

2.- DVB

2.1.- Introducción

DVB (**D**igital **V**ideo **B**roadcasting) es la organización encargada de promocionar los estándares para la televisión digital a nivel internacional, así como de la creación de dichos estándares. Actualmente está constituida por más de 270 instituciones y empresas pertenecientes a todo el mundo.

Los estándares propuestos por esta organización han sido ampliamente aceptados en Europa y la mayor parte de países de otros continentes, a excepción de Estados Unidos, Canadá y México, que utilizan el estándar ATSC en lugar de DVB-T, o Japón, donde se usa principalmente el estándar ISDB.

En los estándares promovidos por DVB, los procedimientos de codificación de las fuentes de vídeo y audio están basados en los estándares definidos por MPEG. No obstante, los estándares MPEG sólo cubren aspectos y metodologías utilizados en la compresión de las señales de audio y vídeo así como procedimientos de multiplexación y sincronización de las señales en tramas de programa o de transporte. Una vez definida la trama de transporte es necesario definir los sistemas de modulación de las señales que se utilizarán para los distintos tipos de radiodifusión (satélite, cable y terrena), los tipos de códigos de protección frente a errores y los mecanismos de acceso condicional a los servicios y programas.

Existen diversos estándares creados por la organización DVB en función de las características del sistema de radiodifusión. Los más importantes son:

- Televisión terrestre: **DVB-T**, **DVB-T2** y para dispositivos móviles **DVB-H**.
- Cable: **DVB-C** y **DVB-C2**.
- Satélite: **DVB-S** y **DVB-S2** y para dispositivos portátiles **DVB-SH**.

También se definen estándares que definen las características de la señalización en el canal de retorno (medio por el cual el usuario se comunica con el proveedor de servicios o contenidos) en sistemas de televisión interactiva, la estructura de transmisión de datos para el cifrado y descifrado de programas de acceso condicional, la transmisión de subtítulos, y la radiodifusión de datos (nuevos canales de teletexto) mediante sistemas digitales.

2.2.- El proyecto DVB

En el año 1991 se empieza a pensar en crear una plataforma de televisión digital para todo el continente europeo pero extensible a otros países del mundo. Así, a finales de este mismo año, un numeroso grupo conformado principalmente por organismos de radiodifusión, empresas tecnológicas de consumo y órganos reguladores empiezan a discutir la formación de un grupo para el desarrollo de la televisión digital en Europa. Este grupo, que comienza llamándose **ELG** (European Launching Group), intentó abarcar a todos los grupos interesados, desde gobiernos a empresas de electrónicas tanto del sector público como privado.

En Septiembre de 1993 se firma el MoU (**M**emorandum **o**f **U**nderstanding, Principio de acuerdo), mediante el que se establecen las bases a seguir. A partir de este momento el grupo cambia su nombre por el que actualmente se le conoce, Digital Video Broadcasting Project (DVB) y ya contaban con más de 80 miembros. El trabajo de desarrollo para la televisión digital en Europa realizado hasta la fecha amplió sus horizontes para que cualquier país del mundo pudiese acogerse a este nuevo proyecto.

Paralelamente, otro grupo, el “Working Group on Digital Television”, preparaba un estudio sobre las posibilidades de la televisión digital terrestre en Europa. Este estudio introducía importantes conceptos, tales como la televisión de alta definición (HDTV) o la televisión en equipos portables.



Fig. 2.1: Estándares para la televisión digital en el mundo

2.3.- Estándares más importantes

2.3.1.- DVB-S

DVB-S es el estándar del proyecto DVB para la transmisión vía satélite. La primera versión data de 1994, aunque el estándar como tal estuvo en desarrollo desde 1993 hasta el año 1997. La primera plataforma comercial en utilizarlo fue Canal+ Francia. El éxito del estándar DVB-S permitió incrementar la capacidad de transmisión de datos de televisión digital a través del satélite UH11, gracias al manejo del formato de vídeo MPEG2. La estructura permite mezclar en una misma trama un gran número de servicios, como audio, vídeo y datos.

Para transmisiones vía satélite se adoptó la modulación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) y presenta un flujo binario variable desde los 18,4 hasta los 48,4 Mbits/s. Si bien la norma DVB-S sólo especifica las características físicas y del enlace, el flujo de transporte emitido utiliza el MPEG2, conocido como MPEG-TS.

El estándar puede utilizarse con satélites que tengan transpondedores con ancho de banda entre los 26 y 47 MHz. En el caso de España, algunos satélites con dicha tecnología son *ASTRA*, *HISPASAT*, *TELECOM* o *EUTELSAT*.

Uno de los anchos de banda más comunes para un transpondedor de un sistema de satélite DBS (Direct Broadcast Satellite, Difusión Directa por satélite) es de 36 MHz. Con este ancho de banda es posible obtener 28 millones de símbolos por segundo, consiguiendo una capacidad de transmisión por transpondedor de 56 Mbits/s con una modulación 4-PSK. Como resultado de todo es una velocidad útil de 39 Mbits/s, que se van a traducir en 8 canales por transpondedor. Así, por ejemplo, con los 5 transpondedores que posee HISPASAT se pueden conseguir hasta 40 canales de televisión.

