



Distribución y Recepción de Señales de Televisión Digital Transmisión DVB

José M. Martínez
Escuela Politécnica Superior
Universidad Autónoma de Madrid, SPAIN

JoseM.Martinez@uam.es
tel:+34.91.497.22.58

2008-2009



Distribución y Recepción de Señales de Televisión Digital Transmisión DVB

- Introducción
- Etapas comunes DVB-C/S/T
- Etapas comunes DVB-S/T
- DVB-S
- DVB-C
- DVB-T
- Introducción al DVB-H
- Anexo: Mapas de cobertura DVB-T/H/S/C
- Referencias

Distribución y Recepción de Señales de Televisión Digital Transmisión DVB

- **Introducción**
- Etapas comunes DVB-C/S/T
- Etapas comunes DVB-S/T
- DVB-S
- DVB-C
- DVB-T
- Introducción al DVB-H
- Anexo: Mapas de cobertura DVB-T/H/S/C
- Referencias

Introducción (I)

Existen varios estándares de transmisión, dependiendo del medio por el cual vaya a ser transmitida la señal, siendo los más utilizados DVB-S, DVB-T y DVB-C. Actualmente está cobrando popularidad DVB-H (modificación de DVB-T para transmisión terrenal a dispositivos móviles).

Estos estándares se centran en aspectos de adaptación al canal de transmisión como:

- proceso de codificación (decodificación) de canal para evitar errores en la transmisión (FEC)
 - o Códigos de canal (errores aleatorios)
 - o Entrelazadores (errores a ráfagas)
- modulaciones digitales empleadas en cada medio
 - o Optimización de potencia/ancho de banda (función del medio de transmisión)
 - o Multiplexación a frecuencias adecuadas

Introducción (II)

Televisión Satélite:

- Satélites geoestacionarios
 - o 1 satélite: 16-24 transpondedores (canales-multiplex)
 - o 1 transpondedor: 36-54 MHz
- Medio de transmisión “hostil”
 - o Elevada atenuación (aprox. 200 dB – 36.000 km)
 - o Ruido atmosférico
- Potencia de transmisión satélite limitada (células solares)
- Ancho de banda “amplio” (10.7 GHz-12.75 GHz)
- Eficiencia en potencia prioridad frente a eficiencia en B
 - o 4-5 programas de 6-5 Mbps en 36 MHz
- Solución
 - o Potente codificación de canal
 - o QPSK

Introducción (III)

Televisión Cable:

- Cable óptico (coaxial) controlados y con repetidores
- Medio de transmisión “amigable”
 - o Distancia “pequeña”
 - o Ruido “pequeño”
- Potencia “sin limitaciones” y repetidores
- Ancho de banda “moderado” (86 MHz-862 MHz)
- Eficiencia en B prioritaria frente a eficiencia en potencia
 - o 6-9 programas de 6 Mbps en 8 MHz
 - Hasta 80 en 100 MHz
- Solución
 - o Moderada codificación de canal
 - o QAM

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Introducción (IV)

Televisión Terrenal:

- Radiodifusión terrestre
 - o Compatibilidad-convivencia analógica
 - o 1 canal-multiplex: 8 MHz
- Medio de transmisión "hostil"
 - o Multitrayecto
 - Doble imagen en TVA
 - COFDM en TDT
- Potencia de transmisión condicionada por interferencias
 - o Problemas de cobertura
- Ancho de banda "limitado"
- Balance entre eficiencia en potencia y eficiencia en B
 - o 4-5 canales 4-3 Mbps en 8 MHz
- Solución
 - o Potente codificación de canal
 - o COFDM: portadoras moduladas en QPSK o QAM (64 QAM en España)
 - Portadoras pilotos para recuperar características de modulación y del canal
 - o Posibilidad de SFN y de MFN (lo único posible en TVA)

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (7)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Introducción (V)

Los tres estándares principales comparten algunos aspectos del proceso de transmisión mientras que difieren en otros. El diagrama de bloques muestra las etapas que atraviesa la información hasta alcanzar el medio de transmisión.

Etapas comunes a los tres estándares
 Etapas propias del estándar DVB-S
 Etapas propias del estándar DVB-C
 Etapas propias del estándar DVB-T

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (8)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Distribución y Recepción de Señales de Televisión Digital Transmisión DVB

- *Introducción*
- **Etapas comunes DVB-C/S/T**
- Etapas comunes DVB-S/T
- DVB-S
- DVB-C
- DVB-T
- Introducción al DVB-H
- Anexo: Mapas de cobertura DVB-T/H/S/C
- Referencias

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)
Distribución y recepción: Transmisión DVB (9)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

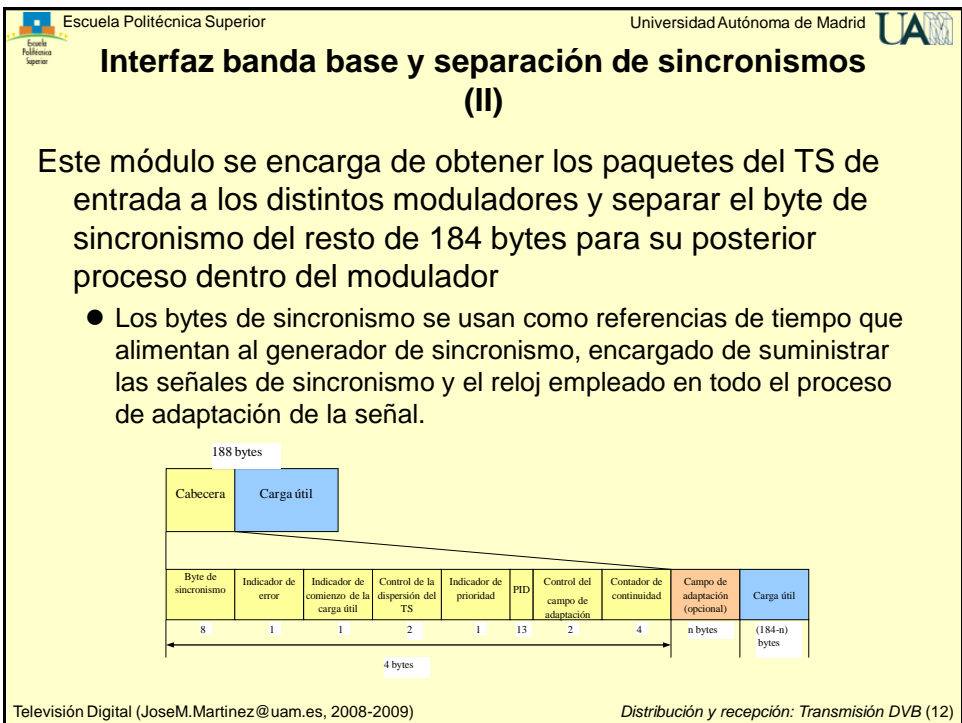
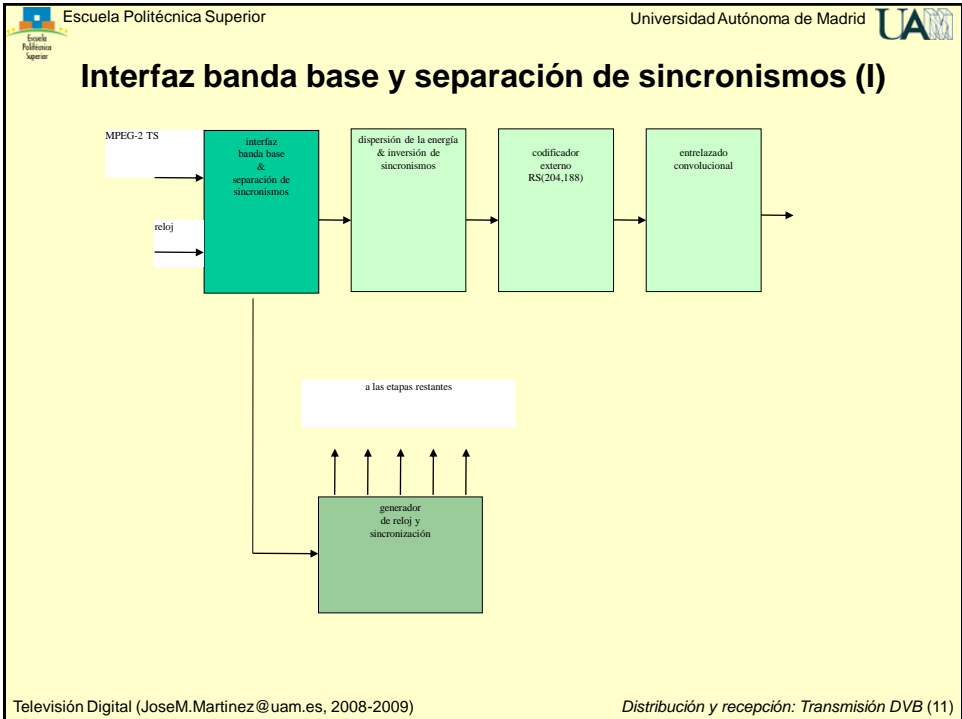
Etapas comunes DVB-C/S/T

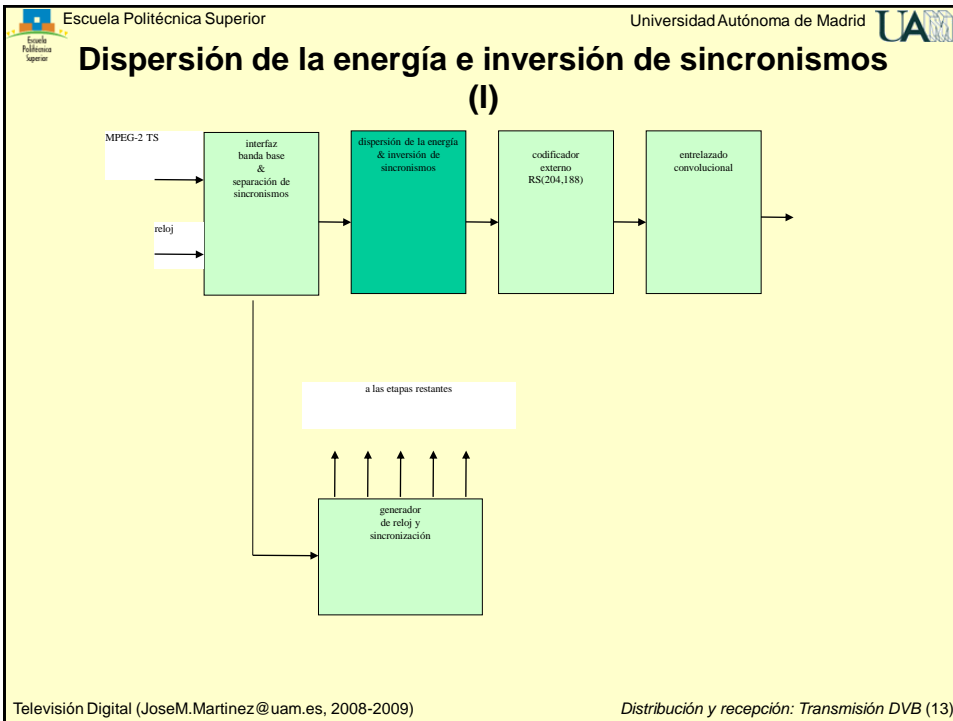
The diagram illustrates the common stages for DVB-C, S, and T. It starts with MPEG-2 TS and a clock signal entering an interface for baseband and synchronization. This is followed by energy dispersion and synchronization inversion, an external RS(204,188) encoder, and convolutional interleaving. The signal then branches into three paths based on the standard:

- DVB-S path (light green):** Internal convolutional coding, I/Q filtering, and QPSK modulation to the RF channel.
- DVB-C path (olive green):** Conversion to symbols, differential coding, and QAM modulation to the cable channel.
- DVB-T path (dark green):** Internal convolutional coding, internal interleaving, symbol mapping, adaptation to the transmission frame, OFDM, guard interval insertion, D/A conversion, and transmission to the antenna.

 A common clock and synchronization generator feeds into the initial stages and the DVB-T path. A TPS data generation block is also shown for the DVB-C path.

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)
Distribución y recepción: Transmisión DVB (10)





Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Dispersión de la energía e inversión de sincronismos (III)

Generalmente, no es posible asumir que la densidad de potencia de una señal de televisión digital esté distribuida de manera uniforme en todo el ancho de banda del canal.

- Por ejemplo, en DVB-S, que emplea una modulación QPSK, una secuencia larga de unos provocaría que la potencia se concentrara en la frecuencia portadora.

Para generar un flujo de datos con una densidad de potencia lo más plana posible dentro del ancho de banda disponible, se procede a **dispersar la energía** mediante la combinación del flujo de entrada con el flujo de salida de un generador pseudo-aleatorio polinomial ($1+X^{14}+X^{15}$) por medio de una operación OR-EXCLUSIVA.

Este generador aleatorio está formado por un registro de desplazamiento con realimentación. El generador es reiniciado con un patrón de bits predeterminado (10010101000000) cada ocho paquetes TS.

The diagram shows a pseudo-random generator circuit. It consists of a 16-bit shift register with an initialization sequence of 10010101000000. The output of the register is XORed with the input data to produce randomized data output. The circuit is controlled by an "Enable" signal and a "Clear/randomized data input" signal.

Data input (MSB first): 10111000xxxxxxx...
 PRBS sequence: 0000011...

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (14)

Dispersión de la energía e inversión de sincronismos (III)

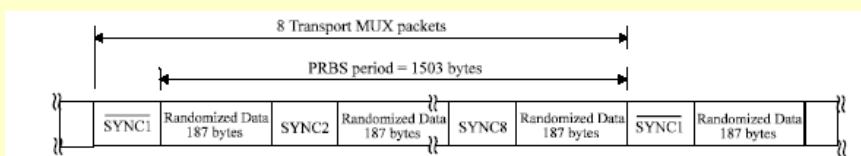
El generador aleatorio se reinicializa cada 8 paquetes TS.

Los bytes de sincronismo permanecen sin dispersar para permitir la sincronización en la etapa del receptor.

- Por ello el aleatorizador sigue funcionando pero no se combina, siendo su periodo 1503 bytes ($7 \cdot 188 + 187$), usando el tiempo del primer byte para la reinicialización

Para advertir al receptor del momento en el que debe reiniciar el generador polinomial, se invierte el primer byte de sincronismo de los ocho.

- Esto se denomina “adaptación al multiplex de transporte”



Codificación de canal: Introducción

Mediante la codificación de la señal de televisión de acuerdo con la norma MPEG-2 eliminamos la redundancia de dicha señal, pero haciéndola más vulnerable frente a las distorsiones del canal de transmisión.

- Si se transmite una imagen de televisión digital sin codificar con una gran tasa de transmisión, un error en un bit altera, en la mayoría de los casos, un píxel de la imagen, lo cual es irrelevante.
- Si en una imagen MPEG se produce un error de bit puede resultar afectado, como mínimo un macrobloque, o incluso varios.

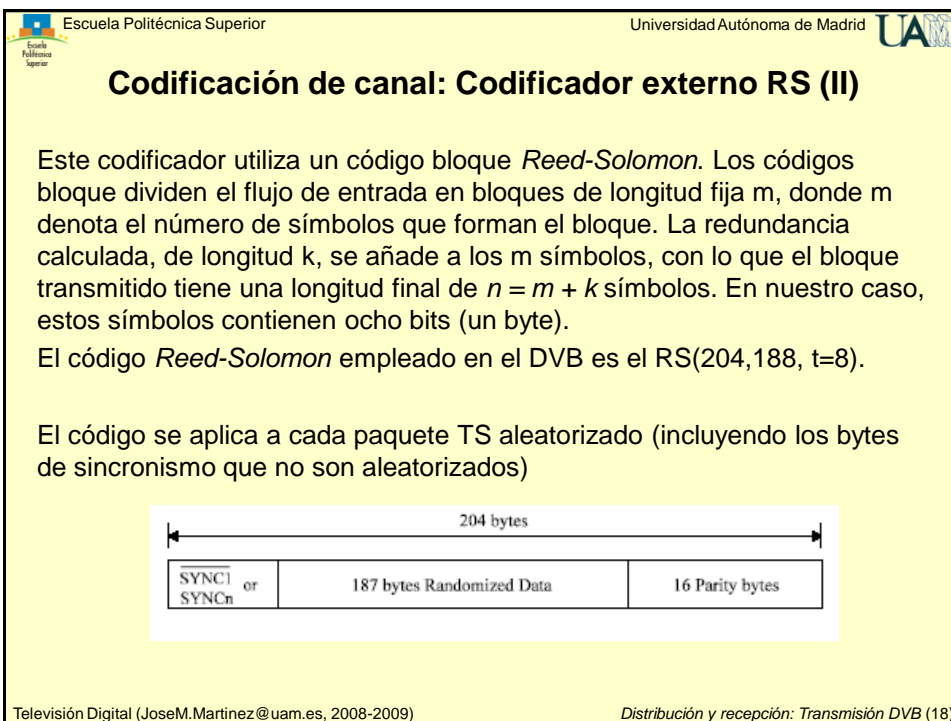
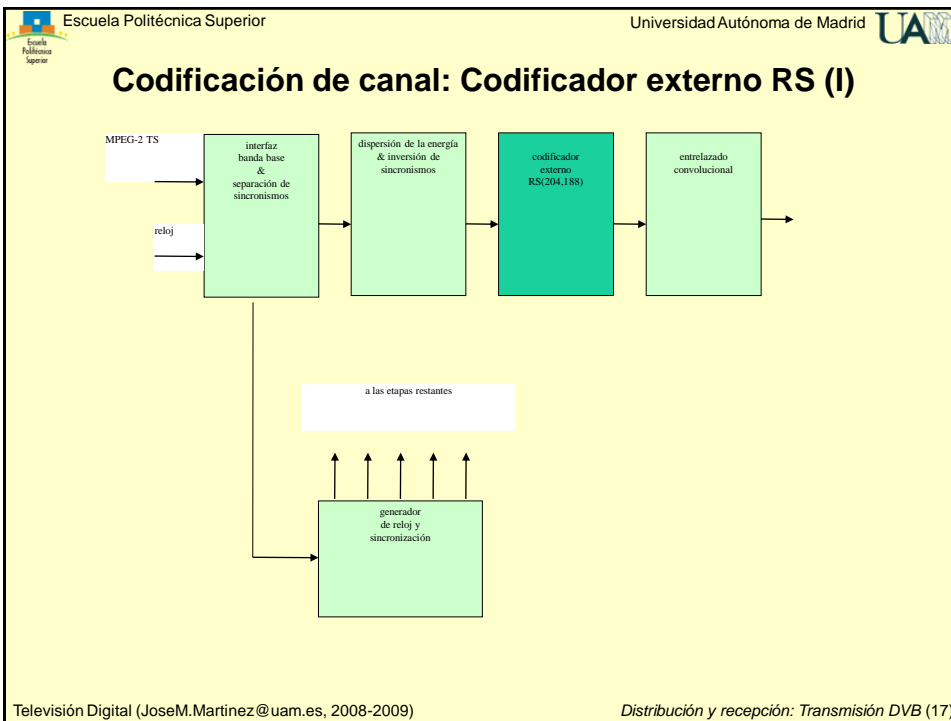
Para evitar estos problemas es necesario proveer al sistema de métodos de detección y corrección de errores.

- ARQ versus FEC

Los códigos de corrección de errores se basan en añadir redundancia a la señal digital comprimida en el codificador, la cual permite al decodificador situado en el receptor corregir los posibles errores originados en la transmisión.

- La redundancia supone un aumento de la información a transmitir, pero siempre despreciable frente a la compresión de la información que se produce en la codificación de fuente.

Existen algunas etapas de codificación de canal comunes a los estándares DVB-S/T/C, mientras que existen otras etapas posteriores adaptadas a cada estándar para ajustarse a las características de error de cada canal de transmisión.



Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Codificación de canal: Codificador externo RS (III)

Código RS(204,188, t=8).

- Este código está basado en el RS(255,239, t = 8). El RS(204, 188) se implementa añadiendo 51 bytes a cero a cada paquete del Flujo de Transporte, procesando estos nuevos paquetes de 239 bytes en un codificador sistemático RS(255,239) y eliminando los 51 bytes a cero añadidos anteriormente (gracias a ser sistemático).
- La redundancia introducida es de 16 bytes, dando una tasa de codificación de $R = m/n = 188/204 = 0.9215$
 - A la salida del RS el 92.15% es información útil, mientras que el 7.85% restante es redundancia.
- El código permite (detectar y) corregir hasta $t = (n-m/2) = (204-188/2) = 8$ bytes (símbolos) erróneos.

Esta redundancia se calcula realizando diversas operaciones sobre los datos de entrada.

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (19)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Codificación de canal: Entrelazado convolucional (I)

MPEG-2 TS

reloj

interfaz banda base & separación de sincronismos

dispersión de la energía & inversión de sincronismos


codificador externo RS(204,188)

entrelazado convolucional

a las etapas restantes

generador de reloj y sincronización

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (20)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

Codificación de canal: Entrelazado convolucional (II)

Esta etapa común a todos los estándares se inserta con el objetivo de corregir largas ráfagas de errores que pueden ocurrir durante la transmisión, ya que el RS es un codificador de canal orientado a la corrección de errores aleatorios.


El entrelazado no supone un aumento de redundancia. Solamente se trata de un reordenamiento de los símbolos generados por el codificador externo. El funcionamiento esquemático es el siguiente:

- los símbolos generados por el codificador externo son introducidos en una matriz de almacenamiento línea a línea. L =profundidad de entrelazado (número filas)
- Posteriormente estos símbolos son enviados a la siguiente etapa extrayéndolos de la matriz por columnas. (num cols= N/l)
- Así, dos símbolos adyacentes generados por el codificador externo, tras el entrelazado estarán separados entre sí por tantos símbolos como entren en una columna.
- En el proceso de decodificación, los símbolos recibidos son introducidos por columnas, lo que provoca que las posibles ráfagas de errores estarán situadas en columnas. Por último, los símbolos se extraen por filas hacia el decodificador externo, con lo que las ráfagas de error se distribuyen en el flujo de datos, posibilitando su mejor corrección, al haber convertido un error a ráfagas en una serie de errores aleatorios.

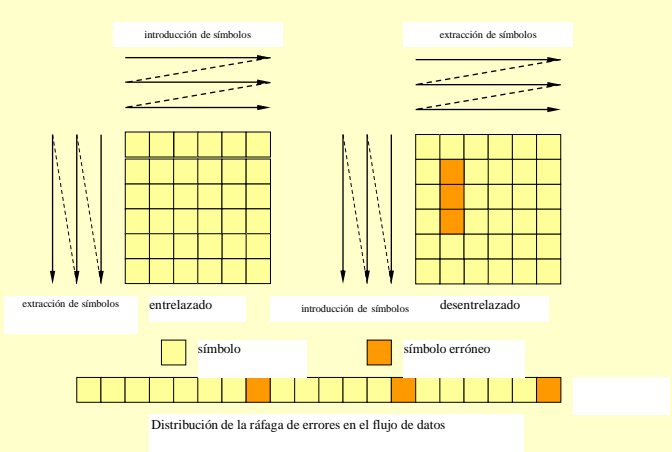
La capacidad correctora en cada bloque del RS tras el entrelazado es igual a $t \cdot l$ (siendo l la profundidad del entrelazado)

- DVB: $8 \cdot 12 = 96$ bytes cada 204

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (21)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

Codificación de canal: Entrelazado convolucional (III)



The diagram illustrates the interleaving process in three stages:

- introducción de símbolos**: Symbols are introduced into a matrix row by row. Dashed arrows show the path of symbols from the input to the matrix.
- entrelazado**: The matrix is shown with a vertical column highlighted in orange, representing the extraction of symbols column by column.
- desentrelazado**: The symbols are extracted from the matrix column by column. Dashed arrows show the path from the matrix to the output.

Below the matrix diagrams, a legend indicates:

- símbolo
- símbolo erróneo

The final part of the diagram shows a data stream where error bursts (orange blocks) are distributed across the stream, labeled "Distribución de la ráfaga de errores en el flujo de datos".

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (22)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Codificación de canal: Entrelazado convolucional (IV)

El mayor problema que ocasiona el bloque de entrelazado es la alta capacidad de almacenamiento necesaria para poder reordenar el flujo de entrada. Esta desventaja se evita mediante la utilización del entrelazado convolucional de *Forney*.

El entrelazado convolucional está compuesto por $(l - 1)$ registros de desplazamiento de longitudes $M, 2M, \dots, (l - 1)M$, y los correspondientes multiplexores y demultiplexores que conectan las entradas y salidas de los diferentes registros de desplazamiento con el flujo proveniente del codificador *Reed-Solomon* y con la etapa posterior respectivamente.

Sync byte always passes through branch 0

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (23)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Codificación de canal: Entrelazado convolucional (V)

l representa la profundidad de entrelazado (número de filas en entrelazador por matrices) y M el llamado retardo básico (número de columnas en entrelazador por matrices). Se cumple que $M = N/l$, donde N representa la longitud del bloque a entrelazar

En cada paso, tanto el multiplexor como el demultiplexor conectan la siguiente entrada o salida respectiva. El siguiente símbolo es introducido en el registro de desplazamiento conectado a la entrada y otro símbolo de dicho registro es extraído hacia la siguiente etapa. Cuando está conectada la rama superior, llamada rama de sincronismo, la entrada está conectada directamente con la salida. *De este modo aseguramos que, entre dos símbolos adyacentes en la entrada, se transmiten $M \cdot l$ símbolos???* [Reimers05] –ver siguiente transpa $M=1, l=4$.

El desentrelazado se construye para asegurar que los símbolos no retardados en el entrelazado son retardados al máximo. Así, el retardo total para todos los símbolos es $M \cdot (l - 1) \cdot l$. Al comienzo de cada paquete del codificador *Reed-Solomon*, tanto los multiplexores como los demultiplexores deben estar en la posición inicial (rama de sincronización), con lo que la sincronización de esta etapa es bastante sencilla.

En particular, en el estándar DVB se han elegido los siguientes parámetros:

- N viene fijada por la longitud de los bloques de salida del codificador *Reed-Solomon*, que contienen 204 bytes. Por tanto, $N = 204$ bytes.
- El número total de ramas de las que consta el entrelazado es 12. Por tanto, $l = 12$.
- El retardo básico M resulta ser de $M = 17$ bytes (desde que entra en el sistema hasta que sale).

Con estos parámetros comprobamos que, efectivamente, l resulta igual a división de N entre el retardo M . Además, eligiendo estos parámetros, conseguimos que símbolos contiguos en el flujo de entrada al entrelazado, a su salida estén separados por 205 bytes como mínimo.

- **IMPORTANTE:** los bytes de sincronismo van siempre por la rama de sincronismo y no se retarda su "transmisión", permitiendo que tengan un retardo "nulo" de paso por el entrelazador

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (24)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Codificación de canal: Entrelazado convolucional (VI)

© http://www.gatv.ssr.upm.es/~stel/adjuntos/apuntes/5_sistemas_dvb_cable.pdf

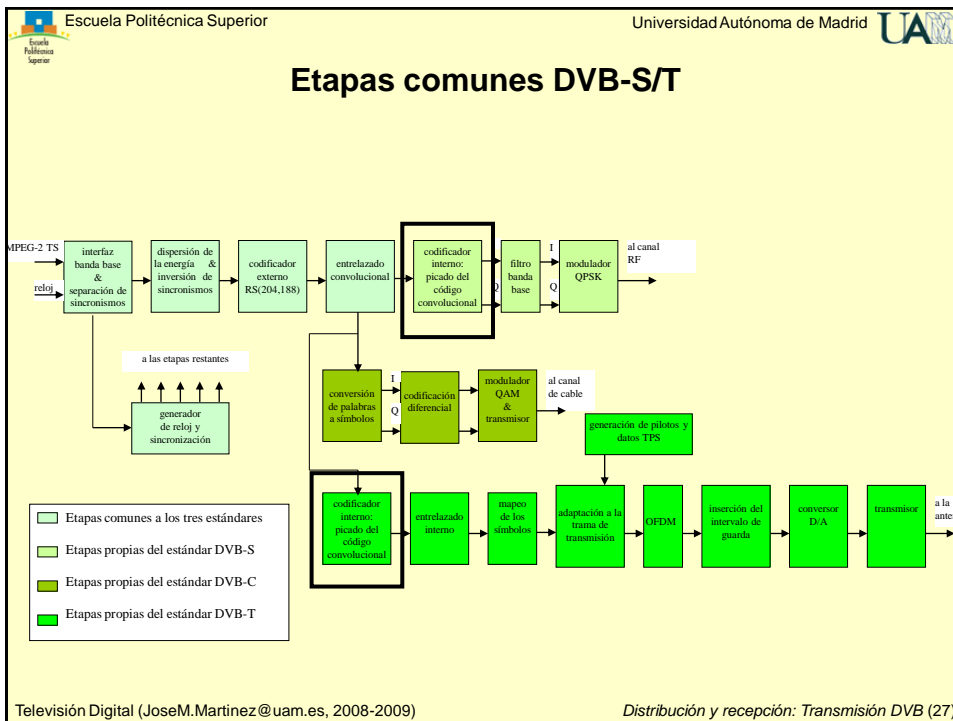
Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (25)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Distribución y Recepción de Señales de Televisión Digital Transmisión DVB

- *Introducción*
- *Etapas comunes DVB-C/S/T*
- **Etapas comunes DVB-S/T**
- DVB-S
- DVB-C
- DVB-T
- Introducción al DVB-H
- Anexo: Mapas de cobertura DVB-T/H/S/C
- Referencias

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (26)



Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-S/T: Codificador interno (I)

Esta etapa del proceso de codificación de la señal digital es utilizada en los estándares DVB-S y DVB-T debido a que ambos canales de transmisión tienen mayor probabilidad de error.

Los códigos convolucionales son códigos binarios en los que la información es repartida en varios símbolos transmitidos. El flujo de entrada no se divide en bloques como ocurría en el codificador *Reed-Solomon*. Un código convolucional es siempre orientado a bit.

La información, consistente en bits individuales, es introducida en un registro de desplazamiento donde es codificada. La señal transmitida se obtiene mediante la combinación de las salidas de las celdas que componen el registro de desplazamiento. En la figura podemos ver el codificador convolucional empleado en el estándar DVB.

Por cada bit introducido en el registro de desplazamiento, se generan dos bits a la salida. Esta redundancia posibilita la detección y corrección de errores. El número de líneas de entrada es $k = 1$ y de líneas de salida es $m = 2$. La tasa de codificación es entonces $R = k/m = 1/2$. La memoria, esto es, la capacidad de almacenamiento del codificador, está definida por el número de bits precedentes que contribuyen a la codificación del bit actual. En el codificador especificado por el estándar DVB, la memoria es $M \cdot k = 6$. El número total de bits que contribuyen en el proceso de codificación es $(M + 1) \cdot k = 7$. Si el codificador es concebido como un autómata, éste puede ser caracterizado por el número posible de estados. En el caso del DVB, este número es: $2 \cdot M \cdot k = 64$ estados. Finalmente, el codificador convolucional está caracterizado por el número y posición de las salidas de las celdas del registro de desplazamiento, las cuales son indicadas por un polinomio generador G , cuyos coeficientes son 1 o 0 dependiendo si hay una salida de celda o no. Habitualmente, los coeficientes se expresan como un número octal. Los polinomios del codificador especificado por el DVB son (ver figura):

- $G_1(x) = X^6 + X^3 + X^2 + X + 1 = 1710CT$
- $G_2(x) = X^6 + X^5 + X^3 + X^2 + 1 = 1330CT$

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (28)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-S/T: Codificador interno (II)

$G_1(x) = 171_{\text{oct}}$

$G_2(x) = 133_{\text{oct}}$

$k = 1$ rama de entrada
 $m = 2$ ramas de salida
 $R = k/m = 1/2$ tasa de codificación
 $M = 6$
 $M \cdot k = 6$ memoria
 $2^{Mk} = 64$ estados
 $K = (M + 1) \cdot k = 7$ número de bits involucrados en la codificación

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (29)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-S/T: Picado del código convolucional (I)

Este esquema de codificación de canal tiene un alto grado de eficacia en la corrección de errores como resultado de la aleatorización de los bits de salida. Sin embargo, debido a la redundancia, doblamos la cantidad de información a transmitir, lo que no siempre es aconsejable.

Para generar tasas de codificación entre $1/2$ y $7/8$ (donde $1/2$ significa que se transmiten dos bits por cada uno útil y $7/8$ indica que por cada siete bits útiles se transmiten 8), el código es picado, esto es, se eliminan bits, por lo que no se transmiten todos los bits obtenidos en la codificación convolucional. En este proceso, los datos de las líneas de salida no se transmiten siguiendo un patrón fijo. Esto es posible porque las líneas de salida poseen la información suficiente para regenerar la carga útil de los datos.

Se han establecido diversas posibilidades de picado con el objetivo de permitir una codificación lo más flexible posible para ajustar ésta a las condiciones del canal y a los requerimientos de la transmisión. De acuerdo con las especificaciones del DVB, están permitidas las siguientes tasas de codificación: $1/2$ (sin picado), $2/3$, $3/4$, $5/6$, y $7/8$. En la figura se muestran las diferentes estructuras de picado. Siguiendo al picado, los bits restantes deben ser reordenados para conservar el orden original con dos líneas de salida.

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (30)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-S/T: Picado del código convolucional (II)

	bits de las líneas de salida	picado	reordenación de los bits																														
tasa 2/3	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>X2</td><td>X3</td><td>X4</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>Y2</td><td>Y3</td><td>Y4</td></tr> </table>	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>X3</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>Y2</td><td>Y3</td><td>Y4</td></tr> </table>	X1	X3	Y1	Y2	Y3	Y4	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>Y2</td><td>Y4</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>X3</td><td>Y3</td></tr> </table>	X1	Y2	Y4	Y1	X3	Y3										
X1	X2	X3	X4																														
Y1	Y2	Y3	Y4																														
X1	X3																																
Y1	Y2	Y3	Y4																														
X1	Y2	Y4																															
Y1	X3	Y3																															
tasa 3/4	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>X2</td><td>X3</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>Y2</td><td>Y3</td></tr> </table>	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>X3</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>Y2</td></tr> </table>	X1	X3	Y1	Y2	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>Y2</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>X3</td></tr> </table>	X1	Y2	Y1	X3																
X1	X2	X3																															
Y1	Y2	Y3																															
X1	X3																																
Y1	Y2																																
X1	Y2																																
Y1	X3																																
tasa 5/6	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>X2</td><td>X3</td><td>X4</td><td>X5</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>Y2</td><td>Y3</td><td>Y4</td><td>Y5</td></tr> </table>	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>X3</td><td>X5</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>Y2</td><td>Y4</td></tr> </table>	X1	X3	X5	Y1	Y2	Y4	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>Y2</td><td>Y4</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>X3</td><td>X5</td></tr> </table>	X1	Y2	Y4	Y1	X3	X5								
X1	X2	X3	X4	X5																													
Y1	Y2	Y3	Y4	Y5																													
X1	X3	X5																															
Y1	Y2	Y4																															
X1	Y2	Y4																															
Y1	X3	X5																															
tasa 7/8	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>X2</td><td>X3</td><td>X4</td><td>X5</td><td>X6</td><td>X7</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>Y2</td><td>Y3</td><td>Y4</td><td>Y5</td><td>Y6</td><td>Y7</td></tr> </table>	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>X5</td><td>X7</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>Y2</td><td>Y3</td><td>Y4</td><td>Y6</td></tr> </table>	X1	X5	X7	Y1	Y2	Y3	Y4	Y6	<table border="1" style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>X1</td><td>Y2</td><td>Y4</td><td>Y6</td></tr> <tr><td>Y1</td><td>Y3</td><td>X5</td><td>X7</td></tr> </table>	X1	Y2	Y4	Y6	Y1	Y3	X5	X7
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7																											
Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7																											
X1	X5	X7																															
Y1	Y2	Y3	Y4	Y6																													
X1	Y2	Y4	Y6																														
Y1	Y3	X5	X7																														

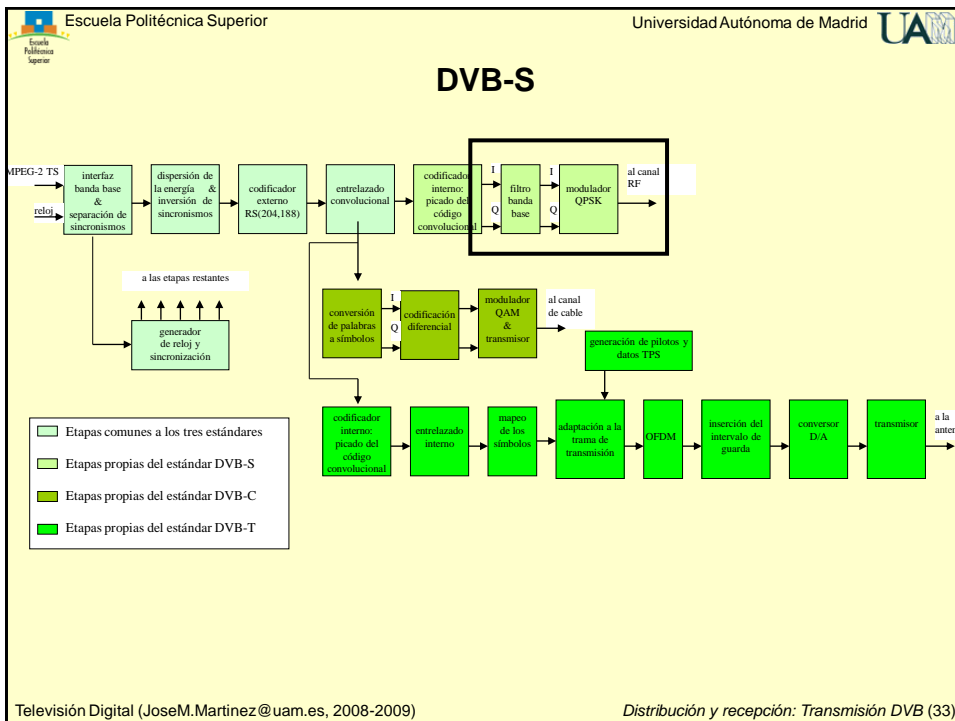
Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (31)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Distribución y Recepción de Señales de Televisión Digital Transmisión DVB

- *Introducción*
- *Etapas comunes DVB-C/S/T*
- *Etapas comunes DVB-S/T*
- **DVB-S**
- DVB-C
- DVB-T
- Introducción al DVB-H
- Anexo: Mapas de cobertura DVB-T/H/S/C
- Referencias

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (32)



Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-S: Transmisión por satélite (I)

Los satélites para difusión de señales están situados en la órbita geostacionaria (36.000 km. por encima del ecuador). A diferencia de la transmisión terrenal, el ancho de banda es un recurso disponible en gran abundancia en la transmisión vía satélite. Los satélites de comunicaciones para difusión de señales transmiten en un rango de frecuencia entre 10.7 y 12.75 GHz, y en un futuro estará disponible la banda de 21.4 a 22.0 GHz. Además, las mismas frecuencias pueden ser empleadas en diferentes posiciones orbitales por varios satélites.

Se transmiten generalmente señales con distinta polarización (H y V) lo que permite compartir en el espectro dos señales con una mínima diafonía (cross-talk).

