25,2	27,34	6,84	7,86	16-QAM
31,672 PDH	34,367	6,87	7,90	32-QAM
18,9	20,52	3,42	3,93	64-QAM
16,0	17,40	3,48	4,00	32-QAM
12,8	13,92	3,48	4,00	16-QAM
9,6	10,44	1,74	2,00	64-QAM
8,0	8,70	1,74	2,00	32-QAM
6,4	6,96	1,74	2,00	16-QAM



---

## Referencias

- [1] ETSI EN 301 701 V1.1.1 (2000-08) European Standard (Telecommunications series) "Digital Video Broadcasting (DVB); OFDM modulation for microwave digital terrestrial television"
- [2] EN 300 421 V1.1.2 (1997-08), European Standard (Telecommunications series), "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services"
- [3] EN 302 307 V1.1.1 (2005-03), European Standard (Telecommunications series), "Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications"
- [4] ETSI EN 301 210 V1.1.1 (1999-03) "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for Digital Satellite News Gathering (DSNG) and other contribution applications by satellite"
- [5] ETSI EN 300 744 V1.5.1 (2004-11), European Standard (Telecommunications series), "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television"
- [6] Maddocks, MCD, "AN INTRODUCTION TO DIGITAL MODULATION AND OFDM TECHNIQUES", BBC Research Department Report, RD1993/10
- [7] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB). Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects"
- [8] Oliphant A. y Christ P., "VALIDATE & MOTIVATE: COLLABORATIVE R&D TO SPEED UP THE LAUNCH OF DIGITAL TERRESTRIAL TV", BBC R&D, UK and Deutsche Telekom Berkom, Germany
- [9] Pullen I R, (BBC Research and Development, Kingswood Warren), "DTT COVERAGE – PREDICTIONS AND MEASUREMENT"
- [10] Nokes C., Mitchell J, (BBC R&D), "POTENTIAL BENEFITS OF HIERARCHICAL MODES OF THE DVB-T SPECIFICATION"
- [11] Jesús M. Fernández, J. Capdevila, R. García, S. Cabanillas, S. Mata, A. Mansilla and Jose M. Fernández, Engineering R&D - RETEVISION S.A., "SINGLE FREQUENCY NETWORKS FOR DIGITAL VIDEO BROADCASTING"
- [12] Peter Pogrzeba, Ralf Burow (Deutsche Telekom Berkom Germany), Gérard Faria (IT IS France), Andrew Oliphant (BBC R&D United Kingdom), "LAB & FIELD TESTS OF MOBILE APPLICATIONS OF DVB-T"
- [13] A53 ATSC digital television standard (16 Set 1995)
- [14] "SINGAPORE DIGITAL TELEVISION TECHNICAL COMMITTEE, FINAL REPORT"
- [15] Richard M Barton Facts, "AUSTRALIAN ASSESSMENT OF DTTB"
- [16] ETSI EN 300 429 V1.2.1 (1998-04), "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems"

## **Bibliografía:**

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) términos DVB-T, DVB-S, ATSC, ISDB, Error Correction and Detection.

Stott, J H (BBC), "Explaining some of the magic of COFDM", Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Television Symposium 1997

Oliphant A (BBC), "VALIDATE Verifying the European specification for digital terrestrial TV and preparing for the launch of services", Proceedings of the 20<sup>th</sup> International Television Symposium 1997

Shelswell P., "The COFDM Modulation System, The heart of Digital Audio Broadcasting", BBC Research Department Report, RD1996/8

Whitaker, Jerry, "DTV – The revolution in Electronic Imaging", McGraw-Hill, 1998, ISBN 0-00-069626-8

Robin M., Poulin M., "Digital Television Fundamentals – Design and Installation of Video and Audio Systems", McGraw-Hill, 1998, ISBN 0-07-053168-4

Bartlett E R, "Cable Television Handbook", McGraw-Hill, 2000, ISBN 0-07-006891-7

NDS, "ATSC Digital Television Technology Seminar", Marzo 22, 1999, Buenos Aires, Argentina

Ciciora W, Farmer J, Large D, Adams M, "Modern Cable Television Technology – Video, Voice and Data Communications", 2<sup>nd</sup> Edition, Morgan Kaufmann, 2004, ISBN 1-55860-828-1