

3.- DVB-T2

3.1.- Introducción

DVB-T2 es el estándar de transmisión digital de segunda generación desarrollado por el DVB Project. Introduce las últimas modulaciones y las últimas técnicas de codificación para permitir un uso eficiente del espectro para el reparto de audio, vídeo y servicios de datos fijos. DVB-T2 no está diseñado para reemplazar a DVB-T a corto o medio plazo; ambos estándares coexistirán en el mercado durante muchos años.

Como su predecesor, DVB-T2 utiliza modulación OFDM (Orthogonal Frequency División Multiplexer) con un gran número de subportadoras. También, en concordancia con DVB-T, el nuevo estándar ofrece distintos rangos de modos de operación haciéndolo más flexible. DVB-T2 emplea la misma codificación que el estándar DVB-S2, codificación LDPC (Low Density Parity Check) en combinación con BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquengham) ofreciendo un comportamiento excelente en presencia de altos niveles de ruido e interferencias, dando lugar a una señal muy robusta.

Se permiten diversas opciones en algunos parámetros como en el número de portadoras, el tamaño del intervalo de guarda y las portadoras piloto, por lo que la sobrecarga puede ser minimizada para determinados canales de transmisión. Además, una nueva técnica, denominada Rotación de Constelación, proporciona una robustez adicional en canales difíciles.

Además, DVB-T2 especifica un método de diversidad de transmisión, conocido como codificación Alamouti [2], que mejora la cobertura en redes de una sola frecuencia (redes SFN). Finalmente, se ha definido una forma para que el estándar pueda ser completamente mejorado en un futuro a través de lo que se conoce como Future Extension Frames.

	DVB-T	DVB-T2
FEC	Convolutional Coding + Reed Solomon 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8	LPDC + BCH 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Modes	QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM
Guard Interval	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 19/256, 1/8, 19/128, 1/16, 1/32, 1/128
FFT size	2k, 8k	1k, 2k, 4k, 8k, 16k, 32k
Scattered Pilots	8% of total	1%, 2%, 4%, 8% of total
Continual Pilots	2.6% of total	0.35% of total

Fig. 3.1: Comparación entre DVB-T y DVB-T2

En países donde DVB-T ya está operando, la transición DVB-T a DVB-T2 tendrá que darse paulatinamente, si se quiere que prospere; los servicios ofrecidos por ambos estándares coexistirán durante un tiempo. Además se ha comprobado, por experiencias en Australia (donde se usa DVB-T con una codificación de vídeo MPEG2) y de Francia (DVB-T con una codificación de vídeo MPEG4) que es posible ofrecer servicios de alta definición (HDTV) sin necesidad del nuevo estándar. No obstante, los precios de los equipos DVB-T2 caerán durante los próximos años, lo que convertirá al nuevo estándar en la primera opción para llevar los servicios de televisión digital a países donde éstos no existan.

3.2.- Visión general sobre DVB-T2

En este apartado se pretende dar una visión general sobre los sistemas para la emisión de la televisión digital de segunda generación (Second-Generation Digital Terrestrial Broadcasting, DVB-T2).

3.2.1.- Capa Física

El modelo genérico para la capa física para sistemas DVB-T2 se representa en la **Fig. 3.2**. La entrada del sistema puede tener uno o más Flujos de Transporte, TS (MPEG Transport Stream) que pueden ser modificados por un pre-procesador a la entrada del sistema T2. Cada señal de entrada tiene una correspondencia única con un canal de datos en el modulador. A estos canales se les conoce como PLPs (Physical-Layer Pipes).