En recepción, las señales transmitidas por el satélite son dirigidas mediante un reflector parabólico al bloque de procesado de la señal, donde ésta es amplificada, filtrada y convertida a FI (frecuencia intermedia) en dos saltos. Tras esto, la señal puede ser decodificada para su presentación.

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (34)

DVB-S: Transmisión por satélite (II)

Las señales difundidas a través de satélite se distribuyen entre transpondedores individuales. Un transpondedor es el medio de transmisión situado entre las antenas de recepción y las de transmisión del satélite. Está compuesto de varios elementos como filtros, amplificadores y mezcladores.

El elemento crítico dentro de los transpondedores es un tipo de amplificador llamado TWTA (*Travelling Wave Tube Amplifier*), cuya curva Potencia de salida/Potencia de entrada conserva la linealidad hasta ciertos valores de potencia de entrada. Si se quiere aprovechar toda la capacidad de amplificación del TWTA, se debe aceptar la no-linealidad de su rango superior, lo cual afecta a la codificación de canal y a la modulación. Si se emplease modulaciones de amplitud, la no-linealidad comentada produciría distorsiones en la señal. Esto significa que en transmisión por satélite sólo se pueden emplear modulaciones de fase o de frecuencia. Por esta razón, el DVB ha elegido la modulación digital de fase QPSK para la transmisión de televisión digital por satélite.

DVB-S: Transmisión por satélite (III)

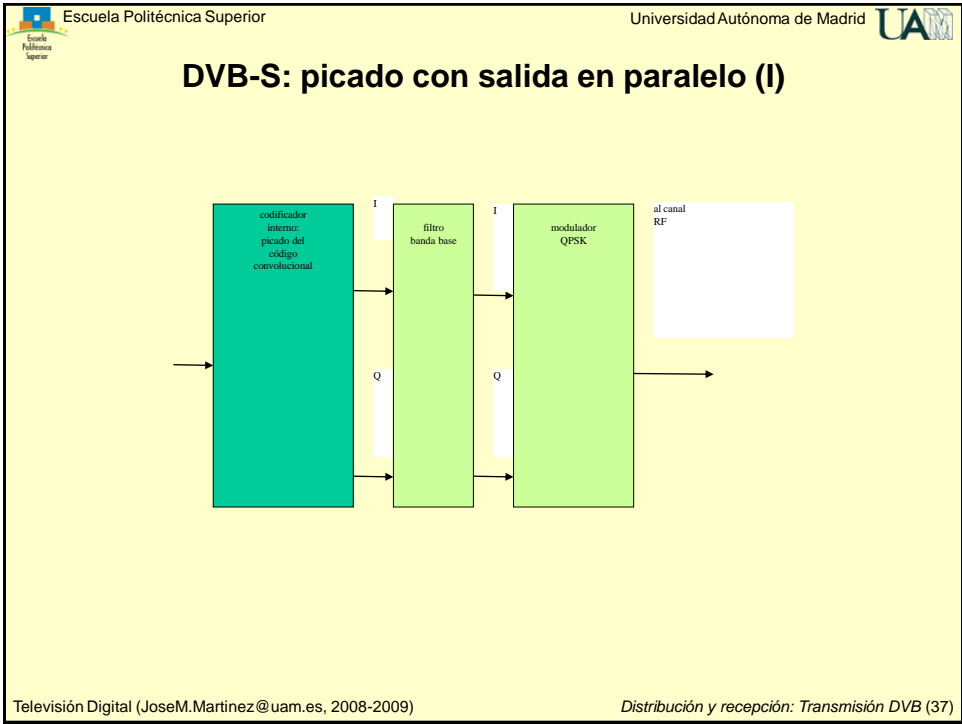
Los requisitos concernientes a la transmisión se deducen de las siguientes características de la transmisión por satélite:

- Debido a la baja potencia recibida por el satélite, el amplificador TWTA debe trabajar en la zona de saturación. Esto implica, como se apuntó anteriormente, que sólo podemos considerar modulaciones de fase o frecuencia.
- Para evitar intermodulaciones en el amplificador TWTA, sólo es posible usar multiplexación por división en el tiempo sobre una única portadora.
- Se debe dispersar la energía con el fin de conseguir una densidad de potencia lo más uniforme posible en el ancho de banda del transpondedor.
- La baja relación portadora/ruido en el receptor, debido principalmente a la potencia extremadamente baja que le llega, hace necesaria una protección frente a errores de gran calidad.

Las demandas de los usuarios pueden resumirse en lo siguiente:

- Para difusión de televisión digital son deseables altas tasas de transmisión, con el fin de recibir más servicios con el mismo ancho de banda.
- Deben soportarse diferentes servicios con diferentes tasas de transmisión, esto es, la capacidad de transmisión debe ser flexible.
- La antena receptora debe tener un diámetro lo más pequeño posible y no ser demasiado costosa.

Por todo esto, adicionalmente a las etapas comunes, existen “dos” propias.



Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-S: picado con salida paralelo (II)

El picado del código convolucional, que DVB-S comparte con DVB-T, se diferencia en que en DVB-S se mantiene la salida de dos líneas en paralelo para determinar los bits correspondientes a los ejes I-Q del modulador QPSK.

Original code			Code rates										
K	G1 (X)	G2 (Y)	1/2		2/3		3/4		5/6		7/8		
			P	dfree	P	dfree	P	dfree	P	dfree	P	dfree	
7	171 _{oct}	133 _{oct}	X: 1 Y: 1 I=X ₁ Q=Y ₁	10	X: 1 0 Y: 1 1 I=X ₁ Y ₂ Y ₃ Q=Y ₁ X ₃ Y ₄	6	X: 1 0 1 Y: 1 1 0 I=X ₁ Y ₂ Q=Y ₁ X ₃	5	X: 1 0 1 0 1 Y: 1 1 0 1 0 I=X ₁ Y ₂ Y ₄ Q=Y ₁ X ₃ X ₅	4	X: 1 0 0 0 1 0 1 Y: 1 1 1 1 0 1 0 I=X ₁ Y ₂ Y ₄ Y ₆ Q=Y ₁ Y ₃ X ₅ X ₇	3	

NOTE: 1 = transmitted bit
0 = non transmitted bit

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (38)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-S: filtro banda base (I)

codificador interno: picado del código convolucional → filtro banda base → modulador QPSK → al canal RF

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (39)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-S: filtro banda base (II)

Tras la codificación de canal, los datos son filtrados e introducidos en el modulador. Las señales de entrada son trenes de pulsos (deltas de Dirac cada $T_{\text{simb}}=1/R_{\text{simb}}$)

- Por lo tanto tienen un ancho de banda "infinito"

El filtrado tiene dos propósitos:

- Las señales deben estar limitadas en banda para evitar la posibilidad de invadir transpondedores adyacentes.
- El filtrado sirve para conformar la señal de acuerdo con el primer criterio de *Nyquist*.

Para el estándar de satélite se ha elegido un filtro en raíz cuadrada de coseno alzado con un factor de *roll-off* de $\alpha = 0.35$.

- La característica de este filtro es completa para todo el canal, lo que quiere decir que es el resultado del producto de todos los filtros del canal de transmisión. De acuerdo con el estándar, los filtros en el transmisor y en el receptor deben tener la misma función de transferencia. Esta razón unida a la anterior implica que la función de transferencia de estos filtros debe ser la raíz cuadrada de la función de transferencia total.

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (40)

DVB-S: filtro banda base (III) (*)

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

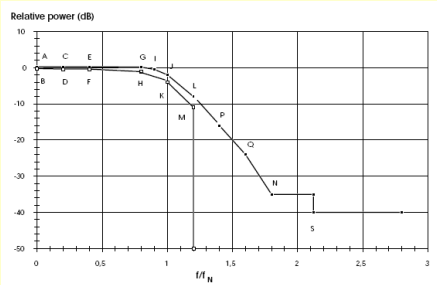
$$H(f) = \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{sinc} \frac{\pi}{2f_N} \left[\frac{f_N - |f|}{\alpha} \right] \right]^{1/2} \text{ for } f_N(1 - \alpha) \leq |f| \leq f_N(1 + \alpha)$$

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

where

$$f_N = \frac{1}{2T_B} = \frac{R_B}{2} \text{ is the Nyquist frequency and}$$

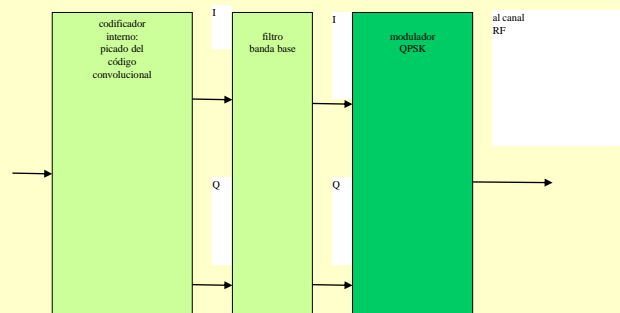
α is the roll-off factor, $\alpha = 0,35$.



Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)

Distribución y recepción: Transmisión DVB (41)

DVB-S: Modulador QPSK (I)



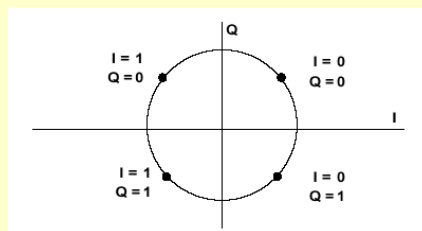
Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)

Distribución y recepción: Transmisión DVB (42)

DVB-S: Modulador QPSK (II)

La modulación QPSK ofrece la posibilidad de transmitir simultáneamente dos bits por símbolo (I-Q): PSK en Cuadratura

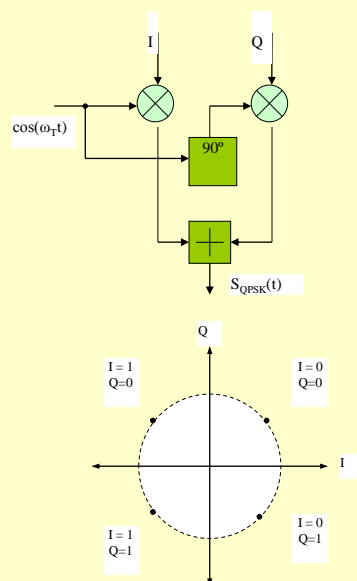
Para introducir una mejor protección frente a errores (de fase) la asignación de bits a señales (puntos de la constelación) sigue un esquema de codificación (asignación bits a señal-símbolo) Gray.



DVB-S: Modulador QPSK (III)

La modulación QPSK se realiza cambiando el ángulo de fase de la frecuencia portadora.

- Los bits son procesados de dos en dos. Por tanto, la duración del símbolo, T_{simb} es el doble que el tiempo de bit T_b .
- Las dos ramas son multiplicadas por dos señales sinusoidales que tienen la misma frecuencia ωT y un desfase de 90° . Tras la multiplicación ambas señales se suman y se transmiten.
- En la constelación de esta modulación se aprecia su robustez frente a distorsiones de amplitud.



DVB-S: régimen binario útil

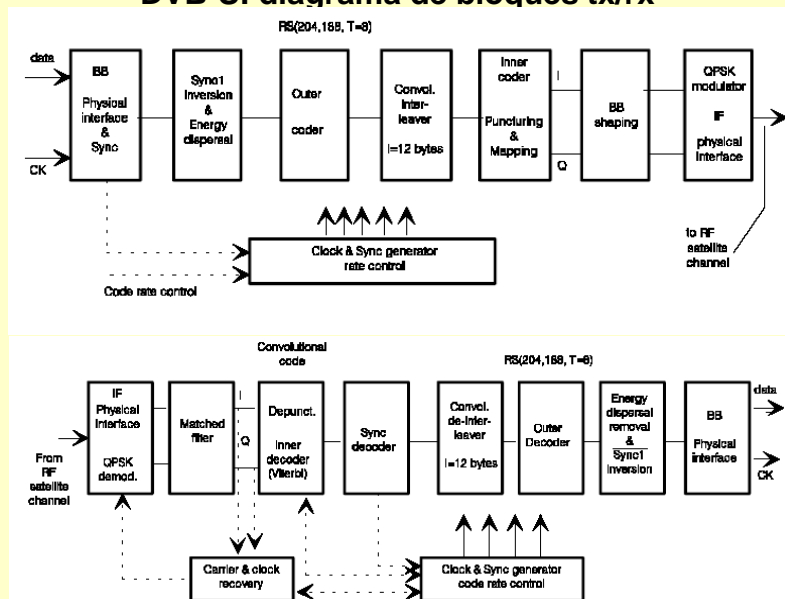
El Régimen binario útil (R_u) se puede calcular en función del R_s (símbolos por segundo –baudios–), R_{rs} (Tasa del RS) y R_{pc} (Tasa del picado convolucional)

$$R_u \text{ (Mbaudios)} = R_s \text{ (Mbaudios)} * R_{rs} * R_{pc}$$

- $R_{rs}=188/204$
- $R_{pc}=\{1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8\}$
- $R_s=f(B, \text{transpondedor, modulación})$
 - Por ejemplo, ASTRA, $B=36 \text{ MHz}$ y $R_s=B/1.309=27,5 \text{ Mbaudios}$
 - Si $R_{pc}=3/4 \Rightarrow R_u=38,01 \text{ Mbps}$
- En la tabla (EN 300 421), $B=36 \text{ MHz}$, $R_{pc}=3/4 \Rightarrow R_u=38,9 \text{ Mbps}$
 - Diferencias por definiciones de B ($R_s=28,1$ vs $27,5 \text{ Mbaudios}$)

BW (at -3 dB) [MHz]	BW* (at -1 dB) [MHz]	R_s (for BW/ $R_s=1.28$) [Mbaud]	R_u (for QPSK + 1/2 convol) [Mbit/s]	R_u (for QPSK + 2/3 convol) [Mbit/s]	R_u (for QPSK + 3/4 convol) [Mbit/s]	R_u (for QPSK + 5/6 convol) [Mbit/s]	R_u (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

DVB-S: diagrama de bloques tx/rx

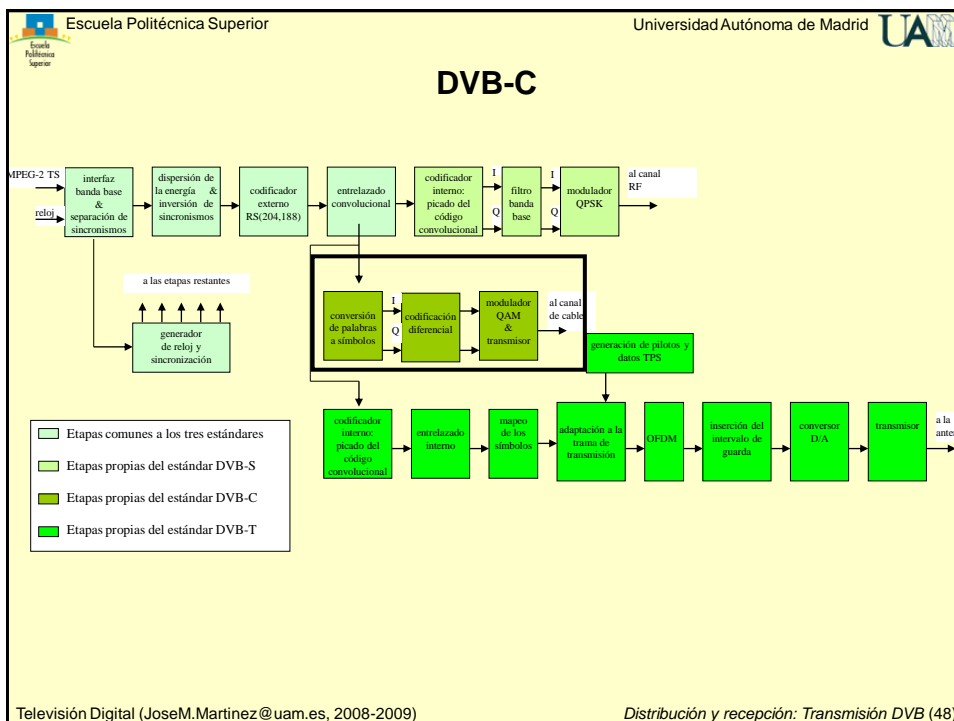


Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

Distribución y Recepción de Señales de Televisión Digital Transmisión DVB

- *Introducción*
- *Etapas comunes DVB-C/S/T*
- *Etapas comunes DVB-S/T*
- *DVB-S*
- **DVB-C**
- *DVB-T*
- *Introducción al DVB-H*
- *Anexo: Mapas de cobertura DVB-T/H/S/C*
- *Referencias*

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)
Distribución y recepción: Transmisión DVB (47)



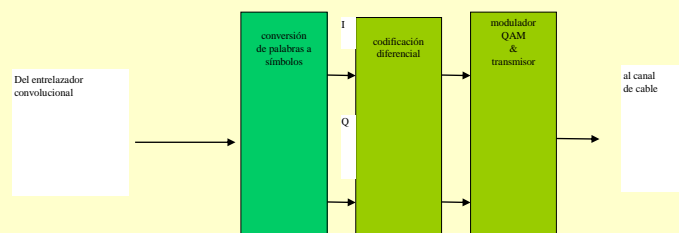
DVB-C: transmisión por cable

Las redes de cable, contrariamente a la situación en el caso de transmisión por satélite o terrestre, aseguran, generalmente, una alta y constante calidad de transmisión. Por este motivo el estándar DVB-C no contiene ningún tipo de codificación convolucional, ya que ésta no es necesaria.

El estándar recoge una etapa de combinación de bits mediante una codificación diferencial para formar símbolos que serán transmitidos a través de una modulación QAM. El estándar provee varios tipos de modulación QAM dependiendo de la eficiencia y calidad que se persigue.

Las señales moduladas son enviadas a los receptores a través de las infraestructuras redes de cable.

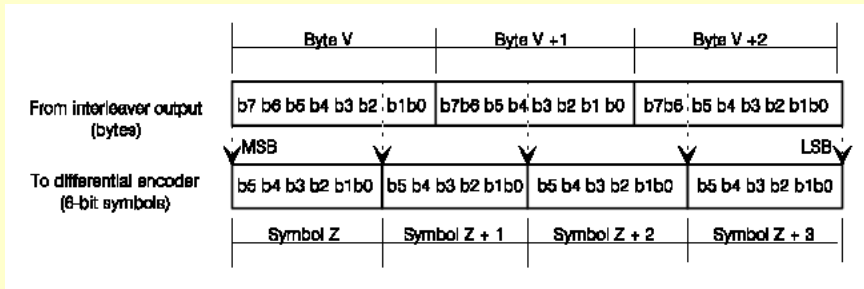
DVB-C: conversión de palabras a símbolos (I)



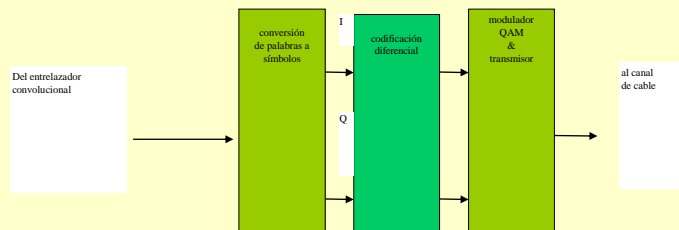
DVB-C: conversión de palabras a símbolos (II)

Los bytes de salida del entrelazador tienen que “mapearse” a símbolos de la modulación M-QAM seleccionada.