2.3.1.1.- Flujo de Transporte

El proceso de empaquetamiento de la información se realiza según la trama de transporte común al MPEG2. Para crear esta trama se utiliza el método de flujo de transporte realizando el encapsulado de la siguiente manera:

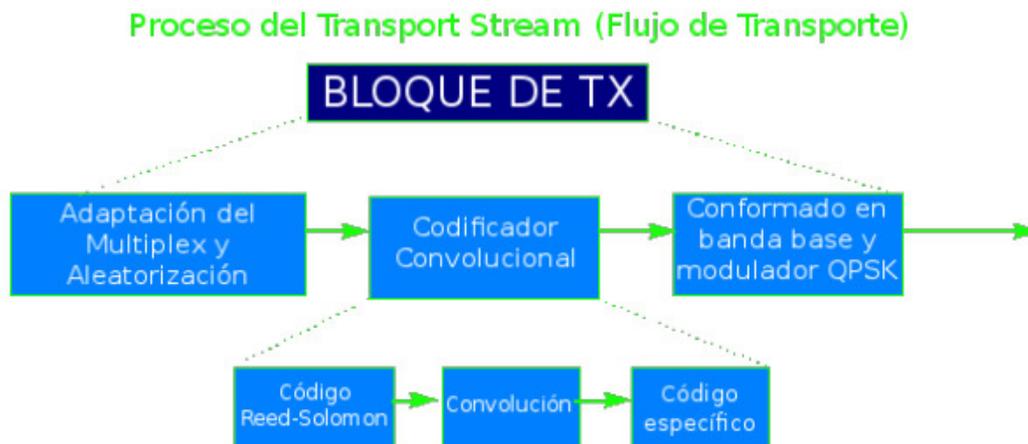


Fig. 2.2: Flujo de Transporte en DVB-S

El vídeo, el audio y el resto de los datos (información específica, información del servicio o los datos del abonado para el acceso condicional) se insertan en los paquetes de transporte del MPEG2. Después de esto se invierten los bytes de sincronización cada 8 paquetes.

- Los contenidos de cada paquete se aleatorizan (scrambling), a excepción de aquellos que incluyan la Información Específica de Servicio (PSI). De esta manera se consigue el acceso condicional y otra serie de ventajas, como una mayor protección frente a errores, uniformar el uso de la banda disponible o facilitar la sincronización.
- Permite multiplexar varios flujos de paquetes de transporte en un único flujo de transporte multiprograma.
- Permite la protección contra errores en dos etapas: una primera fase, llamada “outer code”, que utiliza un código Reed-Solomon, añade un 12% de sobrecarga a los datos útiles; la segunda fase, “inner code”, utiliza un código convolutional definido por los distintos proveedores de servicios según sus propias necesidades.
- Finalmente se modula la señal QPSK y es retransmitida a través del correspondiente transpondedor del canal en cuestión.

Con todo este proceso la señal se adecua a las propiedades del canal concreto para su correcta transmisión.

2.3.2.- DVB-S2

La segunda versión del estándar DVB-S fue lanzada al público en el año 2003 y ratificada por la ETSI dos años más tarde, en marzo de 2005. Durante el desarrollo de dicho estándar se desarrollan dos códec de vídeo de alta definición: el HDTV y el H.264 (MPEG-4 AVC). El sistema permite la transición de MPEG-2 o MPEG-4 en cualquier combinación (sólo uno, los dos o incluso combinando audio y vídeo de un tipo y de otro).

El estándar DVB-S2 permite la utilización de las modulaciones QPSK, 8PSK, 16PSK o 32PSK con codificación concatenada. Este nuevo sistema está basado en el anterior estándar (DVB-S). Las dos características más importantes que añade DVB-S2 frente a DVB-S son:

- VCM (Variable Coding and Modulation, Codificación y Modulación Variable) que optimiza los parámetros de la transmisión para diferentes usuarios.
- Cambios en los parámetros de la codificación en tiempo real (ACM, Adaptive Coding and Modulation, Codificación y Modulación Modificable).

DVB-S2 se utiliza para emitir la televisión en definición estándar (SDTV) o en alta definición (HDTV) o para servicios interactivos con acceso a internet, donde los contenidos generados por el usuario se pueden enviar por cable, ADSL o conexión vía satélite. También puede emplearse para aplicaciones profesionales, que multiplexan los datos en tiempo real y se envían en la banda VHF/UHF. Opcionalmente puede hacerse compatible con el estándar anterior (DVB-S), pero reduciendo el ancho de banda en un 30%.

Para la total implantación del estándar DVB-S2 frente a DVB-S se estiman que sean necesarios unos 15 años, siendo el mayor obstáculo para este cambio el coste de actualización de los equipos transmisores del satélite.