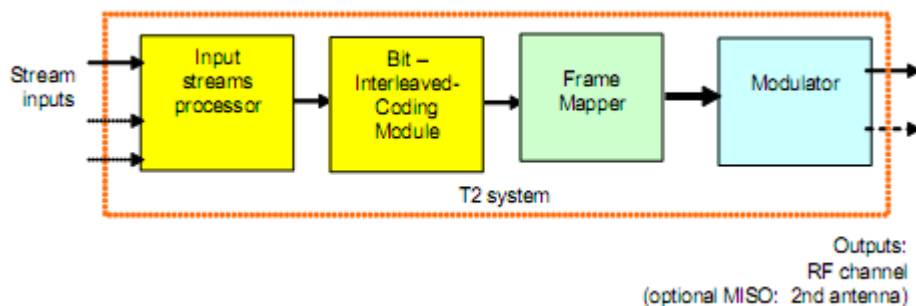


Fig. 3.2: Visión general de un sistema DVB-T2

A la salida del modulador tendremos una señal RF o un único canal RF. Opcionalmente, la salida podrá dividirse en una segunda señal, para ser transportada a otra antena en transmisiones tipo MISO (Multiple Inputs, Output), usando una codificación Alamouti modificada. Si existe una única capa física (PLP) habrá un único canal de datos.

El rango de parámetros del estándar COFDM se ha extendido en comparación con el de DVB-T:

- Tamaño de FFT: 1k, 2k, 4k, 8k, 16k y 32k.
- Intervalos de guarda: 1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4.
- Patrón de portadoras dispersas (scattered-pilot): 8 versiones diferentes ajustadas a cada uno de los intervalos de guarda.
- Pilotos continuos, similares a los del estándar DVB-T, pero con una optimización mejorada para reducir la sobrecarga.
- Un modo de portadora extendida que permite una optimización en el uso de los canales limitados en banda para tamaños FFT mayores.

3.2.2.- Physical Layer Pipes (PLPs)

Los requerimientos comerciales que solicitan servicios cada vez más robustos unidos a la necesidad de transportar diferentes tipos de señales nos llevan al concepto de PLP, capaces de transportar datos independientemente de la organización de los mismos.

DVB-T2 permite que las constelaciones, las tasas de codificación así como el entrelazado en tiempo sean asignados a distintas PLPs de forma individual.

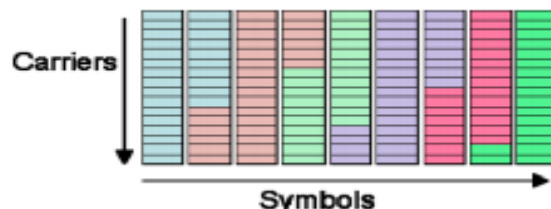


Fig. 3.3: Diferentes PLPs ocupando diferentes intervalos de tiempo

Típicamente un grupo de servicios compartirán elementos comunes. Para evitar la necesidad de duplicar esta información para cada una de las PLPs, el estándar DVB-T2 incluye el concepto de PLPs comunes. De ahí que los receptores necesiten decodificar 2 PLPs simultáneamente al recibir un servicio: las PLPs de datos y las PLPs comunes a estos servicios.

En el estándar se definen dos modos de entrada:

- Modo A, que usa una única PLP.
- Modo B, que usa múltiples PLPs.

3.2.3.- Preámbulos (P1 y P2)

Los primeros símbolos de cada trama física en el estándar DVB-T2 son denominados *símbolos preámbulos*, que transportan una cantidad limitada de datos de señalización. La trama comienza con un símbolo P1, que emplea una modulación diferencial BPSK, con intervalos de guarda a ambos extremos del símbolo, que portan 7 bits de información (incluyendo el tamaño de la FFT). Los siguientes símbolos son símbolos P2; el número de símbolos P2 es fijo y viene dado por el tamaño de la FFT usado y proporciona toda la información de señalización de nivel 1 (capa física). Los primeros bits de señalización (L1 pre-signalling) tienen una codificación y modulación fija; para los restantes (L1 post-signalling), la tasa de codificación es 1/2 pudiendo optarse por una modulación QPSK, 16-QAM ó 64-QAM.