- K bytes de entrada a N símbolos de m bits ($2^m=M$)
- $K \cdot 8 = N \cdot m \Rightarrow N/K = 8/m$
 - 64-QAM $\Rightarrow m=6$
 - $N/K = 8/6 = 4/3$



DVB-C: codificación diferencial (I)



DVB-C: codificación diferencial (II)

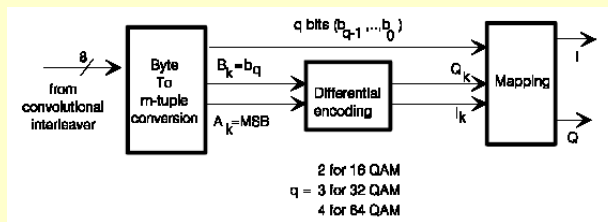
Tras la conversión de bytes a símbolos se hace una codificación diferencial de los dos MSB de cada símbolo

- Esto permite obtener una constelación QAM invariante a una rotación $\pi/2$ (?)

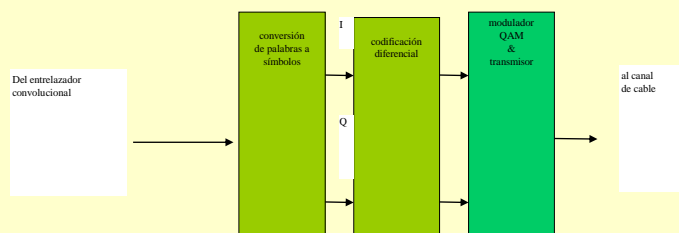
$$I_k = \overline{(A_k \oplus B_k)} \cdot (A_k \oplus I_{k-1}) + (A_k \oplus B_k) \cdot (A_k \oplus Q_{k-1})$$

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

NOTE: For the above Boolean expression " \oplus " denotes the EXOR function, "+" denotes the logical OR function, "." denotes the logical AND function and the overbar denotes inversion.



DVB-C: modulador QAM y transmisor (I)



DVB-C: modulador QAM y transmisor (II)

Previamente a la modulación (como en DVB-S) hay que filtrar el tren de deltas. Para el estándar de cable se ha elegido un filtro en raíz cuadrada de coseno alzado con un factor de *roll-off* de $\alpha = 0.15$.

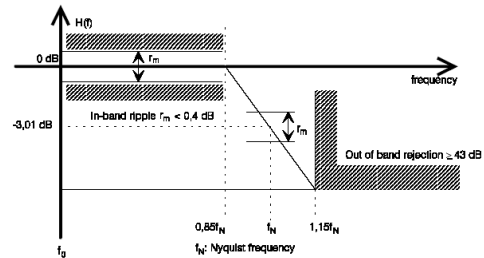
$$H(f) = 1 \text{ for } |f| < f_N(1 - \alpha)$$

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

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

where

$$f_N = \frac{1}{2T_g} = \frac{F_g}{2} \text{ is the Nyquist frequency and roll-off factor } \alpha = 0.15.$$



Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)

Distribución y recepción: Transmisión DVB (55)

DVB-C: modulador QAM y transmisor (III)

DVB-C define las siguientes modulaciones QAM:

- 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM, 128-QAM, 256-QAM
 - o Los IRD deben soportar al menos 64-QAM
- Para definir las con una mejor protección frente a ruido cada cuadrante se codifica con los dos MSB y los $q=m-2$ LSB se rotan según la siguiente tabla

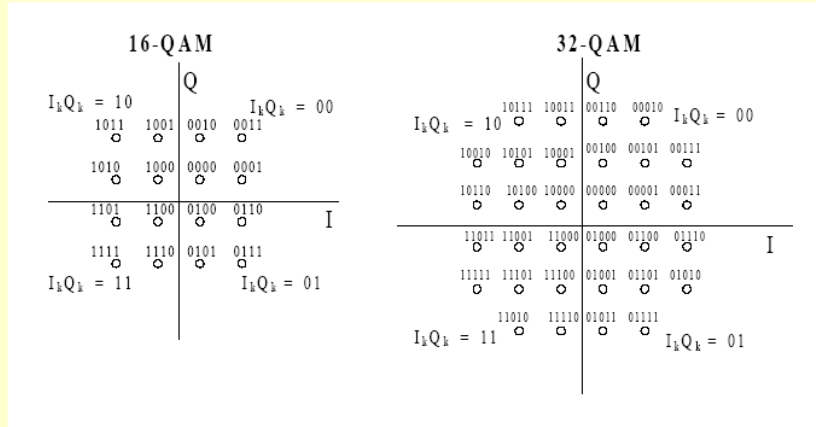
Quadrant	MSBs	LSBs rotation
1	00	
2	10	$+\pi/2$
3	11	$+\pi$
4	01	$+3\pi/2$

- Cada cuadrante se codifica Gray

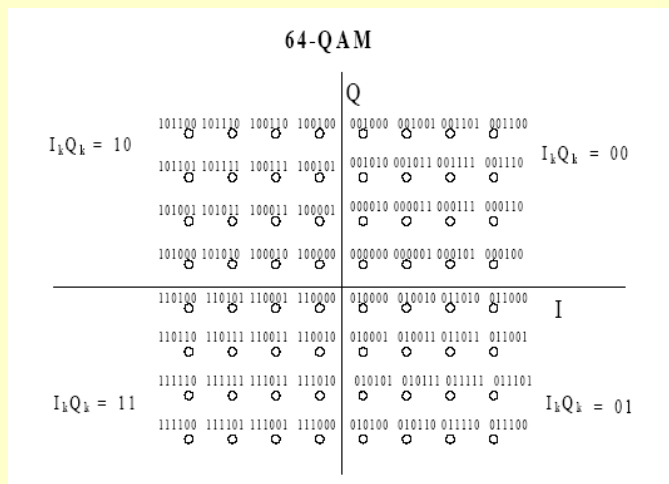
Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)

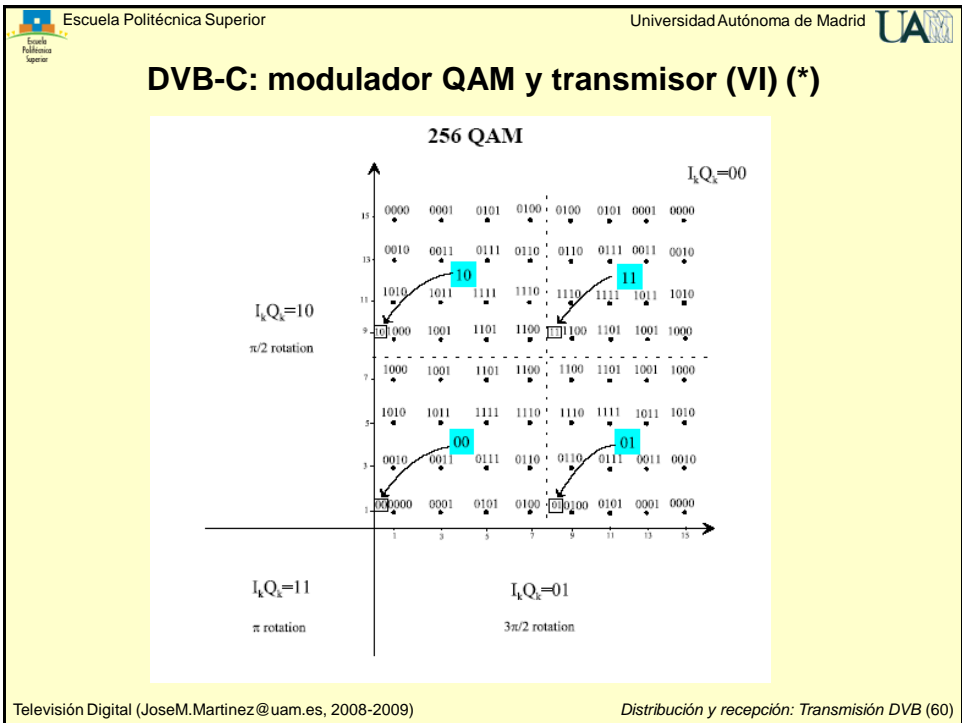
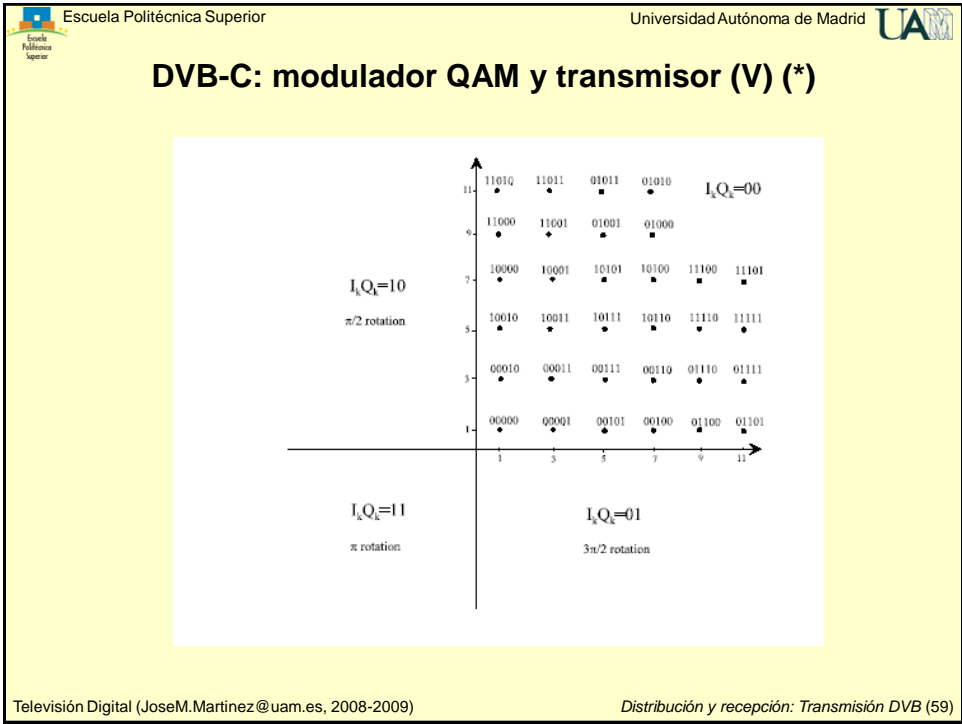
Distribución y recepción: Transmisión DVB (56)


DVB-C: modulador QAM y transmisor (IV) (*)



DVB-C: modulador QAM y transmisor (IV) (*)






Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

DVB-C: parámetros en España

- Modulación 64-QAM
- Canales de 8 MHz
- Banda de transmisión 86-862 MHz
- Aproximadamente 80 canales de 6 Mbps en 100 MHz
- Canal de retorno en el mismo cable
 - o Modulación QPSK
 - o Banda 5-65 MHz

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (61)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

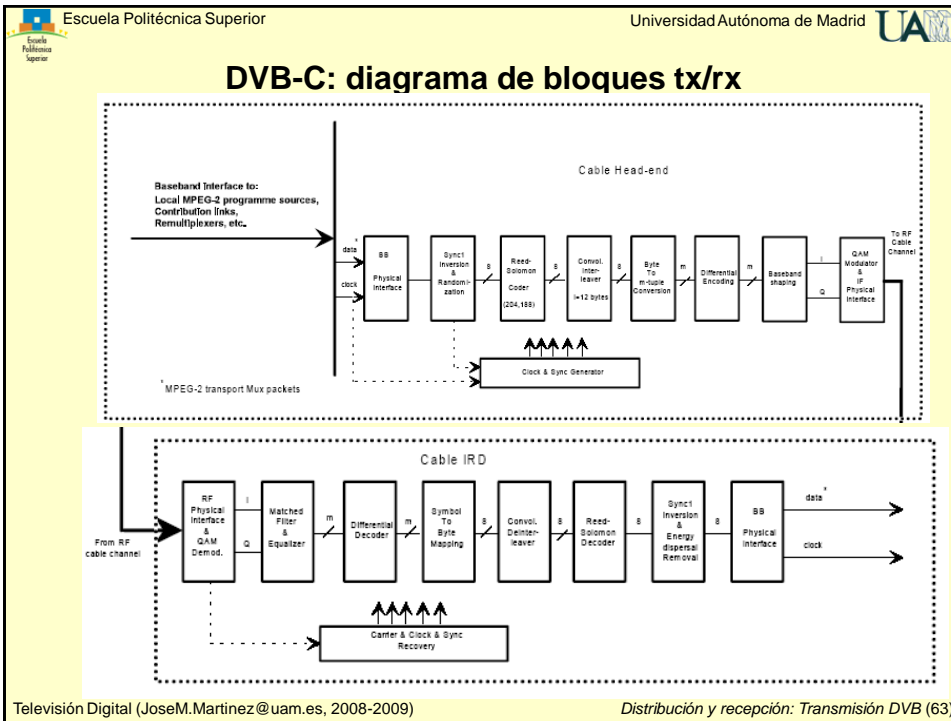
DVB-C: régimen binario útil

En la tabla adjunta se ve que una R_u de 38,1 Mbps se puede transmitir por una canal de 8MHz con 64-QAM

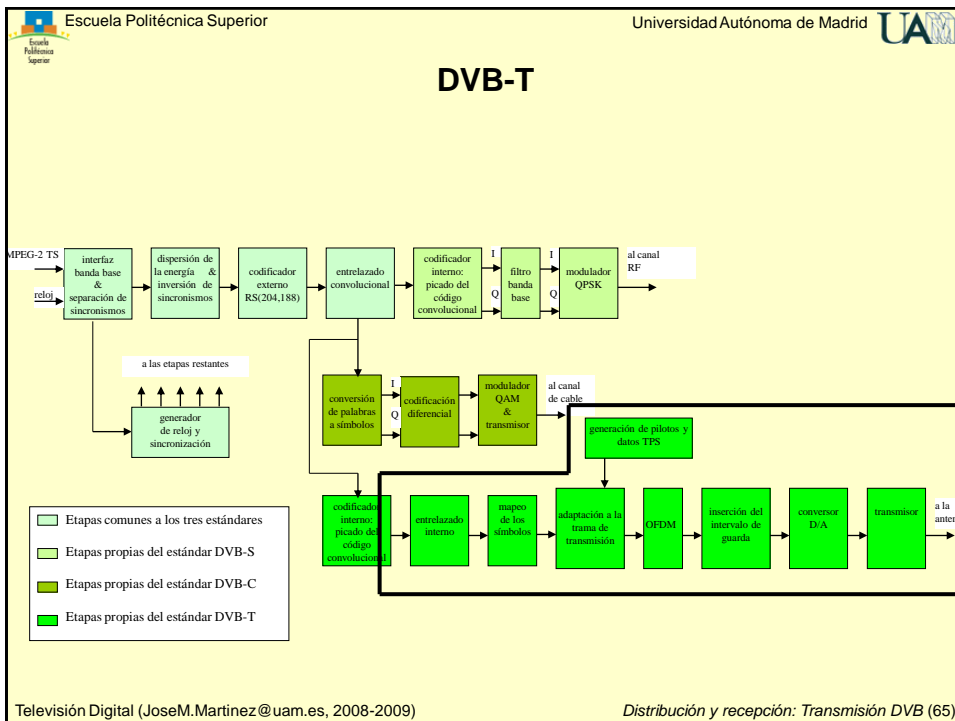
- 38,1 Mbps se puede asimilar a la tasa de un transpondedor típico

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

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (62)



- Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid
- ### Distribuci3n y Recepci3n de Se~al es de Televisi3n Digital Transmisi3n DVB
- *Introducci3n*
 - *Etapas comunes DVB-C/S/T*
 - *Etapas comunes DVB-S/T*
 - *DVB-S*
 - *DVB-C*
 - *DVB-T*
 - *Introducci3n al DVB-H*
 - *Anexo: Mapas de cobertura DVB-T/H/S/C*
 - *Referencias*
- Televi3n Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribuci3n y recepci3n: Transmisi3n DVB (64)



Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-T: transmisión terrenal

El mayor problema de la transmisión terrenal es el multitrayecto

- Se logra tolerancia al multitrayecto reduciendo la velocidad de símbolo (útil)
- A mayor número de portadoras OFDM mayor duración de símbolo => mayor robustez al multitrayecto
 - Terreno muy accidentado 8k (ES)
 - Terreno poco accidentado 2k (UK)
- Intervalo de guarda: elimina la IES dejando un intervalo "nulo" entre símbolos
 - $T_s = T_u + \Delta$
- Gracias a la "tolerancia" al multitrayecto las áreas sin cobertura pueden recibir servicio mediante "gap fillers"
 - Retransmisores a la misma f
 - Profesionales y domésticos

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (66)

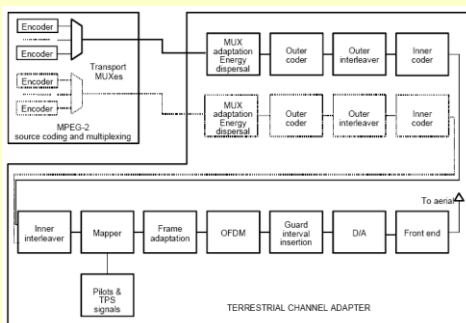
DVB-T: modo jerárquico

El estándar DVB-T permite un modo de jerárquico de 2 niveles de codificación de canal y modulación.

- Dos TS independientes de diferente prioridad (HP y LP) se “mapean” en la constelación según describe el estándar.
- Pueden ser el mismo “múltiple” con distinta calidad o distintos “múltiple”

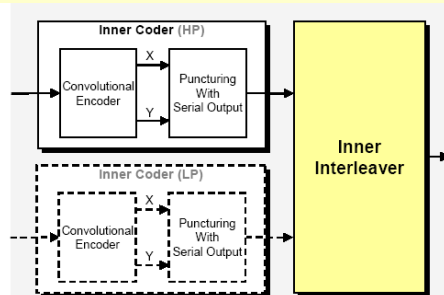
Para garantizar la compatibilidad con todos los receptores, no existe codificación de fuente jerárquica y por lo tanto se transmiten dos “múltiple” en simulcast” en el mismo, y al receptor solo se le requiere adicionalmente que sepa separar en el demodulador/demapeador los dos streams.

En este caso el diagrama del sistema se expande según la figura.