2.3.3.- DVB-C

El estándar DVB-C nace en diciembre de 1994. El sistema transmite basándose en las familias digitales MPEG-2 y MPEG-4, tanto para vídeo como para audio, empleando para ello una modulación QAM, desde 16-QAM hasta 256 QAM, para la televisión y los servicios de radiodifusión. Esta norma es seguida actualmente por todo tipo de operadores de cable del mundo.

Debido a la existencia de una gran demanda en servicios de televisión digital, muchos operadores de cable ya han actualizado sus redes, desplegando mayoritariamente la modulación 256-QAM (con la que se consiguen 50 Mbits/s útiles por cada canal de cable) así como un aumento de la gama de frecuencias disponibles utilizadas para transmisión, con un máximo de 862 MHz. También empiezan a surgir operadores de cable que ofrecen un abanico de televisión analógica y simultáneamente varios cientos de canales de televisión digital, junto a los nuevos y sofisticados servicios añadidos (como interactividad y/o personalización de los servicios).

Aun así, la demanda de servicios más avanzados continúa obligando a los operadores de cable a buscar nuevas formas de ofrecer productos avanzados. Debido a ello gran parte de los operadores de cable que poseen redes híbridas de fibra óptica con coaxial (HFC) están optimizando el rendimiento para mejorar las prestaciones con los sistemas de modulación que permite el DVB-C.

Es precisamente la demanda de servicios más sofisticados por parte de los usuarios lo que ha llevado al desarrollo de un nuevo estándar, el DVB-C2, con el que se espera suministrar a la industria del cable servicios con tecnología punta por al menos otros diez años.

2.3.4.- DVB-C2

En 2007, un estudio llevado a cabo por el departamento técnico del organismo DVB, identificó diversas tecnologías que podían ser consideradas como alternativas de éxito a la especificación existente, DVB-C. De esta manera surge, el 18 de febrero de 2008, la segunda versión del estándar de DVB para cable, el DVB-C2.

Este nuevo estándar surge, principalmente, por las siguientes razones:

- Necesidad de una mayor capacidad de transporte en redes de cable para los nuevos servicios, tales como HDTV, VoD (vídeo bajo demanda) y otros servicios interactivos.
- Necesidad de los operadores de cable de permanecer competitivos y flexibles.
- Necesidad de los operadores de cable de ser capaces de retransmitir señales recibidas vía satélite o de redes terrestres usando complejos esquemas de modulación.
- Necesidad de tener más y mejores herramientas proporcionando nuevas oportunidades de expansión a los distintos operadores en mercados residenciales o de negocios.

2.4.- DVB-T

2.4.1.- Introducción

El estándar de televisión digital denominado DVB-T (Terrestrial Digital Video Broadcasting), y recogido en el estándar ETSI (European Telecommunications Standards Institute) EN 300 744, especifica los procesos de codificación de canal y de modulación para un adecuado funcionamiento cuando se usan los canales de transmisión terrestre. Como en el resto de estándares DVB, la señal de entrada normalizada es la denominada “MPEG-2 Transport Stream” (TS) o “Flujo de transporte MPEG-2”.

Dicho “Flujo de Transporte” (TS), obtenido mediante el proceso denominado “*Codificación de Fuente*” es una adaptación del estándar MPEG-2 según la norma ISO/IEC 138-1 que se estructura multiplexando varios programas y añadiendo la “*Información del Servicio*” (SI) correspondiente, según ETS 300 468.

El sistema DVB-T es muy flexible, disponiéndose de una serie de opciones:

- 2 modos de transmisión: 2k (1705 portadoras) u 8k (6817 portadoras).
- 3 esquemas de modulación: QPSK, 16-QAM y 64-QAM.
- 5 relaciones de codificación para protección interna de errores: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, y 7/8.
- 4 longitudes para el intervalo de guarda: 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32.
- Modulación jerárquica o no jerárquica con diferentes valores del parámetro α .

Un aspecto a destacar de la modulación utilizada, OFDM (que se verá con más detalle en el capítulo 4) es que permite la separación, tanto en áreas pequeñas como grandes, de “Redes de Frecuencia Única” (Single Frequency Networks, SFN). Esto posibilita la recepción cuando se radian idénticos programas desde diferentes transmisores que operan en la misma frecuencia. En estas condiciones se obtiene la máxima eficiencia del espectro, lo cual adquiere especial relevancia cuando se usan en las bandas UHF asignadas para TV.

En **Fig. 2.3** se muestra de manera esquemática el diagrama de bloques funcionales del sistema DVB-T.