3.2.4.- Patrón de Pilotos

Mientras que en DVB-T se aplicaba el mismo patrón de pilotos con independencia del tamaño de FFT o del intervalo de guarda seleccionado, DVB-T2 ha elegido una propuesta más flexible definiendo hasta ocho patrones que serán seleccionados dependiendo del tamaño de la FFT y del intervalo de guarda adoptados para la transmisión. Con ello se consigue una reducción de la sobrecarga de pilotos mientras que asegura una suficiente calidad en la estimación del canal.

Se añaden portadoras pilotos dispersas (Scattered pilots) de amplitud y fase predeterminadas en la señal a intervalos regulares tanto en tiempo como en frecuencia. Estos son usados por el receptor para poder estimar cambios en la respuesta del canal.

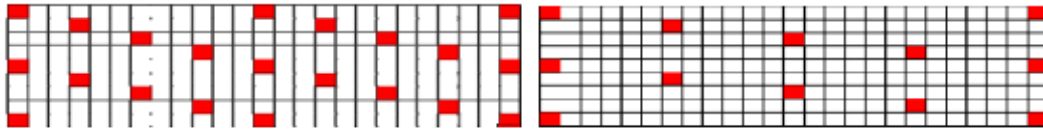


Fig. 3.4: Patrón de pilotos dispersas en DVB-T (izquierda) y DVB-T2 (derecha)

3.2.5.- Códigos de control de errores LDPC/BCH

Mientras que la codificación de control de errores interna y externa en DVB-T estaba basada en códigos convolucionales y Reed-Solomon, diez años más tarde el desarrollo tecnológico permite que la mayor complejidad de la codificación LDPC pueda ser manejada en el receptor. DVB-T2 usa una codificación LDPC/BCH concatenada, como hace el estándar DVB-S2. Ambos códigos aseguran una mayor protección, permitiendo el transporte de una mayor cantidad de datos en un canal dado; además su uso muestra un mejor comportamiento de la BER (Bit Error Ratio) frente a C/N (relación entre la potencia de la señal recibida frente a la potencia del ruido), como puede verse en la siguiente Figura:

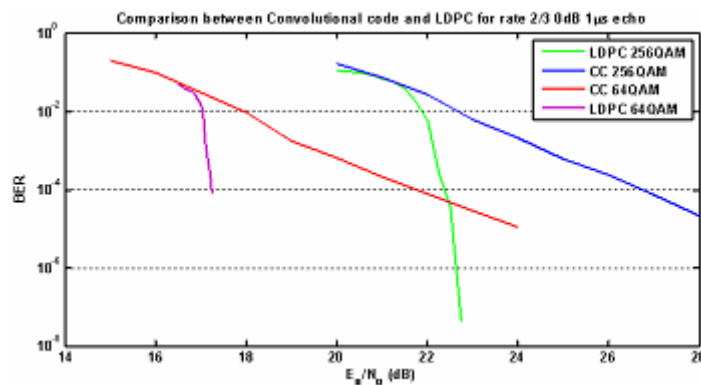


Fig. 3.5: Comparación entre codificación convolucional (DVB-T) y codificación LDPC (DVB-T2)

3.2.6.- Etapas de entrelazado

El objetivo de estas etapas de entrelazado no es otro que el de dispersar el contenido tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia de forma que ni los efectos de ruidos impulsivos ni de desvanecimientos selectivos en frecuencia

eliminen largas secuencias de la cadena de datos original. Además, el entrelazado es ajustado de acuerdo al comportamiento de los códigos de control de errores ya que estos no protegen a todos los datos por igual. Por último, estas etapas de entrelazado se han diseñado de forma que los bits transportados en puntos de una constelación ya transmitida no se correspondan con la secuencia consecutiva de bits de la cadena original.

Uno de los cambios más significativo entre DVB-T y DVB-T2 es la introducción del entrelazado en tiempo que va a proporcionar protección contra ruidos impulsivos y desvanecimientos selectivos en el tiempo.