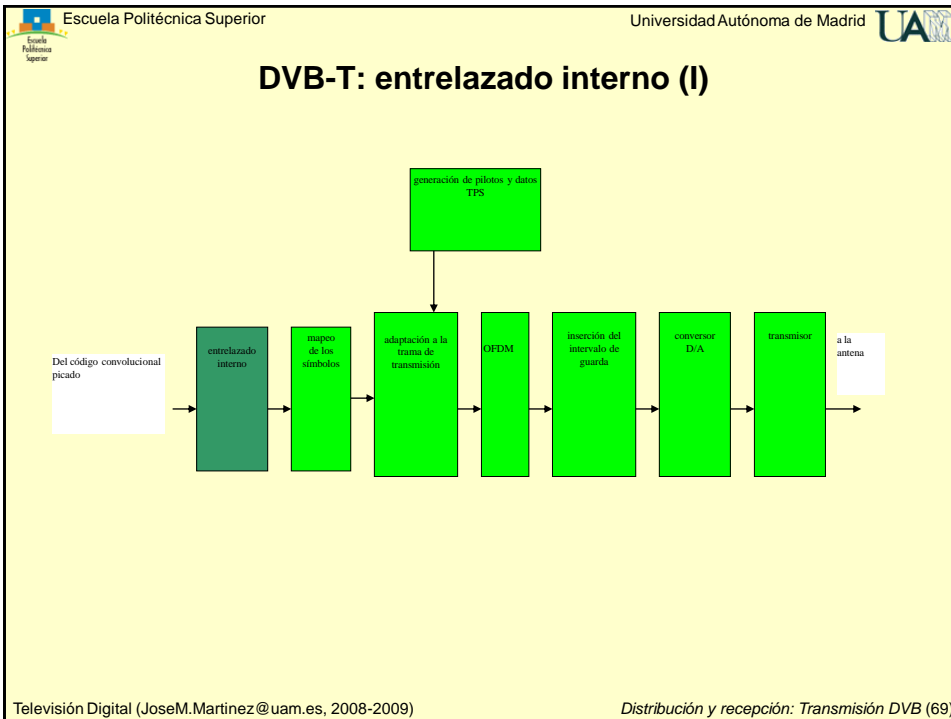


DVB-T: picado con salida en serie

A diferencia de DVB-S las dos líneas del picado del código convolucional deben ser serializadas para la transmisión terrenal



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	$X_1 Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 X_5 Y_6 X_7$



Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-T: Entrelazado interno (II)

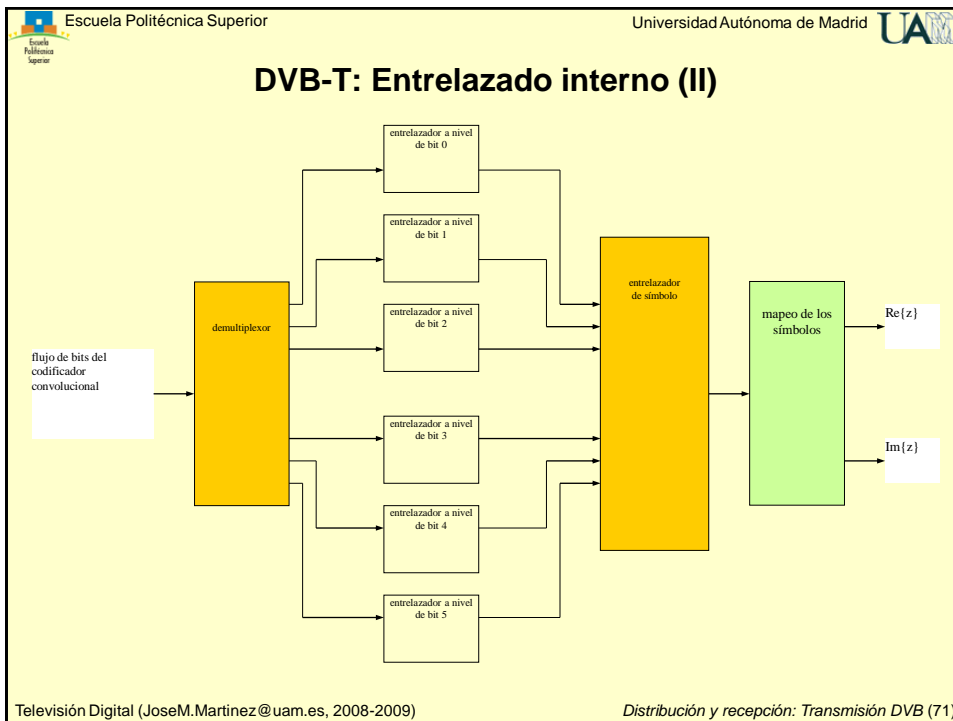
La técnica de modulación empleada en la transmisión terrenal de señales de televisión digital es la modulación OFDM (*Orthogonal Frequency Domain Multiplex*).

La modulación OFDM es una técnica que emplea múltiples portadoras para minimizar los efectos de las interferencias por recepción multicamino, por lo tanto, los datos provenientes del codificador convolucional (tras el picado) deben ser distribuidos entre el número de portadoras disponibles. El patrón de distribución debe contribuir a dispersar los efectos de las interferencias que afectan a pequeños grupos de portadoras adyacentes, de modo que mediante el decodificador convolucional se alcance un alto grado de corrección de errores.

El entrelazado interno se realiza en dos pasos

- En el primero se combinan 126 bits consecutivos (serializados del picado convolucional) en un solo bloque. Dentro de este bloque, los bits son entrelazados. Se produce pues un **entrelazado a nivel de bit**
- Tras este paso, se define un nuevo bloque formado por varios bloques de los anteriores. Dentro de este nuevo bloque, se entrelazan grupos completos de {2,4,6} bits (símbolos). Se realiza así un **entrelazado a nivel de símbolo**.

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (70)



Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid


DVB-T: Entrelazado interno a nivel de bit (I)

Como veremos más adelante, existen dos variantes de modulación OFDM: una con 1512 portadoras (2k OFDM) y la otra con 6048 portadoras (8k OFDM). Estas portadoras son moduladas con los datos a transmitir y se transmiten formando parte de un símbolo OFDM.

Además de estas 1512 ó 6048 portadoras de señal, en un símbolo OFDM se incluyen, respectivamente, otras 193 ó 769 portadoras, respectivamente, empleadas para sincronización.

Por tanto un símbolo OFDM completo comprende 1705 (2k) ó 6807 (8k) portadoras. El proceso de entrelazado tiene en cuenta esta estructura de símbolo cuando se realiza el entrelazado a nivel de símbolo.

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (72)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

DVB-T: Entrelazo interno a nivel de bit (II)


Dependiendo del método de modulación elegido para las portadoras individuales, cada una de ellas soporta un número de bits diferente. Las alternativas posibles a la hora de elegir el tipo de modulación son: QPSK, 16-QAM y 64-QAM.

- Para QPSK se requieren 2 bits (1 bit para el eje real y 1 bit para el eje imaginario resultando 4 posibles puntos en la constelación)
- Para 16-QAM 4 bits (2 bits en el eje real y 2 bits en el eje imaginario que dan 16 posibles posiciones en la constelación)
- Para 64-QAM se emplean 6 bits (3 en el eje real y 3 en el eje imaginario que dan 64 posibles símbolos).

Consecuentemente, para la creación de las portadoras moduladas mediante

- QPSK, tras un demultiplexor de dos salidas, se conectan dos entrelazadores a nivel de bit en paralelo
- 16-QAM, tras un demultiplexor de cuatro salidas, se conectan cuatro entrelazadores a nivel de bit en paralelo
 - o (2+2 en modo jerárquico)
- 64-QAM, tras un demultiplexor de seis salidas, se conectan seis entrelazadores a nivel de bit en paralelo
 - o (2+4 en modo jerárquico)

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (73)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

DVB-T: entrelazado interno a nivel de bit (III) (*)

La demultiplexación es el mapeo de bits x_{di} a bits $b_{e,do}$

In non-hierarchical mode:

$$x_{di} = b_{[di(\text{mod})v](\text{div})(v/2)+2[di(\text{mod})(v/2)], di(\text{div})v}$$

In hierarchical mode:

$$x'_{di} = b_{di(\text{mod})2, di(\text{div})2}$$

$$x''_{di} = b_{[di(\text{mod})(v-2)](\text{div})((v-2)/2)+2[di(\text{mod})((v-2)/2)]+2, di(\text{div})(v-2)}$$

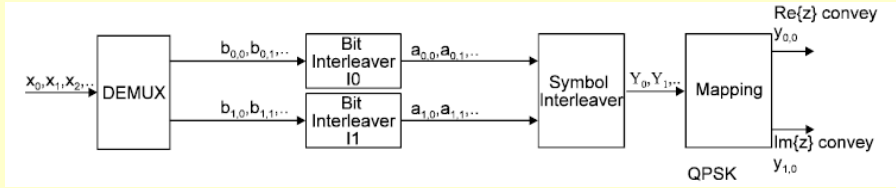
Where:

- x_{di} is the input to the demultiplexer in non-hierarchical mode;
- x'_{di} is the high priority input to the demultiplexer;
- x''_{di} is the low priority input, in hierarchical mode;
- di is the input bit number;
- $b_{e,do}$ is the output from the demultiplexer;
- e is the demultiplexed bit stream number ($0 \leq e < v$);
- do is the bit number of a given stream at the output of the demultiplexer;
- mod is the integer modulo operator;
- div is the integer division operator.

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (74)

DVB-T: entrelazado interno a nivel de bit (IV) (*)

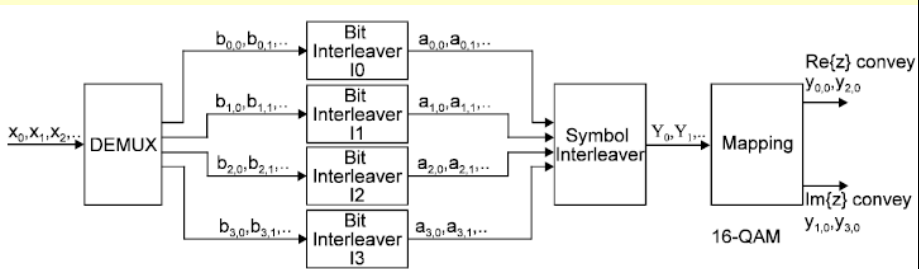
QPSK: x_0 maps to $b_{0,0}$
 x_1 maps to $b_{1,0}$



DVB-T: entrelazado interno a nivel de bit (V) (*)

16-QAM non-hierarchical transmission:

x_0 maps to $b_{0,0}$
 x_1 maps to $b_{2,0}$
 x_2 maps to $b_{1,0}$
 x_3 maps to $b_{3,0}$



Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-T: entrelazado interno a nivel de bit (VI) (*)

64-QAM non-hierarchical transmission:

- x_0 maps to $b_{0,0}$
- x_1 maps to $b_{2,0}$
- x_2 maps to $b_{4,0}$
- x_3 maps to $b_{1,0}$
- x_4 maps to $b_{3,0}$
- x_5 maps to $b_{5,0}$

Televi3n Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribuci3n y recepci3n: Transmisi3n DVB (77)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-T: entrelazado interno a nivel de bit (VII) (*)

16-QAM hierarchical transmission:

- x'_0 maps to $b_{0,0}$
- x'_1 maps to $b_{1,0}$
- x''_0 maps to $b_{2,0}$
- x''_1 maps to $b_{3,0}$

Televi3n Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribuci3n y recepci3n: Transmisi3n DVB (78)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-T: entrelazado interno a nivel de bit (VIII) (*)

64-QAM hierarchical transmission:

- x'_0 maps to $b_{0,0}$
- x'_1 maps to $b_{1,0}$
- x''_0 maps to $b_{2,0}$
- x''_1 maps to $b_{4,0}$
- x''_2 maps to $b_{3,0}$

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (79)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-T: entrelazado interno a nivel de bit (IX)


Existen por tanto seis entrelazadores a nivel de bit que se usan o no en función de la posterior modulación elegida para las portadoras.

Todos los entrelazadores usan el mismo tamaño de bloque de datos (126 bits) y difieren en la secuencia de entrelazado.

La elección de 126 bits como tamaño del bloque en el entrelazado de bits permite que ambas variantes de la modulación OFDM puedan emplear dicho entrelazado

- $2k$: $12 \cdot 126 = 1512$ bits en cada rama de entrada al entrelazador de símbolo (necesitando 2,4,6 bloques para cada símbolo)
- $8k$: $48 \cdot 126 = 6048$ bits en cada rama de entrada al entrelazador de símbolo (necesitando 2,4,6 bloques para cada símbolo)

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (80)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

DVB-T: entrelazado interno a nivel de bit (X)

Para cada entrelazador ($e=\{0..v-1\}$)

$$B(e) = (b_{e,0}, b_{e,1}, b_{e,2}, \dots, b_{e,125}) \quad A(e) = (a_{e,0}, a_{e,1}, a_{e,2}, \dots, a_{e,125}) \quad a_{e,w} = b_{e,He(w)} \quad w = 0, 1, 2, \dots, 125$$

Siendo las secuencias de entrelazado

I0: $H_0(w) = w$

I1: $H_1(w) = (w + 63) \bmod 126$

I2: $H_2(w) = (w + 105) \bmod 126$

I3: $H_3(w) = (w + 42) \bmod 126$


I4: $H_4(w) = (w + 21) \bmod 126$

I5: $H_5(w) = (w + 84) \bmod 126$

La salida del entrelazador (visto como las v ramas sincronizadas) es un vector y' (entrada al entrelazador de símbolos) que tiene un bit de cada entrelazador (I0==MSB)

$$y'_w = (a_{0,w}, a_{1,w}, \dots, a_{v-1,w})$$

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (81)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

DVB-T: Entrelazado interno a nivel de símbolo (I)

El segundo nivel de entrelazado trabaja con los símbolos requeridos en la modulación de las portadoras. Con el fin de dejar espacio para las mencionadas 193 ó 769 portadoras destinadas a la sincronización, el entrelazador a nivel de símbolo genera un flujo no continuo a su salida, de manera que existen intervalos donde las portadoras de sincronización pueden ser insertadas.

Según sea el modo OFDM se tomará como unidad de entrelazado 1512 ó 6048 símbolos y' del entrelazador de bit

- $2k: Y' = (y_0', y_1', \dots, y_{1511}')$
 - o generado a partir de 12 bloques de datos generados cada uno a partir de $\{2, 4, 6\} * 126$ bits del picado convolucional (según el símbolo)
- $8k: Y' = (y_0', y_1', \dots, y_{6047}')$
 - o generado a partir de 48 bloques de datos generados cada uno a partir de $\{2, 4, 6\} * 126$ bits del picado convolucional (según el símbolo)

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (82)

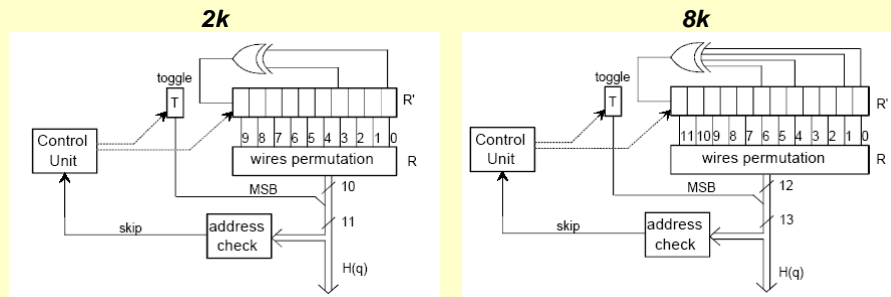
DVB-T: Entrelazado interno a nivel de símbolo (II) (*)

El vector de símbolos entrelazados $Y=(y_0, y_1, \dots, y_{N_{\max}-1})$ se queda definido por

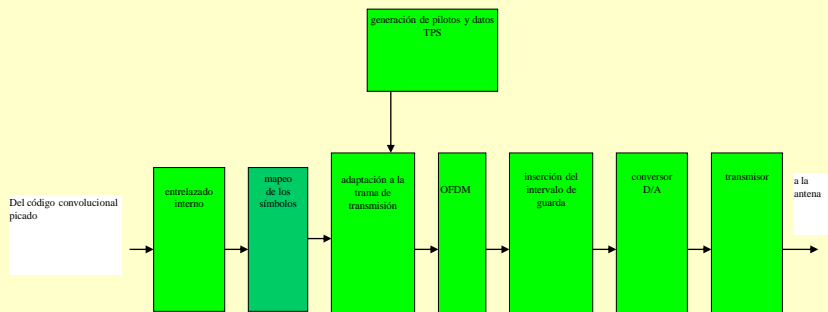
$$y_{H(q)} = y'_q \text{ for even symbols for } q = 0, \dots, N_{\max}-1$$

$$y_q = y'_{H(q)} \text{ for odd symbols for } q = 0, \dots, N_{\max}-1$$

Siendo $H(q)$ una función de permutación implementable según los siguientes diagramas (para detalles ver EN 300 744)



DVB-T: mapeo de los símbolos (I)



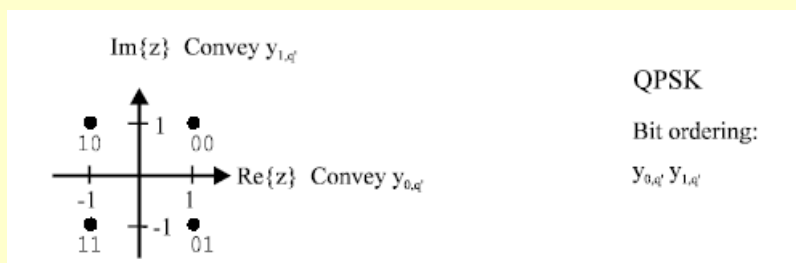
DVB-T: Mapeo de los símbolos (I)

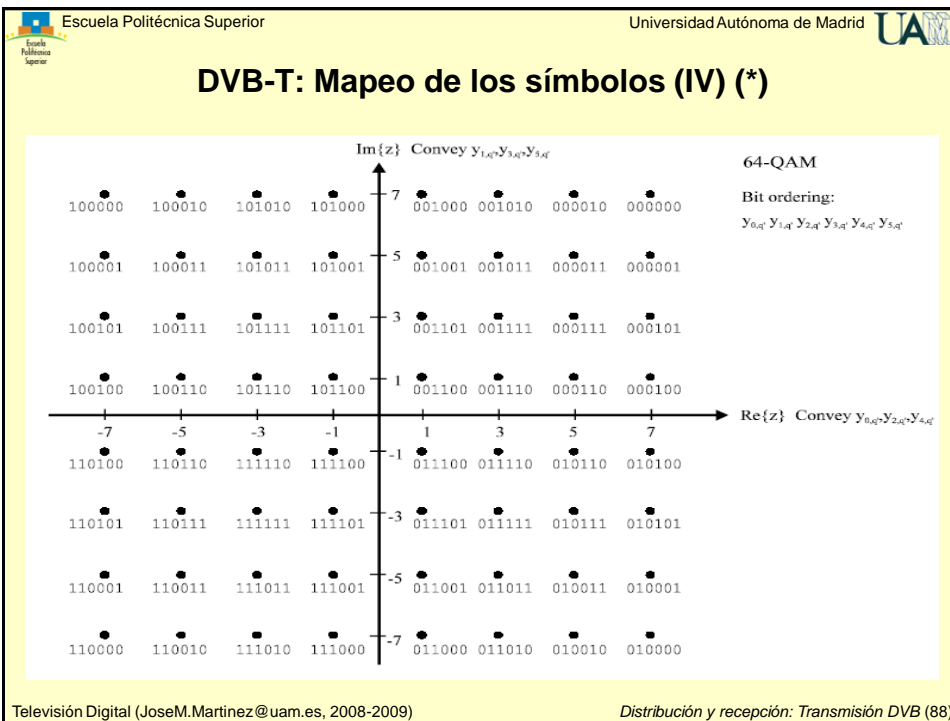
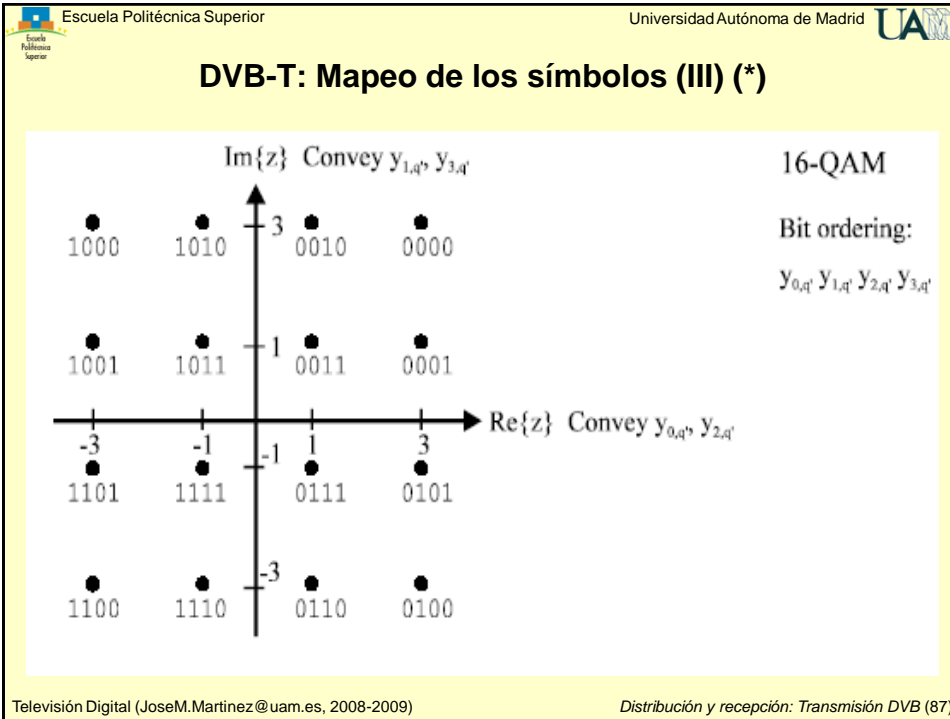
La distribución de los bits consecutivos en los símbolos de la modulación elegida se realiza de acuerdo con el código *Gray*. Consecuentemente, la ordenación de los símbolos en el plano I/Q debe ser realizada de modo que los símbolos situados en paralelo al eje I solamente difieran de uno a otro en un bit. Lo mismo debe suceder para los símbolos situados en paralelo al eje Q.