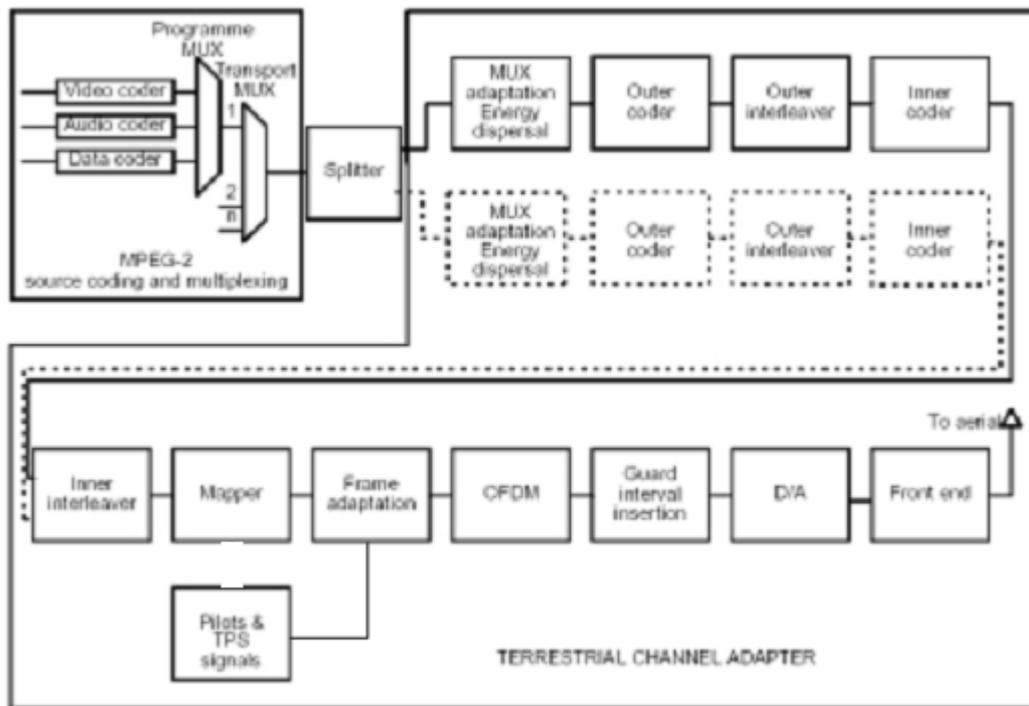


Fig. 2.3: Diagrama de Bloques de un sistema DVB-T

En la figura anterior, marcados con puntos, podemos ver los bloques funcionales para transmisiones jerárquicas. En el caso mostrado podemos ver 2 flujos de transporte, uno de ellos es de “alta prioridad” (“HP”) que tiene baja velocidad y, por tanto, menor calidad de imagen, y que modula las portadoras con un esquema de modulación muy robusto frente al ruido (QPSK); mientras el segundo flujo de transporte, denominado de “baja prioridad” (“LP”) complementa al anterior en cuanto a velocidad y calidad de imagen y combina su información con el anterior de forma que las portadoras son moduladas finalmente con un esquema más exigente en cuanto a relación señal/ruido. En el caso de que este último flujo de transporte utilice 4 bits por cada 2 bits de alta prioridad, se alcanzaría una constelación total para la señal emitida de 64-QAM. En la zona del área de cobertura donde se reciba la señal con buena relación S/N, la imagen recuperada, de alta calidad, corresponderá a la combinación de los dos flujos (alta y baja prioridad) mientras que en el caso contrario (baja relación S/N) la calidad de imagen recibida será peor, correspondiendo sólo al flujo de alta prioridad.

A continuación veremos, muy brevemente, algunas de las características más importantes del estándar.

2.4.2.- Codificación de Canal

Los “Paquetes de Transporte” del multiplex de entrada “Transport Stream” en formato MPEG-2 tienen una longitud de 188 bytes, utilizándose el primer byte como sincronización.

2.4.2.1.- Adaptación y Dispersión de Energía

Para asegurar la “*dispersión de la energía*” del espectro radiado, la señal de entrada debe hacerse cuasi-aleatoria, de forma que se eviten largas series de ceros o de unos. Por esta razón, el multiplex de entrada debe ser “aleatorizado”, lo cual se consigue mediante un proceso cuyo esquema se muestra en la **Figura 2.4**.

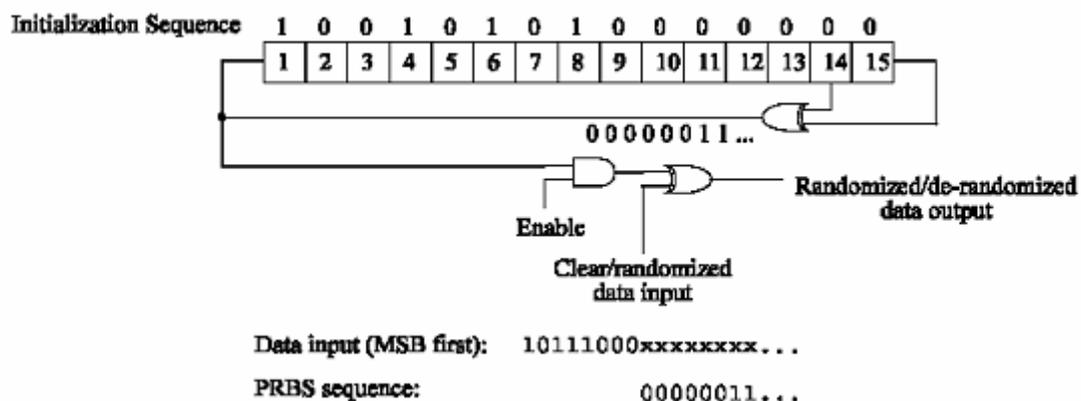


Fig. 2.4: Generador PRBS para la dispersión de energía del Flujo de Transporte

El proceso es el siguiente: el primer bit en la salida del generador PRBS se aplica al primer bit (el MSB) del primer byte que sigue al byte de sincronización invertido del TS y así sucesivamente con los demás bits. Para ayudar al resto de funciones de la sincronización, durante los bytes de sincronismo de los otros 7 paquetes, la generación PRBS continúa, pero está deshabilitada, dejando estos bytes intactos.