3.2.7.- Técnicas de reducción de PAPR

Un elevado valor de PAPR (relación entre la potencia de pico y la potencia media) en sistemas OFDM puede reducir la eficiencia de los amplificadores RF. Dos técnicas de reducción del PAPR “*Active Constellation Extension (ACE)*” y “*Tone Reservation (TR)*” son soportadas en DVB-T2 dando lugar a una sustancial reducción del PAPR, aunque a expensas de un ligero incremento de la potencia media de menos de 1%.

La técnica ACE reduce el PAPR aumentando la distancia entre los puntos de la constelación en el dominio de la frecuencia, mientras que la técnica TR reduce directamente el PAPR cancelando la señal de pico en el dominio del tiempo. Ambas técnicas son complementarias.

3.3.- Elección de Parámetros

Existe una gran cantidad de formas de configurar un sistema DVB-T2. En este apartado comentaremos del porqué de la elección de cada uno de los parámetros.

3.3.1.- Elección del tamaño FFT

Los factores que pueden verse afectados por el tamaño de la FFT son bien conocidos. Incrementando el tamaño de la FFT daremos una mayor tolerancia al retraso para los mismos intervalos de guarda. Por otra parte, grandes valores de la FFT provocan una mayor vulnerabilidad ante canales que presenten rápidas variaciones en el tiempo. Para un tamaño de FFT, constelación y tasa de codificación dados, el efecto Doppler es aproximadamente proporcional al ancho de banda de la señal en RF e inversamente proporcional a la frecuencia RF.

Para servicios fijos que requieren altas tasas de bits en bandas UHF IV/V o en bandas bajas, el modo 32k es el recomendado. En estas situaciones, las variaciones en el tiempo de los canales están minimizadas y el modo 32k ofrece la posibilidad de lograr altas tasas binarias usando DVB-T2.

Para recepciones móviles en bandas UHF IV/V o bandas mayores, deben utilizarse tamaños inferiores para la FFT.

El modo 1k da lugar a un efecto Doppler más alto y se utiliza principalmente para operaciones en la banda L (1.5GHz) o mayores, usando un ancho de banda nominal de unos 1.7 MHz.

3.3.2.- Elección de portadora normal o extendida

La señal DVB-T2 ha sido diseñada para que no presente requisitos tan estrictos para el plan de frecuencia como en el caso de DVB-T.

El espectro de una “clásica” señal OFDM muestra una señal más o menos rectangular desde la banda deseada de la señal requerida, presentando un factor de roll-off que depende del espaciado entre portadoras OFDM. El mayor tamaño de la FFT (para la misma tasa de muestreo y mismo ancho de banda nominal), un menor espaciado entre portadoras y la mayor rapidez de caída del espectro fuera de la banda requerida son las principales propiedades que hacen que la opción de portadora extendida sea viable para modos con tamaño de FFT 8k o superiores. La opción de portadora extendida tiene como beneficio el incremento de la capacidad de datos.