Cada portadora OFDM en una trama se modula con uno de los posibles modos:

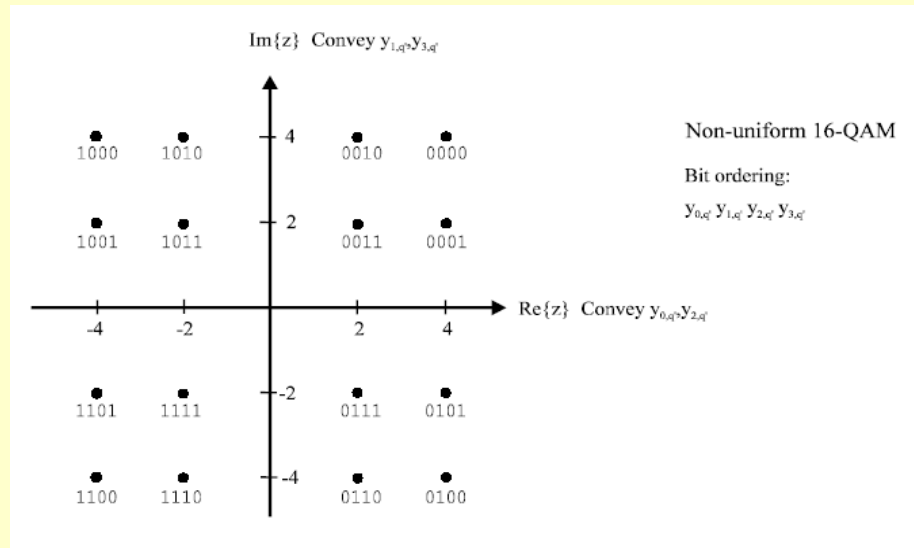
- QPSK
- 16-QAM
 - o Uniforme/no uniforme (alfa=1/2,4) – jerárquico/no jerárquico
- 64-QAM
 - o Uniforme/no uniforme (alfa=1/2,4) – jerárquico/no jerárquico

DVB-T: Mapeo de los símbolos (II) (*)

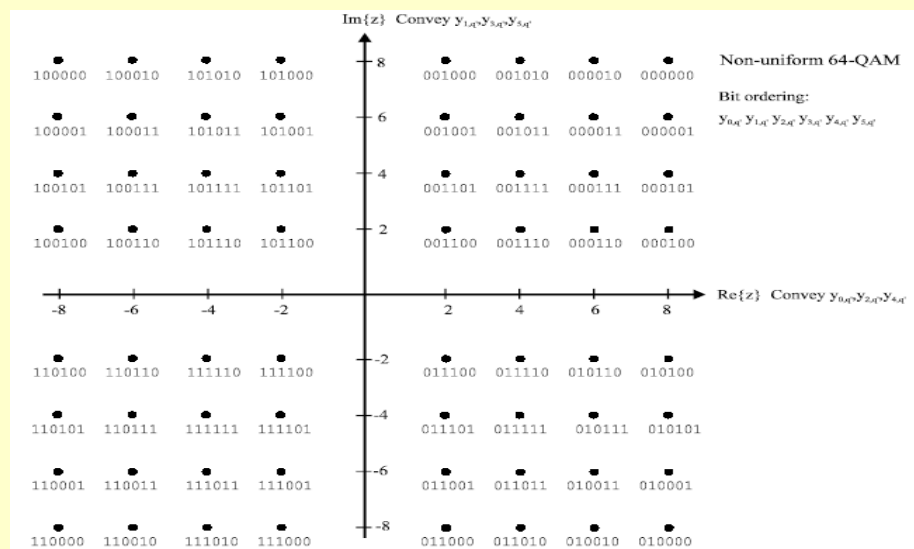




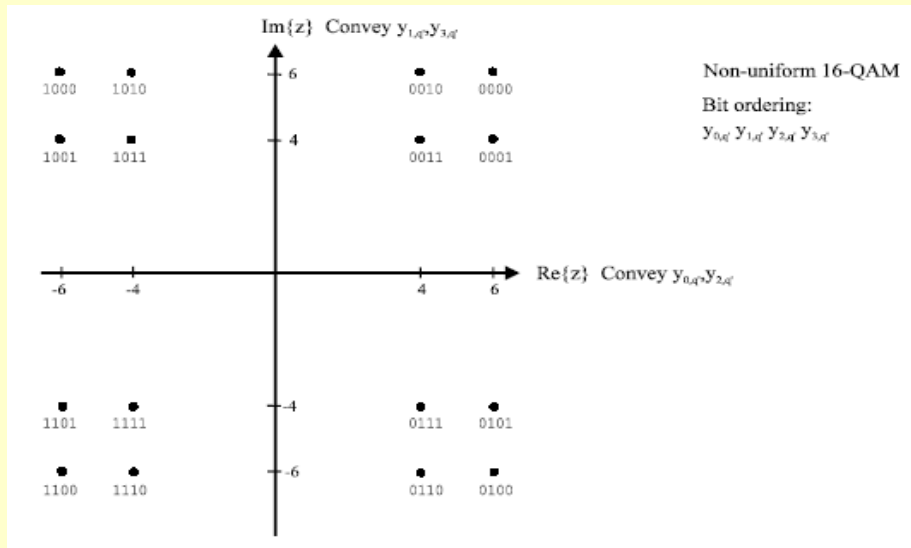
DVB-T: Mapeo de los símbolos (V) (*)



DVB-T: Mapeo de los símbolos (VI) (*)



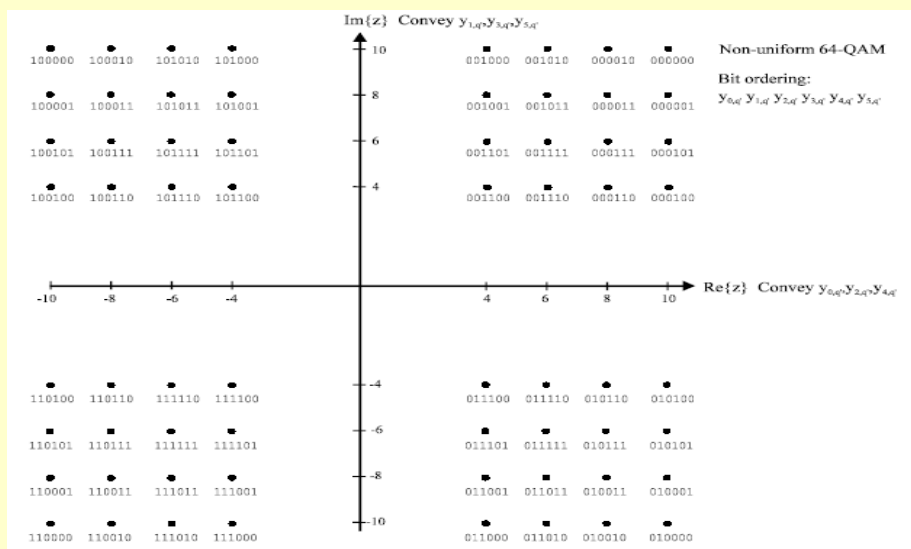
DVB-T: Mapeo de los símbolos (VII) (*)



Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)

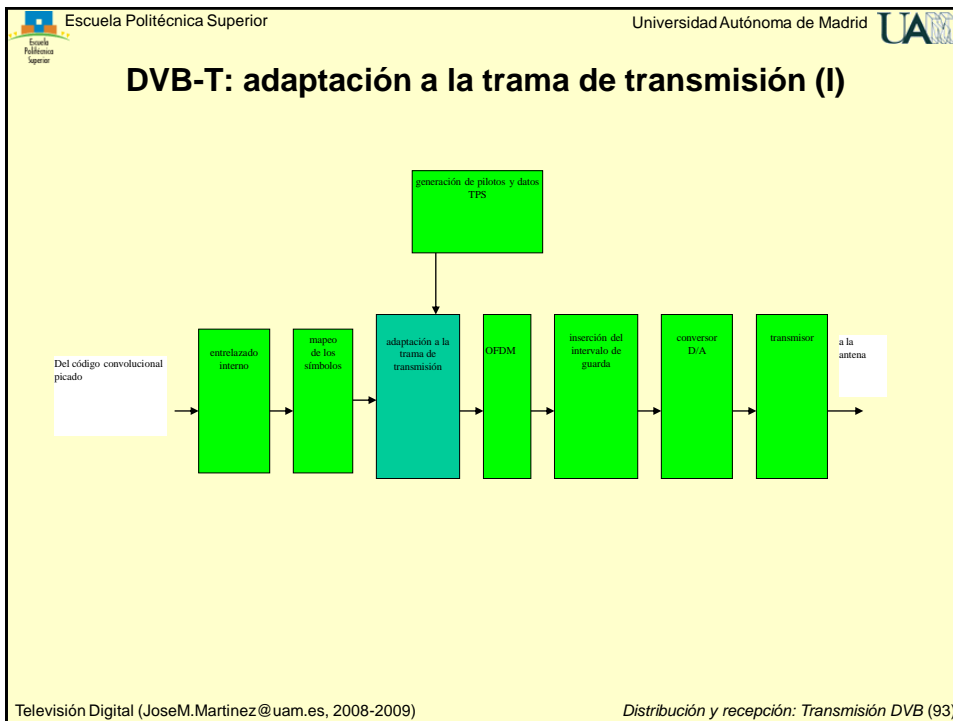
Distribución y recepción: Transmisión DVB (91)

DVB-T: Mapeo de los símbolos (VIII) (*)



Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)

Distribución y recepción: Transmisión DVB (92)



Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-T: Adaptaci3n a la trama de transmisi3n (I)

La transmisi3n de una se1al tan compleja como la se1al OFDM requiere la adici3n de un n1mero considerable de datos de se1alizaci3n y sincronizaci3n. Esta informaci3n adicional debe permitir al receptor realizar una demodulaci3n de la se1al libre de errores.

Para mantener la tasa de datos dentro de unos l1mites, los s1mbolos OFDM y los datos adicionales se combinan en una **trama de transmisi3n**. En lo que sigue, el t1rmino “s1mbolo” se aplica a todas las portadoras (6817 3 1705) que son transmitidas simult1neamente durante la duraci3n de s1mbolo T_s .

Televi3n Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribuci3n y recepci3n: Transmisi3n DVB (94)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (II)

En el caso del estándar DVB-T, normalmente se combinan 68 “símbolos” para formar la “trama de transmisión”. Las 6817 o 1705 portadoras se muestran con círculos en dirección horizontal. Por lo tanto, el eje horizontal representa el eje de frecuencias. En vertical se muestra la sucesión de símbolos 0-67).

○ datos ● pilotos continuos
 ● pilotos dispersos ● pilotos TPS

símbolo 67
 símbolo 0
 símbolo 1
 símbolo 2

frecuencia
 tiempo

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (95)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (III)

Aparte de las portadoras moduladas con la información procedente del codificador convolucional, existen otros tres tipos de portadoras (o pilotos) empleadas para transportar información de sincronización o información adicional:

- Pilotos continuos (continual pilot carriers)
- Pilotos dispersos (scattered pilot cells)
- Pilotos de señalización (TPS carriers)

Cada una de estas portadoras empleadas para la sincronización se modula individualmente.

Estas portadoras piloto pueden usarse para sincronización de trama, sincronización de frecuencia, sincronización temporal, estimación de canal, identificación de modo de transmisión, y para seguimiento del ruido de fase.

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (96)

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (IV) (*)

Cada dos portadoras adyacentes están separadas $1/T_U$.

Los distintos valores de los parámetros temporales se dan en múltiplos del periodo elemental $T=7/64$ microseg (canales 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 μ s	224 μ 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

NOTE 1: Values in italics are approximate values.
NOTE 2: Values for 8 MHz channels. Values for 6 MHz and 7 MHz channels are given in annex E, tables E.1 and E.2.

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

NOTE: Values for 8 MHz channels. Values for 6 MHz and 7 MHz channels are given in tables E.3 and E.4.

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (V)

Los “pilotos continuos” (*continual pilots*) están presentes en cada símbolo en las mismas portadoras. En el caso de 1705 portadoras existen 45 pilotos continuos (portadoras 0, 48, 54, 87,... 132, 1377, 1491, 1683, 1704). Si se trata de 6817 portadoras, hay 177 (portadoras 0, 48, 54, 87,... 6435, 6603, 6795, 6816). Esta distribución en el eje de frecuencias se elige para que dentro del canal no aparezcan periodicidades.

Estos pilotos se emplean para un primer ajuste grosero de la frecuencia del oscilador local en el receptor.

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (VI)

Los “pilotos dispersos” (*scattered pilots*) están distribuidos en la trama de transmisión siguiendo un plan definido que persigue varios objetivos:

- Disponer de un número suficiente de pilotos dentro de cada símbolo para conseguir un ajuste fino del receptor.
- Contribuir a la sincronización temporal.
- El receptor es capaz de desarrollar un análisis continuo tanto en el dominio de la frecuencia como en el del tiempo, que puede utilizarse para la evaluación de las condiciones del canal.

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (VII)

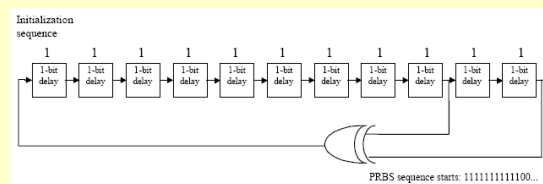
Para lograr que la información de sincronismo sea lo más robusta posible frente a errores de transmisión, los pilotos continuos y los pilotos dispersos tienen una amplitud que, comparándola con las portadoras que contienen información útil, se incrementa en un factor de 4/3 (*boosted power level*).


Además se modulan de forma independiente: portadoras en eje x fuera del “límite” de la constelación

$$\text{Re}\{c_{m,l,k}\} = 4/3 \times 2 (1/2 - w_k)$$

$$\text{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0$$

Siendo w_k una secuencia binaria pseudo aleatoria (Pseudo Random Binary Sequence –PRBS-: generador $X^{11}+X^2+1$) generando una muestra para cada nueva portadora




Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (VIII)



Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (101)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (IX)

Los “pilotos de señalización de los parámetros de transmisión” (*Transmission-Parameter Signalling pilots* o *TPS pilots*) permiten la transmisión de información adicional con la que se asegura la sincronización temporal de la trama.

Los pilotos TPS, al igual que los continuos, se encuentran en portadoras fijas para todos los símbolos (17 posiciones en el caso de 1705 portadoras y 68 con 6817 portadoras).

- Los dispersos tienen una posición diferente en cada símbolo, aunque estructurada.

Los pilotos TPS se transmiten con una amplitud que representa la amplitud media de todas las portadoras que transportan información útil (fuera de la constelación)

La información que aparece en los pilotos TPS hace referencia a:

- la técnica de modulación empleada (QPSK, 16-QAM, 64-QAM), incluyendo el factor alfa y la jerarquía
- la tasa de codificación del codificador convolucional
- la duración del intervalo de guarda.
- Modo de transmisión (2k u 8k)
- Número de trama en la supertrama
- Identificación de celda (portadora)

Debido a la importancia de los datos que transportan los pilotos TPS, éstos se protegen independientemente del resto. La modulación empleada para la transmisión de estos datos es la modulación diferencial 2-PSK.

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (102)

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (X)

Estructura de los TPS:

- Los TPS se definen para cada 68 símbolos OFDM consecutivos: una trama.
- 4 tramas consecutivas forman una super-trama.
- La secuencia de referencia correspondiente a las portadoras TPS del primer símbolo de cada trama OFDM se usa para inicializar la modulación de cada portadora TPS
- Cada símbolo OFDM lleva 1 bit TPS
- Cada bloque TPS (1 frame OFDM) transporta los siguientes 68 bits
 - o 1 bit de inicialización
 - o 16 bits de sincronización
 - o 37 bits de información (31 para uso, 6 a cero)
 - o 14 bits de redundancia para protección frente a errores
 - o Los bits 25-39 se aplican a la super-trama siguiente (el resto a la actual)

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (XI) (*)

Información de señalización en tramas TPS

Bit number	Format	Purpose/Content
s_0	see clause 4.6.2.1	Initialization
s_1 to s_{16}	0011010111101110 or 1100101000010001	Synchronization word
s_{17} to s_{22}	see clause 4.6.2.3	Length indicator (see annex F)
s_{23} , s_{24}	see table 10	Frame number
s_{25} , s_{26}	see table 11	Constellation
s_{27} , s_{28} , s_{29}	see table 12	Hierarchy information (see annex F)
s_{30} , s_{31} , s_{32}	see table 13	Code rate, HP stream
s_{33} , s_{34} , s_{35}	see table 13	Code rate, LP stream
s_{36} , s_{37}	see table 14	Guard interval
s_{38} , s_{39}	see table 15	Transmission mode (see annex F)
s_{40} to s_{47}	see clause 4.6.2.10	Cell identifier
s_{48} to s_{53}	all set to "0"	See annex F
s_{54} to s_{67}	BCH code	Error protection

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (XII) (*)

1 bit de inicialización

- Inicialización de la modulación diferencial 2-PSK
 - PRBS como el de las pilotos continuas y dispersos

16 bits de sincronización

- El primer y tercer bloque TPS de cada super-trama (0011...)
- El segundo y cuarto bloque TPS de cada super-trama (1100...)

37 bits de información (31 para uso, 6 a cero)

- 6 bits para indicar el tamaño de bits útiles del TPS
 - 010111: 23 TPS bits
 - 011111: 31 TPS bits
- 2 bits para indicar el número de trama en la super-trama
- 2 bits para indicar la modulación usada (QPSK, 16-QAM, 64-QAM, reserved)
- 3 bits para indicar la jerarquía (no jerárquica, alfa=1, alfa=2, alfa=4 / DVB-H)
- 3 bits para tasa de codificación del stream HP (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8, 3 reserved)
- 3 bits para tasa de codificación del stream LP (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8, 3 reserved)
- 2 bits para intervalo de guarda (1/32, 1/16, 1/8, 1/4)
- 2 bits para el modo de transmisión (2k, 8k, 4k, reserved)
- 8 bits para identificación de celda
 - Alternando entre tramas pares e impares
- 6 bits a cero

14 bits de protección de errores

- Se protegen los 53 bits anteriores con un código BCH(67,53,t=2) derivado de un BCH(127,133, t=2) sistemático (60 bits a cero)

$$H(x) = x^{14} + x^9 + x^8 + x^6 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (XIII)

Las portadoras TPS se transmiten a la potencia media de todas las portadoras.

Cada portadora TPS se modula 2-PSK diferencial (DBPSK) y lleva el mismo mensaje.