El proceso descrito debe permanecer activo incluso cuando no exista flujo de transporte a la entrada o cuando éste no cumpla con el formato estándar MPEG-2.

2.4.2.2.- Codificación Externa

Para permitir la corrección de errores (FEC) en la recepción, se introduce una cierta redundancia en la estructura de los paquetes de transporte, procedimiento que se conoce como codificación.

La *codificación externa* se emplea en todos los estándares DVB y se complementa con otra codificación, *codificación interna*, en el caso de los estándares de transmisión vía satélite y terrestre.

La *codificación externa* usada es de tipo Reed-Solomon, RS (204, 188, t=8), que es una versión acortada de la codificación original. Mediante esta codificación se añaden 16 bytes de paridad a los primeros 188 de cada paquete de transporte, resultando un total de 204 bytes.

En todas las condiciones pueden corregirse hasta un total de 8 bytes erróneos, de ahí la denominación del código: RS (204, 188, t=8).

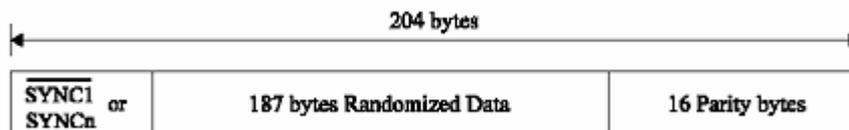


Fig. 2.5: Codificación Reed-Solomon

El proceso de entrelazado convolucional de basa en la aproximación de Forney [1]. Los bytes de datos entrelazados, pertenecientes a los paquetes de transporte protegidos, están delimitados por los bytes de sincronización MPEG-2 invertidos y no invertidos, que no sufren alteración alguna. El entrelazado preserva, por tanto, la periodicidad de 204 bytes de los paquetes de transporte. El resultado del proceso de entrelazado es que cada byte de los paquetes de transporte se encuentra desplazado en el tiempo, con lo que los bytes originales de un paquete de transporte quedarán repartidos entre dos paquetes consecutivos.

Todo este proceso reduce los errores por ráfagas introducidos por el canal de transmisión (errores que afectan a varios bytes consecutivos), ya que después de la reordenación de los datos en el receptor, estos errores se habrán distribuido entre paquetes sucesivos, lo que favorecerá que no se excedan los límites en los que la codificación Reed-Solomon puede recuperar la información original.

2.4.2.3.- Codificación Interna

Después de la codificación y entrelazado externos, los datos se someten a un nuevo proceso de codificación y entrelazado, *codificación interna*. Este tipo de codificación es de tipo convolucional.

El codificador, con frecuencia llamado erróneamente de “Viterbi” debido al algoritmo en recepción para la decodificación, está orientado al bit y distribuye en dos salidas el flujo de datos original a base de combinar (mediante sumas módulo-2) los datos de entrada con los obtenidos en las tomas situadas detrás de una serie de registros de desplazamiento.

La gran redundancia obtenida mediante esta codificación hace muy potente la corrección de errores cuando éstos son aleatorios, generalmente asociados a una baja relación señal/ruido del canal de transmisión utilizado. Sin embargo reduce a la mitad la capacidad del canal.

2.4.2.4.- Entrelazado Interno

El *entrelazado interno* se compone de un primer proceso de entrelazado relativo al bit que va seguido de un entrelazado de símbolos. Ambos, el relativo al bit y el entrelazado de símbolos están basados en bloques.

- **Entrelazado de bits**

El *entrelazado de bits* se realiza por bloques y sólo actúa sobre los datos útiles. El tamaño del bloque es de 126 bits para todos los entrelazadores, aunque la secuencia de entrelazado es diferente de unos a otros. El citado tamaño de los bloques implica que este proceso se repite un número exacto de veces por cada símbolo OFDM tanto si usa el estándar 2k como si se usa el 8k:

	Estándar 2k	Estándar 8k
Nº portadoras activas para datos:	1512	6048
Bits totales por símbolo OFDM:	v x 1512	v x 6048
Nº entrelazadores de bits:	v	v
Repetición del entrelazado (nº de veces por símbolo OFDM):	$(v \times 1512) / (v \times 126) = 12$	$(v \times 6048) / (v \times 126) = 48$

Las salidas de los “v” entrelazadores se agrupan para formar palabras ($y'w$) de “v” bits, de manera que se toma cada vez un único bit de la entrada de cada entrelazador.