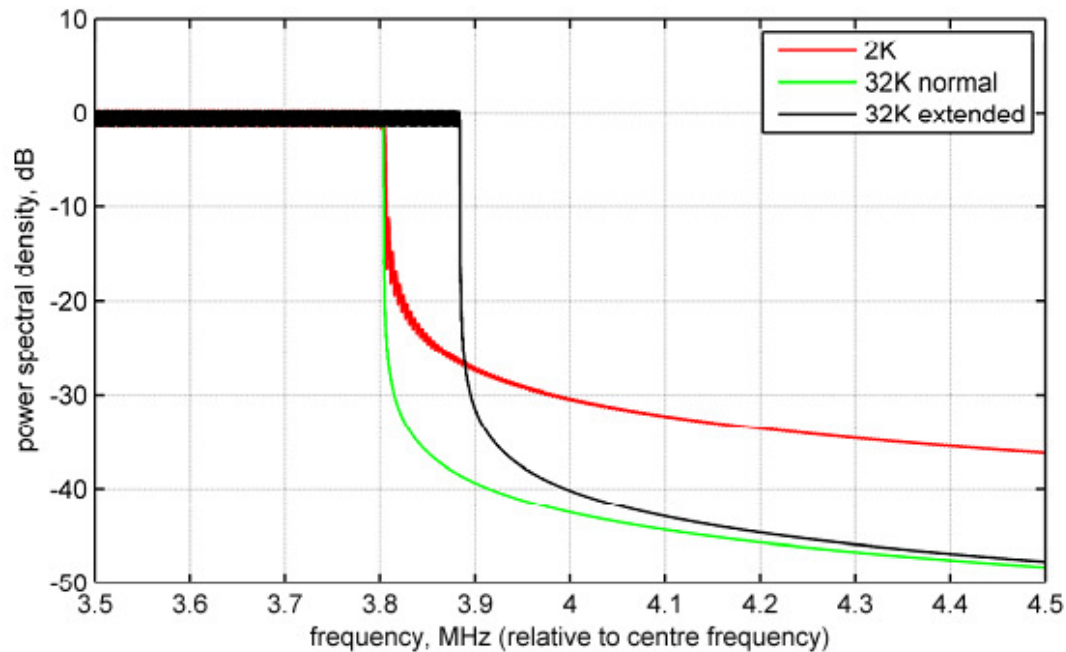


Fig. 3.6: Espectro de la señal DVB-T2 para intervalos de guarda 1/8 (canales de 8 MHz)

3.3.3.- Elección del Intervalo de Guarda

DVB-T2 ofrece un amplio rango de posibles intervalos de guarda para garantizar todas las necesidades de transmisión. Debemos distinguir entre dos conceptos: la *duración del intervalo de guarda*, T_G , y la *fracción del intervalo de guarda*, $GIF = T_G/T_U$.

La visión más sencilla es tratar el intervalo de guarda como los límites en los que se puede extender un canal para que éste siga siendo tolerado por el sistema. Asumiendo que la amplitud del canal para un escenario de emisión es conocida, es sólo una cuestión de elegir el valor de T_G . Esta elección requerirá también la consideración del tamaño de la FFT. La mayor capacidad del canal se obtiene minimizando el GIF, es decir, maximizando el valor de T_U . No obstante, sabemos que existen otras limitaciones en la elección del valor de la FFT, como la influencia del efecto Doppler en el escenario de interés. Éste establecerá un límite en la elección del valor para la FFT. Así, atendiendo a estas consideraciones, el proceso de decisión sería:

- Determinar la máxima ampliación del canal.
- Tomar el valor de T_G más próximo.
- Determinar los efectos Doppler del escenario.

- Determinar el mayor tamaño para la FFT aceptable bajo las consideraciones anteriores.

No obstante, hemos realizado una aproximación bastante simplista.

Si la ampliación del canal es menor que la duración del intervalo de guarda, no habrá interferencia intersímbolos (ISI). Si, por el contrario, la ampliación del canal es mayor que la duración del intervalo de guarda existirá interferencia intersímbolos.

En la siguiente tabla, **Tabla 1**, se listan la duración de los intervalos de guarda para canales de ancho de banda 8MHz, para cada combinación de intervalo de guarda y tamaño de la FFT permitida.

FFT size	Guard-interval fraction						
	1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	28	112	224	266	448	532	N/A
16K	14	56	112	133	224	266	448
8K	7	28	56	66.5	112	133	224
4K	N/A	14	28	N/A	56	N/A	112
2K	N/A	7	14	N/A	28	N/A	56
1K	N/A	N/A	7	N/A	14	N/A	28

Tabla 3.1: Duración de los intervalos de guarda en μ s para canales de 8MHz

3.3.4.- Elección del Patrón de Pilotos

Los receptores DVB-T2 realizan medidas constantemente del canal usando *scattered pilots* (SPs) para luego realizar interpolaciones de estas medidas y construir así estimaciones de las respuestas del canal para cada una de las células OFDM. Estas medidas deben ser suficientemente importantes para que posibiliten seguir posibles variaciones del canal tanto en tiempo como en frecuencia.