- La DBPSK se inicializa a cada bloque TPS

$$\operatorname{Re}\{c_{m,l,k}\} = 2(1/2 - w_k)$$

$$\operatorname{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0$$

- Y luego sigue la siguiente regla para cada bloque

$$\text{- if } s_1 = 0, \text{ then } \operatorname{Re}\{c_{m,l,k}\} = \operatorname{Re}\{c_{m,l-1,k}\}; \operatorname{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0;$$

$$\text{- if } s_1 = 1, \text{ then } \operatorname{Re}\{c_{m,l,k}\} = -\operatorname{Re}\{c_{m,l-1,k}\}; \operatorname{Im}\{c_{m,l,k}\} = 0.$$

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (XIV) (*)

Table 16: Number of Reed-Solomon packets per OFDM super-frame for all combinations of code rates and modulation forms

Code rate	QPSK		16-QAM		64-QAM	
	2K mode	8K mode	2K mode	8K mode	2K mode	8K mode
1/2	252	1 008	504	2 016	756	3 024
2/3	336	1 344	672	2 688	1 008	4 032
3/4	378	1 512	756	3 024	1 134	4 536
5/6	420	1 680	840	3 360	1 260	5 040
7/8	441	1 764	882	3 528	1 323	5 292

DVB-T: Adaptación a la trama de transmisión (XV) (*)

Table 17: Useful bitrate (Mbit/s) for all combinations of guard interval, constellation and code rate for non-hierarchical systems for 8 MHz channels (irrespective of the transmission modes)

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
64-QAM	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
	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	

NOTE: Figures in italics are approximate values for 8 MHz channels. Values for 6 MHz and 7 MHz channels are given in annex E. Values for 5 MHz channels are given in annex G.
 For the hierarchical schemes the useful bit rates can be obtained from table 17 as follows:
 - HP stream: figures from QPSK columns;
 - LP stream, 16-QAM: figures from QPSK columns;
 - LP stream, 64-QAM: figures from 16-QAM columns.

DVB-T: régimen binario útil (I)

$$R_U = R_S \times b \times CR_2 \times CR_{RS} \times (T_U/T_S)$$

where:

- R_U : the useful net data rate (Mbit/s);
- R_S : the symbol rate, 6.75 Msymbols/s;
- b : bits per carrier;
- CR_2 : inner code rate;
- CR_{RS} : Reed Solomon code rate, 188/204;
- T_U : duration of (useful) symbol part;
- T_S : symbol duration, including guard interval;
- T_U/T_S : 4/5, 8/9, 16/17 or 32/33 depending on guard interval.

Table 2: Net data rates in the DVB-T system (in Mbit/s)

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

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)

Distribución y recepción: Transmisión DVB (109)

DVB-T: régimen binario útil (II)

Table A.1: Required C/N for non-hierarchical transmission to achieve a BER = 2×10^{-4} after the Viterbi decoder for all combinations of coding rates and modulation types

Modulation	Code rate	Required C/N for BER = 2×10^{-4} after Viterbi QEF after Reed-Solomon			Bitrate (Mbit/s)			
		Gaussian channel	Ricean channel (F_1)	Rayleigh channel (P_1)	$\Delta/T_U = 1/4$	$\Delta/T_U = 1/8$	$\Delta/T_U = 1/16$	$\Delta/T_U = 1/32$
QPSK	1/2	3,1	3,6	5,4	4,98	5,53	5,85	6,03
QPSK	2/3	4,9	5,7	8,4	6,64	7,37	7,81	8,04
QPSK	3/4	5,9	6,8	10,7	7,46	8,29	8,78	9,05
QPSK	5/6	6,9	8,0	13,1	8,29	9,22	9,76	10,05
QPSK	7/8	7,7	8,7	16,3	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	8,8	9,6	11,2	9,95	11,06	11,71	12,06
16-QAM	2/3	11,1	11,6	14,2	13,27	14,75	15,61	16,09
16-QAM	3/4	12,5	13,0	16,7	14,93	16,59	17,56	18,10
16-QAM	5/6	13,5	14,4	19,3	16,59	18,43	19,52	20,11
16-QAM	7/8	13,9	15,0	22,8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,4	14,7	16,0	14,93	16,59	17,56	18,10
64-QAM	2/3	16,5	17,1	19,3	19,91	22,12	23,42	24,13
64-QAM	3/4	18,0	18,6	21,7	22,39	24,88	26,35	27,14
64-QAM	5/6	19,3	20,0	23,3	24,88	27,65	29,27	30,16
64-QAM	7/8	20,1	21,0	27,9	26,13	29,03	30,74	31,67

NOTE 1: Figures in italics are approximate values.

Quasi Error Free (QEF) means less than one uncorrected error event per hour, corresponding to BER = 10^{-11} at the input of the MPEG-2 demultiplexer.

NOTE 2: The net bit rates after the Reed-Solomon decoder are also listed.

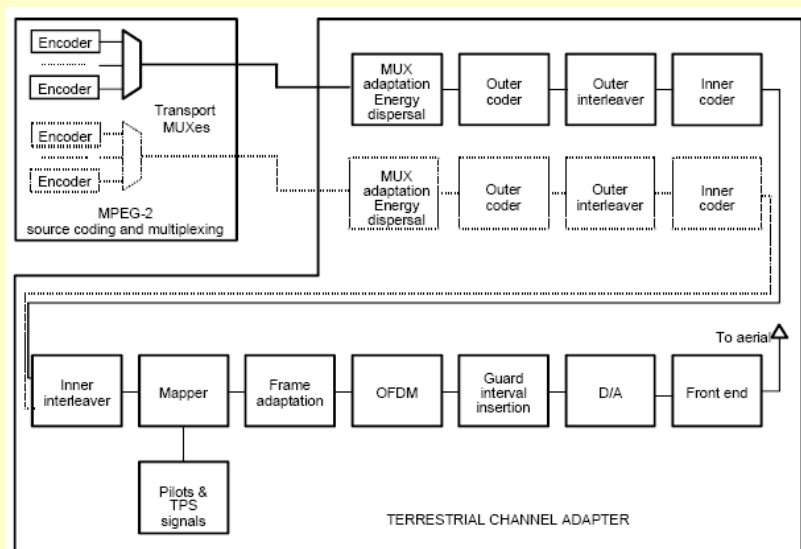
Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)

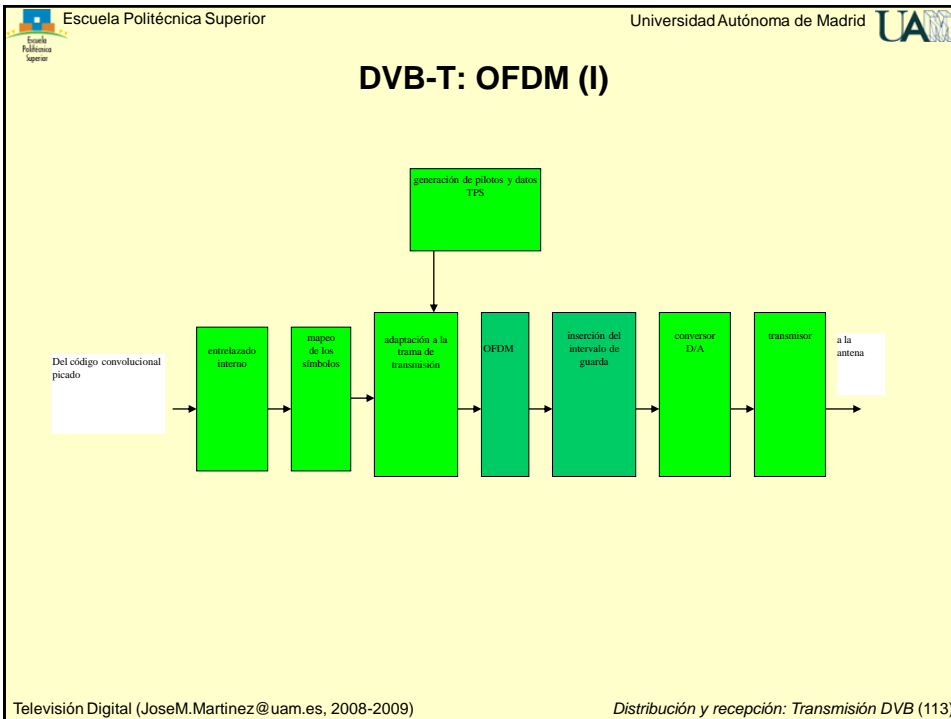
Distribución y recepción: Transmisión DVB (110)

DVB-T: parámetros en España

- Modulación de portadoras 64-QAM
- Canales de 8 MHz
- Picado del código convolucional 2/3
- Intervalo de guarda $\frac{1}{4}$
- Régimen binario útil: 19,91 Mbps

DVB-T: diagrama de bloques tx





Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid

DVB-T: OFDM (I)

A diferencia de las comunicaciones por satélite donde hay un solo camino directo desde el transmisor al receptor, en un escenario clásico de difusi3n terrestre, nos tenemos que enfrentar a un canal multicamino: La se1al llega al receptor por varios caminos de diferente longitud. Debido a que estas mltiples versiones de la se1al original interfieren entre s3 (ISI *Inter Symbol Interference* "Interferencia Entre S3mbolos"), puede llegar a ser muy dif3cil extraer la informaci3n original.

Los ecos individuales que llegan al receptor var3an en amplitud y retardo. Por superposici3n con la se1al original, pueden causar fluctuaciones en la funci3n de transferencia del canal. Un valor característico de estos desvanecimientos del canal viene dado por la relaci3n entre la potencia de la se1al recibida directamente y la potencia total de todos los ecos.

Mediante la utilizaci3n de ecualizadores es posible compensar las distorsiones en el dominio de la frecuencia. Sin embargo, los retardos de los ecos pueden exceder la duraci3n del s3mbolo. Este significa que cierto n3mero de s3mbolos afectan a otros. Para reducir la interferencia entre s3mbolos (ISI) se deber3a emplear un filtro de un orden muy elevado, lo que har3a que su implementaci3n fuese muy costosa (en los receptores).

Es posible minimizar el n3mero de s3mbolos afectados por otros aumentando la duraci3n del s3mbolo transmitido (**reduciendo la velocidad de s3mbolo**). Esto se lleva a cabo a trav3s de una transmisi3n en paralelo de varios s3mbolos. Si, por ejemplo, la informaci3n que debe ser transmitida se reparte en 1000 s3mbolos que modulan 1000 portadoras diferentes, por cada s3mbolo individual hay un intervalo de tiempo disponible que antes de cambiar a la transmisi3n en paralelo estaba ocupado por los 1000 s3mbolos transmitidos secuencialmente.

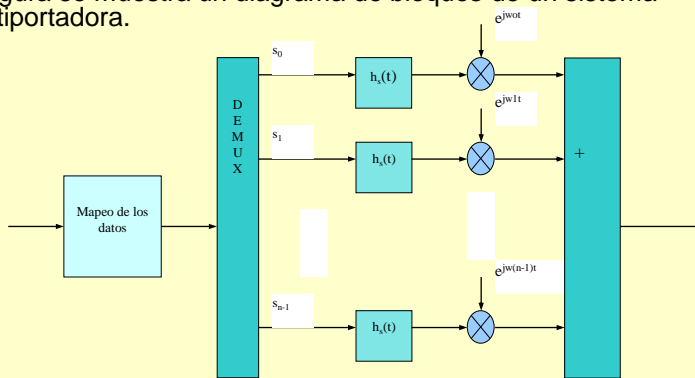
Televi3n Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribuci3n y recepci3n: Transmisi3n DVB (114)

DVB-T: OFDM (II)

El fundamento de la modulación OFDM reside en la utilización de múltiples portadoras moduladas con símbolos que contienen la información a transmitir. La señal se organiza en periodos de duración T_s . La relación entre el periodo del símbolo activo T_u y la separación entre portadoras f_o viene dada por: $f_o = 1/T_u$.

- $w_i = iw_o$

En la figura se muestra un diagrama de bloques de un sistema multiportadora.



Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)

Distribución y recepción: Transmisión DVB (115)

DVB-T: OFDM (III)

Tras mapear el flujo de bits, en cada una de las ramas hay un filtrado para conformar la señal así como un modulador que modula el símbolo en la posición de frecuencia deseada. Después, estas señales se unen en un símbolo multiportadora. La complejidad de este procedimiento crece con el número de ramas como consecuencia del aumento de filtros y moduladores, por lo que este tipo de implementación presenta unos costes muy importantes.

Un caso especial de estas técnicas multiportadoras es la modulación OFDM. En ésta tenemos dos variantes respecto al número de portadoras utilizadas. En la primera se utilizan 2048 portadoras (OFDM 2K, donde $K = 1024$) y en la segunda 8192. (OFDM 8K).

Las portadoras cumplen la condición de ser ortogonales entre sí ($\omega_k = 2\pi k f_o$ donde $k = 0, 1, 2, \dots, n-1$ y $f_o = 1/T_u$ es la frecuencia base)

La señal OFDM se computa con la Transformada Discreta de *Fourier* Inversa (IDFT), la cual puede ser implementada eficientemente como una Transformada Rápida de *Fourier* Inversa (IFFT). Una gran ventaja derivada de esta elección de las frecuencias es la reducción de la complejidad tanto del transmisor, como, sobre todo, del receptor. En éste solamente se necesita una Transformada Rápida de *Fourier* (FFT) para invertir la operación.

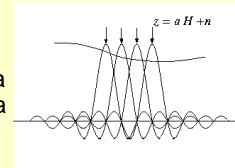
Los símbolos transmitidos tienen, en el dominio del tiempo, forma de pulso rectangular. De acuerdo con los teoremas de *Fourier*, un pulso rectangular en el dominio del tiempo se transforma en una señal *sinc* en el dominio de la frecuencia.

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009)

Distribución y recepción: Transmisión DVB (116)

DVB-T: OFDM (IV) (*)

Como se observa en la figura, los espectros de las subportadoras no están separados sino superpuestos. Debido a la ortogonalidad de las subportadoras la información transmitida sobre ellas puede ser recuperada a pesar de esta superposición.



Mediante el empleo de la IFFT para modular la señal, implícitamente se elige la separación de las subportadoras de forma que en la frecuencia donde se evalúa la señal recibida (indicadas mediante flechas en la figura), todas las demás señales son cero.

Para preservar esta condición de ortogonalidad, se debe cumplir:

- El receptor y el transmisor deben estar perfectamente sincronizados. Esto significa que ambos deben asumir la misma frecuencia de modulación y la misma escala de tiempos en la transmisión.
- Los componentes analógicos de ambos (transmisor y receptor) deben ser de muy alta calidad
- No debería haber propagación multicamino.

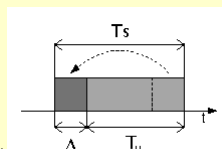
DVB-T: OFDM (V)

Como se ha visto, en difusión terrenal siempre hay multicamino. Sin embargo existe una solución para este problema: los símbolos OFDM se prolongan artificialmente repitiendo periódicamente la "cola" de cada símbolo y poniéndola delante de él (ver figura). Esta parte añadida se denomina "intervalo de guarda". En recepción se elimina este intervalo de guarda. Como la longitud del intervalo de guarda es superior al máximo retardo del canal, las reflexiones de los símbolos previos no afectan al símbolo actual y se preserva la ortogonalidad de las portadoras. De este modo, los transitorios que podrían dañar la información transmitida ocurren en el periodo del intervalo de guarda.

Por el contrario, esta protección provoca la pérdida de capacidad de transmisión del canal. La eficiencia se ve reducida por el factor:

$$\eta = T_u / (T_u + \Delta)$$

Los símbolos transmitidos se ven afectados entonces por un factor que representa la respuesta al impulso del canal (H) y por el ruido gaussiano (n).



DVB-T: OFDM (VI) (*)

Para finalizar este repaso a la modulación OFDM, vamos a desarrollar un ejemplo de elección del intervalo de guarda en el que se observa su importancia.

Suponemos que operamos en redes de frecuencia única (SFN *Single Frequency Network*). En estas redes, todos los transmisores están sincronizados en frecuencia, es decir todos emiten lo mismo a la vez y en la misma frecuencia.

De este hecho se derivan una serie de ventajas:

- Se consigue un mejor aprovechamiento del espectro.
- Se requiere menor potencia de transmisión debido a la ganancia interna. La adición de señales provenientes de dos transmisores cercanos pertenecientes a la red, produce esta ganancia denominada **ganancia de red**.
- Es fácil dotar de cobertura a zonas nuevas mediante transmisores que empleen la misma frecuencia.

También cuentan con algún inconveniente:


- No es posible la división de la red. Es necesaria la creación de una red por cada ámbito de radiodifusión (local, regional, nacional).
- Si los servicios difundidos son distintos de los iniciales, la red deja de ser útil, puesto que se provocarían interferencias.
- La máxima diferencia entre transmisores y receptores o repetidores en las redes SFN es de 60 km. La longitud del intervalo de guarda debe elegirse de acuerdo a esta distancia. Por esto, como mínimo la duración del intervalo de guarda debe ser de 200 μs ($200 \mu\text{s} \cdot 300000 \text{ km/s} = 60 \text{ km}$) para cancelar los posibles ecos surgidos en el área de cobertura por propagación multicamino.

DVB-T: OFDM (VII) (*)

Como se ha dicho anteriormente, el periodo del intervalo de guarda implica una reducción en el tiempo disponible para la transferencia de información, con lo que se reduce la capacidad del canal. Por esto, la longitud del intervalo de guarda debe mantenerse relativamente inferior comparada con la duración de símbolo T_s . Por otro lado, una larga duración de símbolo implica un periodo útil de símbolo T_u también largo, con lo que se reduce la separación entre portadoras. Esta reducción puede producir problemas a la hora de recuperar la señal.

Siguiendo con el ejemplo, se puede fijar el periodo de símbolo T_s cinco veces superior al intervalo de guarda: $T_s = 5 \cdot 200 \mu\text{s} = 1 \text{ ms}$. El periodo útil (T_u) será igual a 800 μs y la separación entre portadoras será de $1/800 \mu\text{s} = 1.25 \text{ kHz}$. Si se supone que se emplea la variante 8K, en las que se utilizan para transmisión 6048 portadoras y que cada portadora se modula con una 64-QAM, la capacidad total de transmisión resulta ser de 36 Mbit/s ($6048 \cdot 6 \text{ bit/símbolo} \cdot 1 \text{ símbolo/ms} = 36 \text{ Mbit/s}$).

En el estándar DVB-T, se encuentran cuatro valores posibles para el intervalo de guarda, representados como un porcentaje del tiempo útil: $1/4$, $1/8$, $1/16$ y $1/32 \cdot T_u$.


Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

DVB-T: OFDM (VIII)

Los valores elegidos por el DVB-T son los siguientes:

	2K	8K
Número de portadoras	1705	6817
Duración útil de símbolo T_U	224 μ s
Separación entre portadoras
.....

Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (121)

Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid 

DVB-T: OFDM (IX)

La duración total de símbolo en cada variante es, dependiendo de los valores del intervalo de guarda 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32:

- 8K: 1120 μ s, 1008 μ s, 952 μ s o 924 μ s
- 2K: 280 μ s, 252 μ s, 238 μ s, o 231 μ s.

Asumiendo que cada portadora se modula con una 64-QAM, se puede calcular, por ejemplo, la capacidad de transmisión para la variante 8K con $T_g = 1/4$:

- $(6817 \text{ portadoras} \cdot 6 \text{ bit/portadora})/1120 \mu\text{s} = 36.52 \text{ Mbit/s (total)}$
- $(6048 \text{ portadoras} \cdot 6 \text{ bit/portadora})/1120 \mu\text{s} = 32.40 \text{ Mbit/s (info)}$

Si se utiliza como tasa de codificación del codificador convolucional el valor 2/3, la capacidad de transmisión útil quedaría:

- $32.40 \text{ Mbit/s} \cdot 2/3 \cdot 188/204 = 19,91 \text{ Mbit/s (info)}$

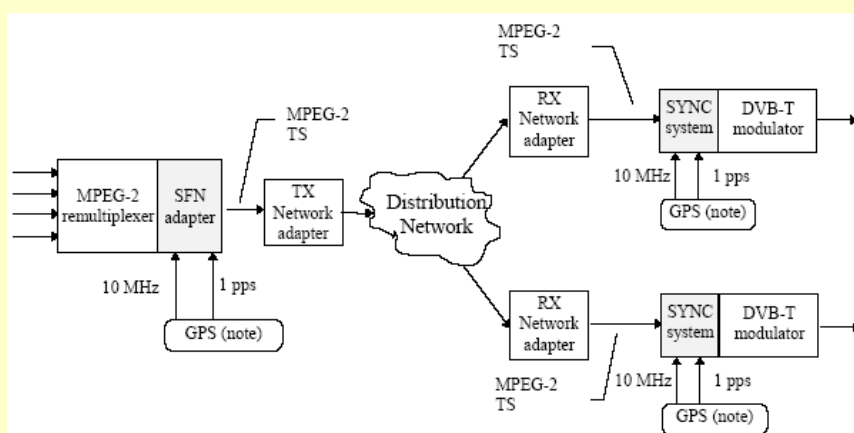
Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (122)

DVB-T: SFN (I)

DVB-T permite implementar redes de frecuencia única

- Una única frecuencia para dar cobertura nacional
- El retraso de las señales no puede ser mayor que el intervalo de guarda
 - Reflexiones => ruido
- Super-tramas para sincronizar transmisores
 - MIP (Megaframe Initialization Packets): sincronización transmisores

DVB-T: SFN (II) (*)



NOTE: Could be any common available frequency reference.