- **Entrelazado de símbolos**

El *entrelazado de símbolos* se realiza sobre las anteriores palabras $y'w$ conteniendo cada una de ellas “v” bits, de forma que a la salida del entrelazador queden agrupadas en bloques cuyo tamaño está calculado para que los datos se puedan distribuir directamente entre las 1512 portadoras (modo 2k) o 6048 (8k) portadoras activas que tiene cada símbolo OFDM.

2.4.3.- Modulación OFDM

El principio de la modulación OFDM consiste en distribuir el flujo binario de información entre un gran número de portadoras de forma que cada una maneja una velocidad de datos reducida con respecto a la del flujo total. En consecuencia, la duración “ T_u ” de los símbolos aumenta respecto al caso de modular una sola portadora, haciendo de esta forma la señal más robusta frente a interferencias por trayectos múltiples (ecos) ya que el retardo de éstos resulta ser muy pequeño comparado con la duración citada.

Para fortalecer todavía más la señal transmitida frente a los ecos, se amplía la duración de los símbolos añadiendo un tiempo Δ denominado “intervalo de guarda” a la duración útil T_u , con lo que la duración total del símbolo pasa a ser:

$$T_s = T_u + \Delta$$

El tiempo Δ del intervalo de guarda se mide en fracciones de la duración útil T_u del símbolo, disponiéndose de 4 posibles valores:

$$\Delta/T_u = \quad 1/4 \quad 1/8 \quad 1/16 \quad 1/32$$

2.4.3.1.- Capacidad del Canal de Transmisión

El estándar 2k tiene 1705 portadoras totales en cada símbolo OFDM mientras que el estándar 8k tiene 6817 portadoras.

Ahora bien, no todas las portadoras están moduladas por los datos procedentes de la “Codificación de Canal”. Sólo 1512 portadoras en modo 2k ó 6048 portadoras en modo 8k son útiles para datos.

Llamando “ F_T ” al flujo binario total transportado por las portadoras útiles para datos, éste vendrá dado por:

$$F_T = f_s \cdot v \cdot L \text{ (bits/seg)}$$

Siendo

f_s : Frecuencia de los símbolos (símbolos/seg) ($f_s = 1/T_s$).

T_s : Duración del símbolo.

v : nº de bits/portadora (función del esquema de modulación).

L : nº de portadoras activas para datos.

La capacidad del canal o flujo binario útil “ F_u ” resultará de descontar del flujo binario total las redundancias incluidas en la codificación interna y en la codificación Reed-Solomon, es decir:

$$F_u = F_T \cdot r \cdot 188/204 \text{ (bits/s)}$$

Siendo “ r ” la relación de codificación interna.

2.4.3.2.- Portadoras Piloto

Un símbolo OFDM está compuesto por conjuntos de K elementos, correspondiendo cada uno de ellos a una portadora ($K=1705$ elementos en el modo 2k y $K=6817$ elementos en el modo 8k).

Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, los datos procedentes de la “Codificación de canal” modulan solamente 1512 portadoras en modo 2k ó 6048 portadoras en modo 8k, que son las portadoras activas para datos contenidas en cada símbolo OFDM.

Esto significa que, además de las portadoras para datos, la señal transmitida incluye portadoras cuya utilidad es la siguiente:

- Portadoras *Pilotos Continuas*, para sincronización del receptor en frecuencia y fase.
- Portadoras *Pilotos Dispersas*, para generación del canal en amplitud y fase en el receptor.
- Portadoras *TPS* con la información del modo transmitido.

La incorporación de estas portadoras pilotos exige reorganizar la señal transmitida en *Tramas*:

- Cada trama, con duración “ T_F ” consiste en 68 símbolos OFDM, que se numeran de 0 a 67. En consecuencia, $T_F = 68T_s$.
- Una “Súper-Trama” está formada por 4 Tramas tanto en modo 2k como 8k.
- Una “Mega-Trama” está formada por 32 tramas en el caso del estándar 2k y 8 tramas para el caso de que se trate del estándar 8k.

El número de portadoras pilotos es el siguiente:

	<i>Modo 2k</i>	<i>Modo 8k</i>	
Continuas	45	177	
Dispersas	131	524	
TPS	17	68	
Portadoras de datos	<u>1512</u>	<u>6048</u>	
TOTAL	1705	6817	Portadoras

▪ **Localización de las Portadoras Pilotos Continuas**

A diferencia de lo que ocurre con las Portadoras Pilotos Dispersas, las posiciones que ocupan estas portadoras en cada símbolo OFDM son siempre las mismas.

▪ **Localización de las Portadoras Piloto Dispersas**

Llamando:

“m”: Número de la trama.

“l”: Número del símbolo dentro de la trama ($0 \leq l \leq 67$).

“k”: Índice de la portadora dentro de cada símbolo OFDM ($0 \leq k \leq k_{\max}$), donde $k_{\max} = 6816$ en modo 8k y $k_{\max} = 1704$ en modo 2k.