En DVB-T2 existen varios patrones de pilotos, denominados PP1 a PP8, con la intención de proporcionar mejores opciones de eficiencia para los diferentes escenarios. Cada patrón puede, en principio, soportar variaciones en tiempo y frecuencia por encima de los límites de Nyquist. PP8 se trata como un caso especial: en ellos no se usa la interpolación entre medidas; en lugar de ello se emplea una técnica de retroalimentación que continuamente actualiza las estimaciones al comienzo de las tramas.

El operador deberá elegir un patrón de pilotos considerando el canal esperado en función del tipo de uso que desea soportar.

La capacidad se reduce notablemente a medida que aumenta la inserción de *scattered pilots*; la carga de SPs puede expresarse como $1/(D_x \cdot D_y)$. PP1 y PP2 son los que tienen mayor carga (8.33%), y PP7 y PP8 los que menos (1.04%). Por supuesto, los casos con mayor sobrecarga se incluyen porque también presentan ventajas. PP1 ofrece los mayores límites de Nyquist para extender los canales, mientras que PP6 y PP7 los que menos.

	PP1	PP2	PP3	PP4	PP5	PP6	PP7	PP8	Interpretation
D_x	3	6	6	12	12	24	24	6	Separation of pilot-bearing carriers
D_y	4	2	4	2	4	2	4	16	Length of sequence in symbols
$1/D_x D_y$	8.33%	8.33%	4.17%	4.17%	2.08%	2.08%	1.04%	1.04%	SP overhead
$1/D_x$	1/3	1/6	1/6	1/12	1/12	1/24	1/24	1/6	$T_{Nyquist}/T_{U_i}$ for f-&t interpolation
$1/D_x D_y$	1/12	1/12	1/24	1/24	1/48	1/48	1/96	1/96	$T_{Nyquist}/T_{U_i}$ for f-only interpolation
$1/(2D_y)$	0.125	0.25	0.125	0.25	0.125	0.25	0.125	0.03125	$f_{Nyquist}/f_s$ for f-&t interpolation ($\pm$)
	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	$f_{Nyquist}/f_s$ for f-only interpolation ($\pm$)

Tabla 3.2: Comparación entre los patrones de *scattered pilots*

El entrelazado en tiempo y el patrón de pilotos PP8 no deberían usarse juntos; para redes en las que el operador decida hacer esto, el rendimiento del receptor puede verse degradado.

3.3.5.- Elección de la longitud de la Trama

La longitud de una trama T2, es decir, el número de símbolos L_F en una trama T2, es un parámetro configurable por el transmisor u operador de red. Hay 3 restricciones importantes:

- La máxima duración de la trama son 250ms.
- El mínimo número de símbolos está especificado. Esto simplifica el proceso de estimación del canal.
- En el modo 32k, debe haber un número par de símbolos.

Además de todas estas restricciones, hay otra serie de factores que también afectan a la elección de la longitud de la trama:

- Un valor muy grande de la longitud de la trama reduce el porcentaje de carga asociada con los símbolos preámbulos P1, la señalización L1 y la mayor densidad de los pilotos en P2, incrementándose el régimen binario total.
- Un valor pequeño de la longitud de la trama significa que los símbolos P1 y P2 aparecen con demasiada frecuencia.

Aunque aumentar la longitud de la trama reduce la carga de los símbolos preámbulos, hay un efecto de segundo orden que debería considerarse en la elección del número de símbolos. Debe haber un número entero de bloques FEC (veremos su significado en el apartado **3.5.2.3**) en una trama T2. Como resultado, el régimen binario total depende del número exacto de símbolos y, por tanto, del número de células en una trama. Reduciendo la longitud de la trama en un símbolo puede incrementarse el régimen binario total significativamente.