DVB-T: SFN (III)

Adaptador SFN en el transmisor

- Define el comienzo de la supertrama
- Ajusta la velocidad del flujo TS al valor adecuado a los parámetros de transmisión seleccionados
 - o 8 tramas 8k ó 32 tramas 2k
- Inserta los MIPs
 - o PID propio (0x15)
 - o Identifica a la siguiente mega-trama

Adaptadores de red

- Buffer para acomodar el máximo retardo de red (1 segundo)

Adaptadores SFN en los “repetidores” (sincronizadores)

- Ajusta el retardo local basándose en los valores dinámicos de los MIPs
- Se compensa el retardo entre STS y la referencia de tiempo del repetidor

Mediante GPS se obtiene referencia (temporal de un 1 pps y frecuencial de 10 MHz)

- STS: Synchronization Time Stamps (se insertan en MIP)
- Podrían usarse otros sistemas de referencia (pero no son globales)

DVB-T: SFN (IV) (*)

Syntax	Number of bits	Identifier
<code>mega-frame_initialization_packet() {</code>		
<code>transport_packet_header</code>	32	bslbf
<code>synchronization_id</code>	8	uimbsf
<code>section_length</code>	8	uimbsf
<code>pointer</code>	16	uimbsf
<code>periodic_flag</code>	1	bslbf
<code>future_use</code>	15	bslbf
<code>synchronization_time_stamp</code>	24	uimbsf
<code>maximum_delay</code>	24	uimbsf
<code>tps_mip</code>	32	bslbf
<code>individual_addressing_length</code>	8	uimbsf
<code>for (i=0; i<N; i++) {</code>		
<code>tx_identifier</code>	16	<i>uimbsf</i>
<code>function_loop_length</code>	8	<i>uimbsf</i>
<code>for (i=0; i<N; i++) {</code>		
<code>function ()</code>		
<code>}</code>		
<code>}</code>		
<code>crc_32</code>	32	rpchof
<code>for (i=0, i<N, i++) {</code>		
<code>stuffing_byte</code>	8	uimbsf
<code>}</code>		
<code>}</code>		

NOTE 1: Optional parameters are shown in italic.

NOTE 2: All parameter values in the MIPM apply to mega-frame M+1, i.e. to the mega-frame pointed out by the pointer, except for the tps_mip which describes the parameters of mega-frame M+2. See annex C for details.

NOTE 3: For the definition of the CRC decoder model, see annex A.

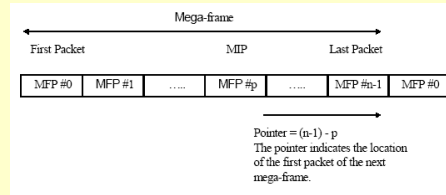
NOTE 4: The length of a MIP shall always be 188 bytes.

DVB-T: SFN (V) (*)

MIP (Megaframe Initialization Packet): uno por mega-trama

MPEG-2 TS packet:

- 4 bytes de cabecera
- 184 de información
- Cabecera
 - PID 0x15
 - Payload_unit_start_indicator '1'
 - Transport_priority_value '1'
 - Transport_scrambling_control '00'
 - Adaptation_field_control '01'
 - Resto según MPEG-2 sistemas
- Identificador de sincronización (SFN)
- Tamaño de sección (<=182)
- Puntero: número de paquetes hasta inicio mega-trama
- Bandera de periodicidad
- STS
 - Diferencia entre referencia y comienzo real de megatrama M+1
- Retardo máximo entre la salida de la megatrama M+1 en transmisión y su comienzo en el "repetidor" SFN
- Identificación de TPS
 - 32 bits (subset de TPS)
 - identifica megatrama M+2 –el resto megatrama M+1-



Distribución y Recepción de Señales de Televisión Digital Transmisión DVB

- *Introducción*
- *Etapas comunes DVB-C/S/T*
- *Etapas comunes DVB-S/T*
- *DVB-S*
- *DVB-C*
- *DVB-T*
- **Introducción al DVB-H**
- Anexo: Mapas de cobertura DVB-T/H/S/C
- Referencias

Introducción al DVB-H

Es una especificación basada en DVB-T para la transmisión de televisión digital a dispositivos móviles (e.g., móviles, PDAs)

- Gracias al modo jerárquico se puede transmitir en el mismo flujo DVB-T y DVB-H
- Difusión eficiente de datos encapsulados IP sobre DVB-T
- Compartición de espectro con DVB-T
- Hace modificaciones a otras especificaciones DVB (e.g., SI, DATA)
- Se usa conjuntamente con DVB-IPDC (DVB Internet Protocol series)
- Optimizado para bajo consumo
 - o Time Slicing: cada servicio se transmite a ráfagas, de forma que el terminal se enciende solamente cuando se emite el servicio que está seleccionado

Introducción al DVB-H: DVB-H vs. DVB-T (I)

DVB-H puede ir dentro de un múltiplex DVB-T (backward compatibility)

MPE (Multi-Protocol Encapsulation): permite transportar protocolos de datos sobre MPEG-2 TS

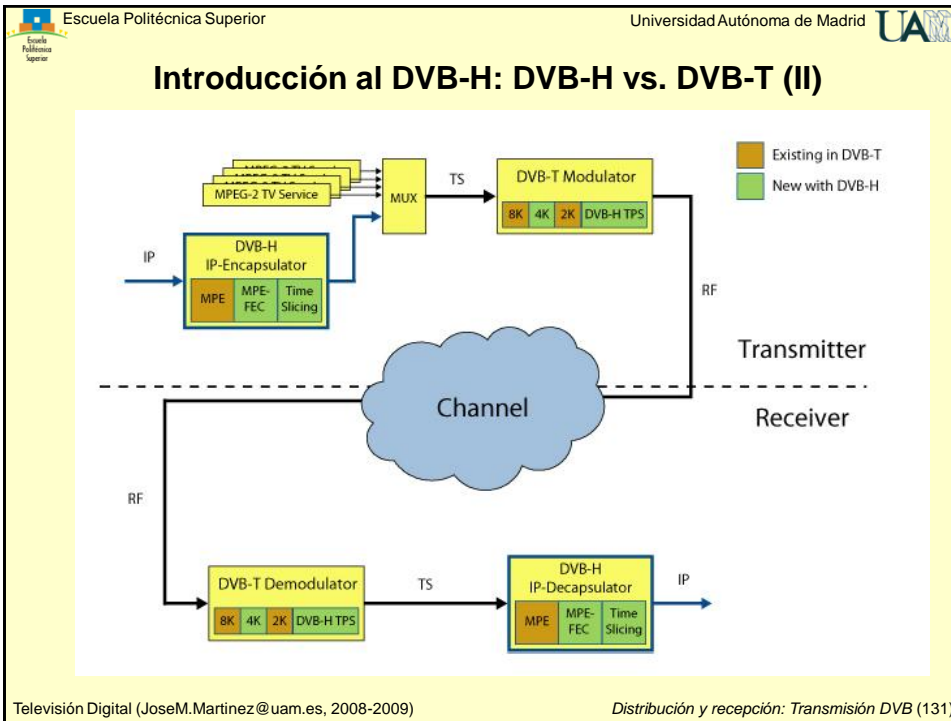
Incluye un mecanismo de FEC para mejorar el funcionamiento en movilidad

Añade un modo 4k a los ya existentes (2k y 8k)

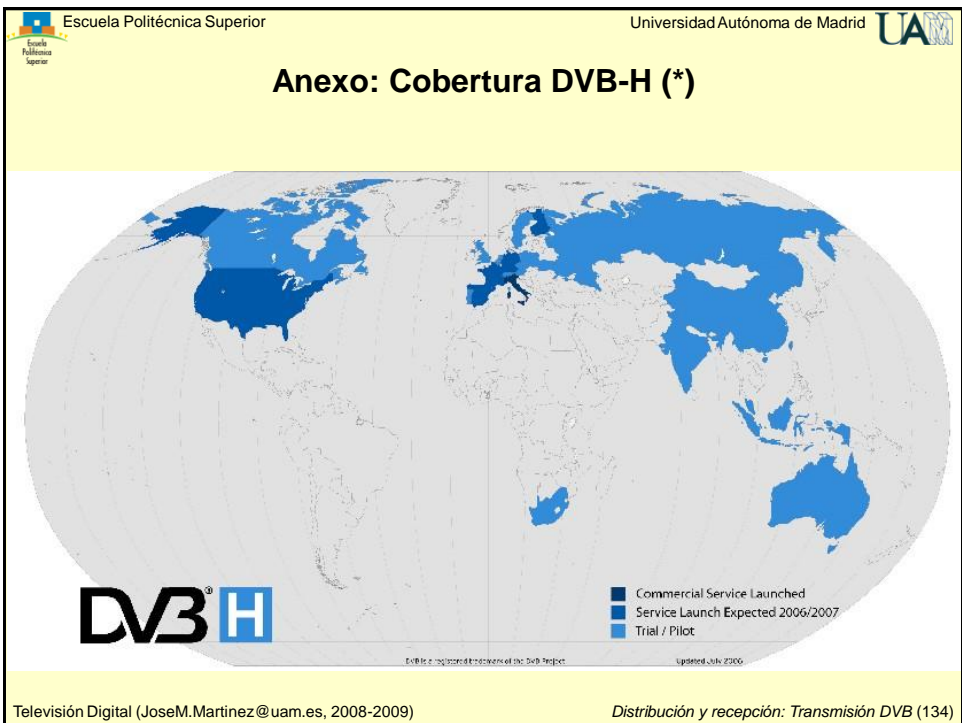
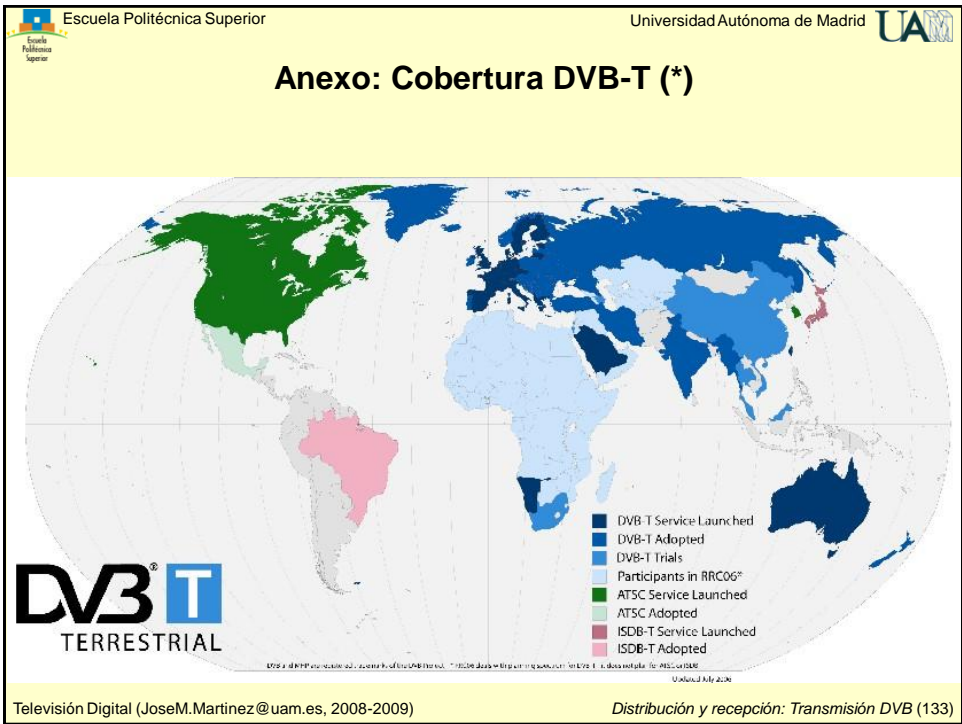
Añade un entrelazador para los modos 2k y 4k para mejorar el funcionamiento frente a ruido impulsivo (robustez similar a 8k)

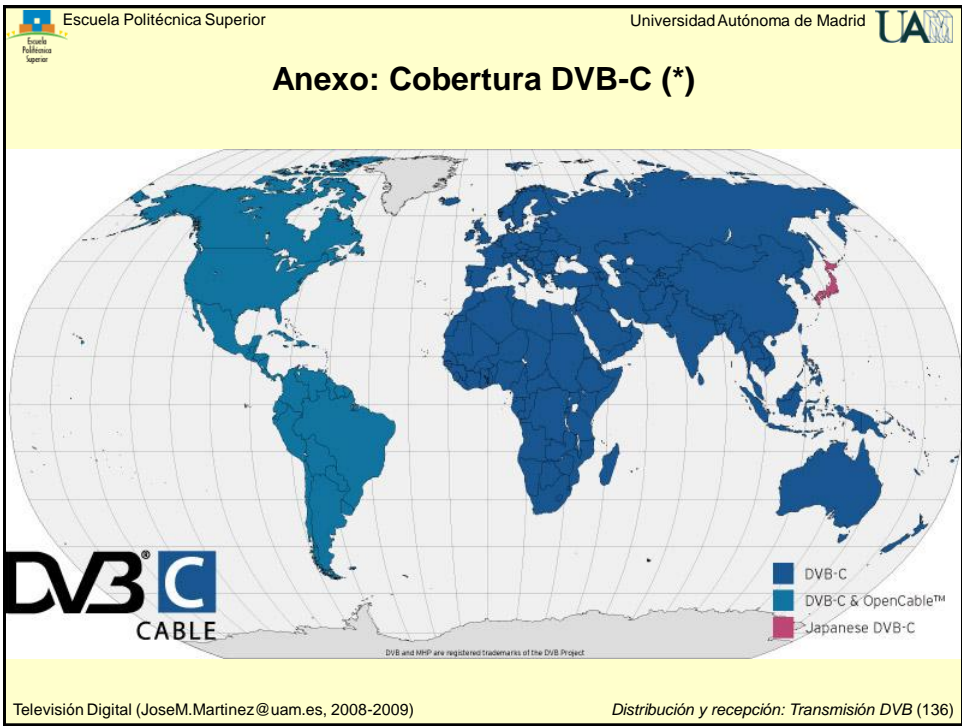
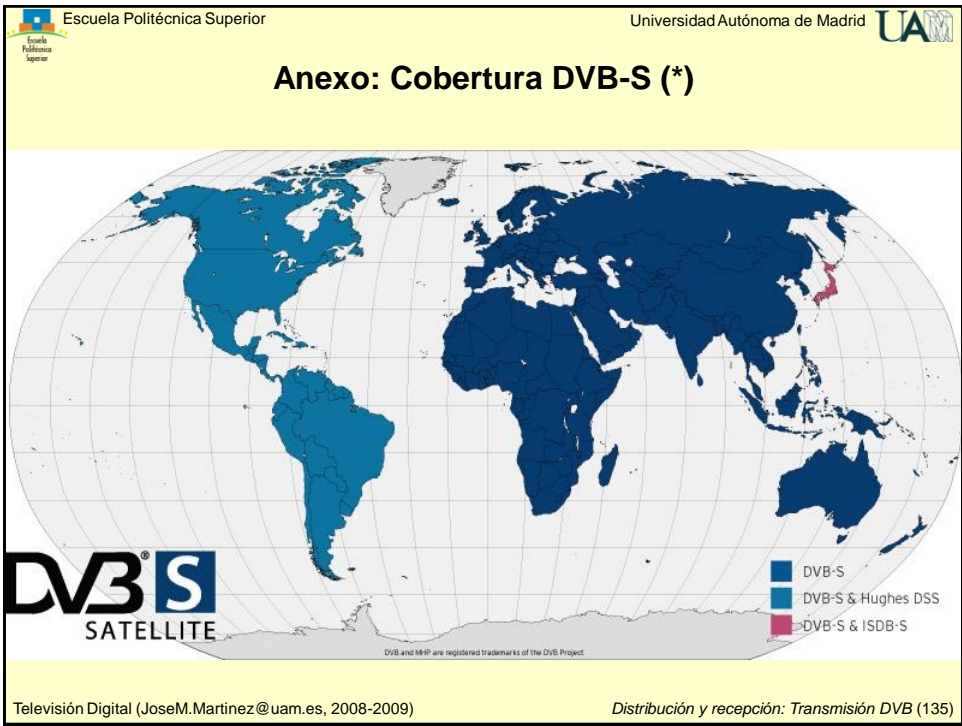
No permite SFN

No permite difusión de datos



- Escuela Politécnica Superior Universidad Autónoma de Madrid
- ## Distribución y Recepción de Señales de Televisión Digital Transmisión DVB
- *Introducción*
 - *Etapas comunes DVB-C/S/T*
 - *Etapas comunes DVB-S/T*
 - *DVB-S*
 - *DVB-C*
 - *DVB-T*
 - *Introducción al DVB-H*
 - **Anexo: Mapas de cobertura DVB-T/H/S/C**
 - *Referencias*
- Televisión Digital (JoseM.Martinez@uam.es, 2008-2009) Distribución y recepción: Transmisión DVB (132)





Distribución y Recepción de Señales de Televisión Digital Transmisión DVB

- *Introducción*
- *Etapas comunes DVB-C/S/T*
- *Etapas comunes DVB-S/T*
- *DVB-S*
- *DVB-C*
- *DVB-T*
- *Introducción al DVB-H*
- *Anexo: Mapas de cobertura DVB-T/H/S/C*
- **Referencias**

Referencias

- ETSI EN 300 421 v1.1.2 (1997-08): Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services
- EN 300 429 v1.2.1 (1998-04): Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for cable systems
- ETSI EN 300 744 v1.5.1 (2004-11): Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television
- ETSI TS 101 191 v1.4.1 (2004-06): Digital Video Broadcasting (DVB); DVB mega-frame for Single Frequency Network (SFN) synchronization
- ETSI TR 101 198 v1.1.1 (1997-09): Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation of Binary Phase Shift Keying (BPSK) modulation in DVB satellite transmission systems
- ETSI TR 101 190 v1.2.1 (2004-11): Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for DVB terrestrial services; Transmission aspects
- ETSI EN 302 304 v1.1.1 (2004-11): Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission system for handheld terminals (DVB-H)
- ETSI TR 102 377 v1.2.1 (2005-11): Digital Video Broadcasting (DVB); DVB-H implementation guidelines
- <http://www.dvb.org/>
- U. Reimers, "DVB: The Family of International Standards for Digital Video Broadcasting", 2nd ed., Springer, 2005.



Distribución y Recepción de Señales de Televisión Digital Transmisión DVB

- *Introducción*
- *Etapas comunes DVB-C/S/T*
- *Etapas comunes DVB-S/T*
- *DVB-S*
- *DVB-C*
- *DVB-T*
- *Introducción al DVB-H*
- *Anexo: Mapas de cobertura DVB-T/H/S/C*
- *Referencias*