Para el símbolo “l” de una determinada trama, los índices “k” que corresponden al subconjunto de Portadoras dispersas vienen dado por:

$$k = 3 \times (l \bmod 4) + 12p$$

siendo “p” un número entero $p \geq 0$ que debe cumplir la condición de que el valor resultante “k” no exceda el valor de k_{\max} correspondiente al estándar de que se trate.

▪ Portadoras TPS

Las portadoras TPS sirven para señalar los parámetros correspondientes al esquema de transmisión empleado, es decir, para informar de todo lo relativo a la Codificación de Canal y a la Modulación usadas para la transmisión.

Estas portadoras TPS se transmiten en paralelo, ocupando 17 posiciones de cada símbolo OFDM en el estándar 2k y 68 posiciones en el estándar 8k.

2.5.- Otros estándares de transmisión digital

2.5.1.- Estándar ATSC

Designado también como DTV (Digital Television) fue el primer sistema de televisión digital y fue adoptado por la Comisión Federal de Comunicación de los Estados Unidos en noviembre de 1953. Actualmente está siendo adoptado, además de por Estados Unidos, por Canadá, México y Corea del Sur.

La entrada digital al sistema de transmisión de ATSC es un flujo de transporte MPEG-2, síncrono y continuo a una tasa binaria de 19.39 Mbits/s. Este flujo de datos en serie está formado por paquetes MPEG de 187 bytes más un byte de sincronismo, dando lugar a una carga útil de información de 19.2895 Mbits/s. Dicha carga útil puede incluir paquetes codificados de vídeo o audio digitales y/o datos adicionales y llega al modulador a través de un cable coaxial de 75 Ω y un conector BNC de entrada. El nivel

de la señal de salida es de $0.8 \text{ V} \pm 10\%$ pico a pico. Los datos de sincronismo (reloj) van embutidos en la carga útil. El ancho de banda del canal RF es de 6 MHz.

La señal de salida del modulador es una señal modulada en amplitud, con vestigio de señal lateral, de ocho niveles. Por lo general, la salida del modulador es a una frecuencia intermedia entre la banda base y la frecuencia de salida de RF, por ejemplo 41 MHz. Dicha frecuencia intermedia, así como el nivel de salida y otras características, dependen de la elección del fabricante.

El modulador, de manera similar a otros estándares, cumple dos funciones esenciales: primero, realiza la codificación del canal y segundo, la modulación propiamente dicha. La señal de salida del modulador pasa a un conversor ascendente que la traslada a la frecuencia del canal RF. El codificador convolucional, que forma parte del codificador del canal, entrega un código picado (punctured code) de tasa $2/3$ ya que cada bit alterno lo codifica en dos bits y el bit intermedio no lo codifica. En otras palabras, por cada dos bits de entrada produce tres bits de salida que luego son entrelazados o intercalados por un entrelazador de 12 símbolos.

Los paquetes de transporte MPEG-2 en los estándares ATSC, DVB a ISDB son de 187 bytes más un byte de sincronismo que no se somete a codificación del canal. En ATSC la codificación del bloque (Reed-Solomon), agrega 20 bytes de redundancia, de modo que el paquete completo, incluyendo el byte de sincronismo, es de 208 bytes a los que se designa como segmentos de datos. Con 8 bits/byte y 3 bits por símbolo, un segmento de datos tiene una longitud de $208 \times 8/3 \times 3/2 = 832$ símbolos, de los cuales 828 constituyen los datos codificados mediante R-S y los otros cuatro son símbolos de sincronismo del segmento. En total se tienen $3 \times 832 = 2496$ símbolos/segmento, de los que 2484 son de datos y 12 de sincronismo de segmento. La estructura del segmento de datos se ilustra en la **Fig. 2.6**

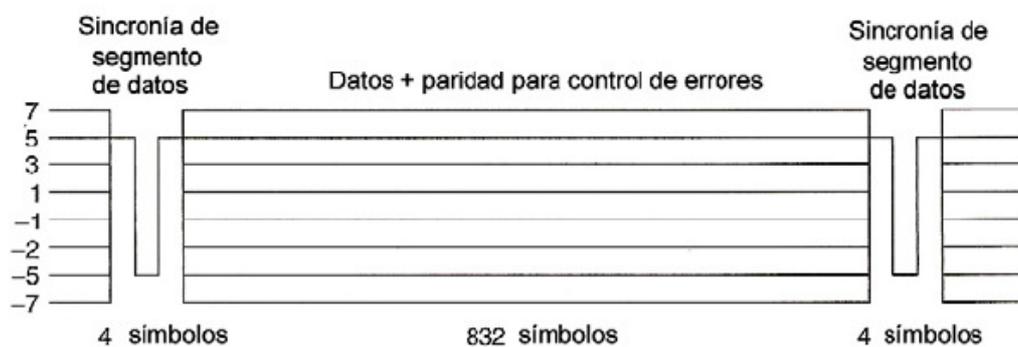


Fig. 2.6: Estructura del segmento de datos

A una tasa binaria de 32.28 Mb/s, la duración por bit es de 31 ns, de modo que la duración de un segmento es de $77.3 \mu\text{s}$, es decir, 12.94 segmentos por segundo. Para barrido entrelazado se tienen 313 segmentos/campo, con lo que la duración de un campo

es de 24.2 ms y la frecuencia de campo resulta de 41.3 kHz. La frecuencia de cuadro es la mitad de la frecuencia de campo, es decir, 20.66 kHz.