La elección exacta de la longitud de la trama dependerá de las selecciones realizadas en otros parámetros:

- Tamaño de la FFT.
- Intervalo de guarda.
- Uso del modo portadora extendida.
- Combinación de diferentes tipos de PLPs.

3.3.6.- Elección de los parámetros de entrelazado de tiempo

La elección del número de bloques TI para el entrelazado de trama depende de dos factores. Incrementando el número de bloques TI para una duración de trama dada, reducimos el entrelazado de tiempo, además de la resistencia del sistema a interferencias de otros sistemas y variaciones del canal en el tiempo. Por otra parte, incrementando el número de bloques TI incrementamos la máxima tasa de datos para una PLP.

Una opción alternativa es el entrelazado multitrama, donde un bloque TI se divide entre varias tramas T2. Esta alternativa suele usarse para PLPs con una baja tasa de datos. Particularmente es útil para PLPs comunes y PLPs tipo 1.

El entrelazado de tiempo es opcional, sin embargo su uso es muy recomendado puesto que proporciona una gran diversidad en el tiempo.

3.4.- Estructura Física de la Trama

3.4.1.- Súper-trama

La mayor entidad de un sistema DVB-T2 es una súper-trama, que está formada por tramas T2 y puede contener, además, tramas para una extensión futura (FEF, Future Extension Frame). El número máximo de tramas T2 en una súper-trama es de 255. La máxima longitud de una trama T2 es de 250ms y la longitud máxima de FEF también es de 250ms. Las tramas T2 pueden tener longitudes diferentes entre tramas FEF, sin embargo deberán tener la misma longitud dentro de una súper-trama. Esto es también aplicable a todas las partes FEF. Una FEF puede ser insertada entre dos tramas T2, por lo que el número de FEFs en una súper-trama oscila entre 0 y 255. Si existen es necesario que ésta finalice en una FEF. La máxima longitud de una súper-trama es de $256 \times 250\text{ms} = 64\text{s}$, si no lleva FEFs y de $256 \times 2 \times 250\text{ms} = 128\text{s}$, si se usan FEFs.

Una trama T2 se divide en símbolos OFDM. Cada trama T2 empieza en un símbolo P1. También cada FEF empieza con un símbolo P1. Por ello, el intervalo entre dos símbolos P1 es de 250ms.

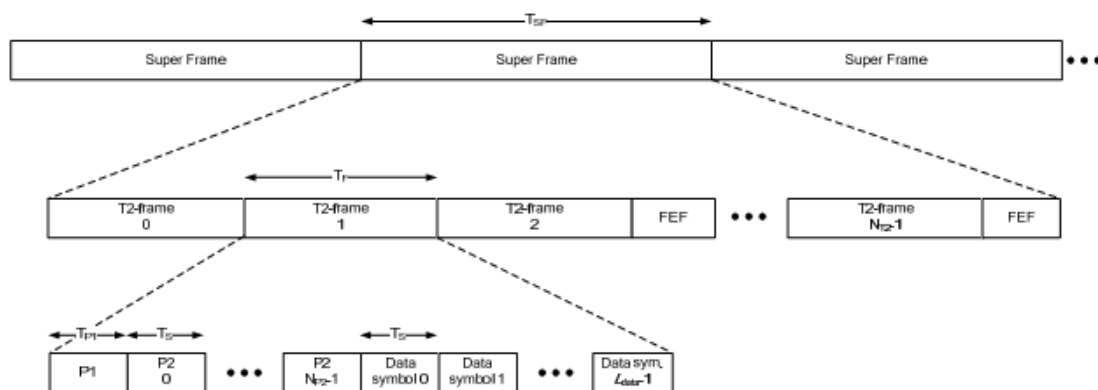


Fig. 3.7: Estructura de una trama T2

El propósito de las tramas T2 es la de llevar PLPs y señalización L1. Por ello, estas tramas portan servicios DVB-T2 y su señalización pertinente. El propósito de las FEFs es el de permitir el mezclado entre los servicios definidos en la actual versión del estándar junto con los nuevos servicios que se puedan definir en una futura versión del mismo. Actualmente, las FEFs suelen ir vacías. Un receptor diseñado para la recepción de señales DVB-T2 debería ser capaz de detectar y corregir partes FEFs, por lo que la recepción de tramas T2 no debe verse afectadas en ningún caso.