2.5.2.- Estándar ISDB-T

Este estándar fue desarrollado por el Grupo de Expertos en Radiodifusión Digital (DiBEG) en Japón que incluye radiodifusión de televisión digital, sonido y servicios de datos y se designa como Radiodifusión Digital de Servicios Integrados (ISDB) e incluye los estándares para servicios terrestres, por cable y por satélite, de manera similar a DVB. El estándar ISDB-T es, en muchos aspectos, similar al DVB-T, si bien una diferencia importante es el uso de OFDM en bandas segmentadas (BST-OFDM).

En ISDB-T, uno o varios flujos de transporte se remultiplexan para generar un flujo único de transporte (TS). Este TS se somete a procesos múltiples de codificación de canal, de acuerdo con los objetivos del servicio y se transmite finalmente como una señal OFDM única. En ISDB-T también es posible el entrelazado en tiempo, con el objeto de proporcionar una codificación de canal más potente para recepción móvil, donde las considerables variaciones de nivel de la señal recibida son inevitables.

Para transmisión de televisión, el espectro consiste en 13 bloques sucesivos de OFDM, también designados como segmentos OFDM, donde el ancho de banda de cada segmento es igual a 1/14 del ancho de banda de un canal de televisión. Esta configuración en segmentos permite el uso del mismo receptor tanto para televisión como para recepción de señales de radiodifusión de audio digital.

La codificación de canal se realiza en términos de segmentos, de modo que una parte de un canal de televisión puede utilizarse para servicio fijo y el resto para servicios móviles. Cada capa de la jerarquía consiste en uno o más segmentos y para cada uno se pueden especificar parámetros tales como el esquema de modulación de portadoras, tasa de codificación interna (picado) y longitud del intercalado en tiempo. Se tienen hasta tres capas jerárquicas en que el segmento empleado para recepción parcial, también cuenta como capa jerárquica.

La codificación del canal en ISDB-T es más compleja que en DVB y el orden de la codificación de bloque y dispersión de energía (aleatorización) se intercambian, como se ilustra en la **Fig. 2.7**

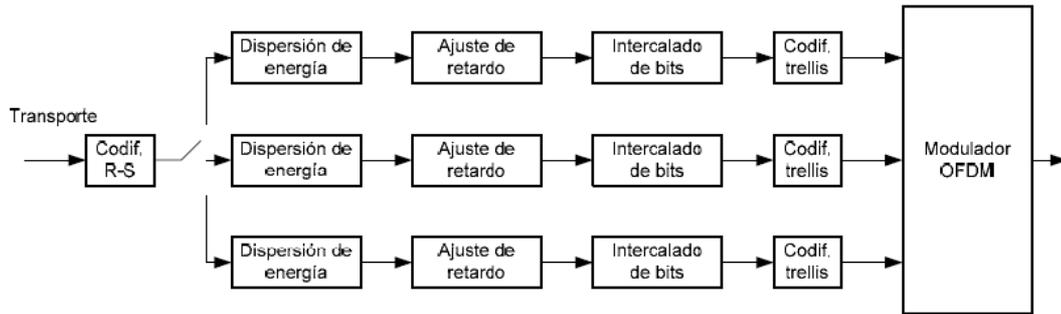


Fig. 2.7: Diagrama de bloques de la codificación de canal en ISDB-T

La dispersión de energía, ajuste de retardo, intercalado de bits y codificación convolucional se aplican a cada segmento de datos por separado, lo que permite que el intercalado y la tasa de código del codificador interno, así como la constelación de señales, pueda seleccionarse independientemente para cada capa jerárquica. El intercalado a nivel de bit difiere para cada capa, dependiendo de la codificación de canal y de la modulación. Para compensar esto se inserta un ajuste de retardo antes del intercalado.

La salida de los codificadores convolucionales (o codificadores de Trellis) de cada capa se aplican al modulador OFDM de forma similar a DVB, lo que implica el cómputo de la IFFT para generar portadoras múltiples en cuadratura. Dependiendo del modo de transmisión, el número de portadoras varía de 1405 a 5617, de las que el número de portadoras activas varía de 1249 a 4993. El ancho de banda ocupado por la información es aproximadamente de 5.6, 6.5 y 7.4 MHz para los canales de RF de 6, 7 y 8 MHz respectivamente.

Además de las tres constelaciones usuales en DVB-T (QPSK, 16QAM y 64QAM), en ISDB también se utiliza DPSK (modulación diferencial en cuadratura de fase).

Una vez llevada a cabo la modulación, la señal de salida ISDB-T está generada y el resto del sistema transmisor, al igual que en otros sistemas, tiene por finalidad la conversión de la salida de FI del modulador a la frecuencia del canal de RF y la amplificación subsiguiente para alcanzar el nivel de potencia requerido para la transmisión.