3.4.2.- Trama T2

Una trama T2 está compuesta por un símbolo P1, N_{P2} símbolos P2 y un número configurable de símbolos de datos, en los que el último puede ser un símbolo especial *Frame Closing symbol*. El número de símbolos P2, N_{P2} , depende del tamaño de la FFT y se define en la **Tabla 3.3**:

FFT Size	N_{P2}
1K	16
2K	8
4K	4
8K	2
16K	1
32K	1

Tabla 3.3: Número de símbolos P2 para cada valor de FFT

La duración de una trama T2 está determinada por el tamaño de la FFT, intervalo de guarda y el número de símbolos OFDM. La duración máxima permitida en una trama T2 es de 250ms, que impone un límite en el número máximo de símbolos OFDM, L_F , para los diferentes valores de FFT e intervalos de guarda, como se ve en la **Tabla 4.4**. La longitud de una trama T2 se calcula como:

$$T_F = L_F \times T_S + T_{P1}$$

donde T_S es la duración total de símbolos OFDM definida como:

$$T_S = T_U + T_G = T_U \times (1 + GIF)$$

y la duración de un símbolo P1 es de 0.224ms. L_F incluye todos los símbolos P2 y símbolos de datos por lo que $L_F = N_{P2} + L_{data}$. GIF es la fracción del intervalo de guarda.

FFT size	T_u (ms)	Guard-interval fraction						
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
32K	3.584	68	66	64	64	60	60	NA
16K	1.792	138	135	131	129	123	121	111
8K	0.896	276	270	262	259	247	242	223
4K	0.448	NA	540	524	519	495	485	446
2K	0.224	NA	1081	1 049	1 038	991	970	892
1K	0.112	NA	NA	2098	2 076	1 982	1 941	1 784

Tabla 3.4: Máxima longitud de trama LF en símbolos OFDM

Los símbolos P2 y los símbolos de datos llevan señalización L1, PLPs y cadenas auxiliares (opcionales). La señalización L1 debe ir siempre en los símbolos P2, nunca en los símbolos de datos. Las PLPs y las cadenas auxiliares pueden ir tanto en los símbolos P2 como en los símbolos de datos. La estructura de una trama T2 viene recogida en la **Fig. 3.8**. El mapeado de señalización L1, PLPs y cadenas auxiliares en símbolos OFDM de una trama T2 se recoge en **Fig. 3.9**.

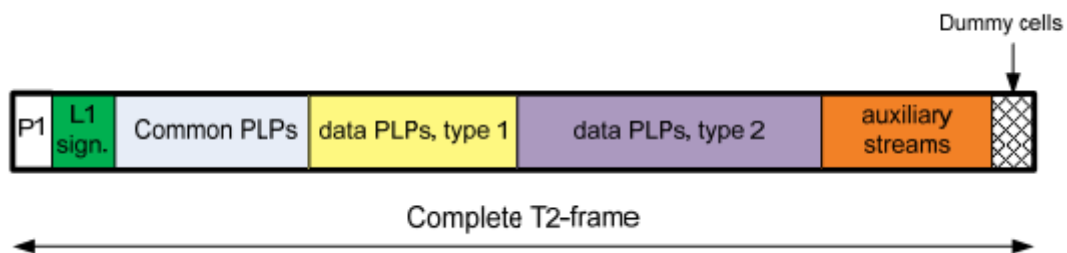


Fig. 3.8: Estructura de una trama T2

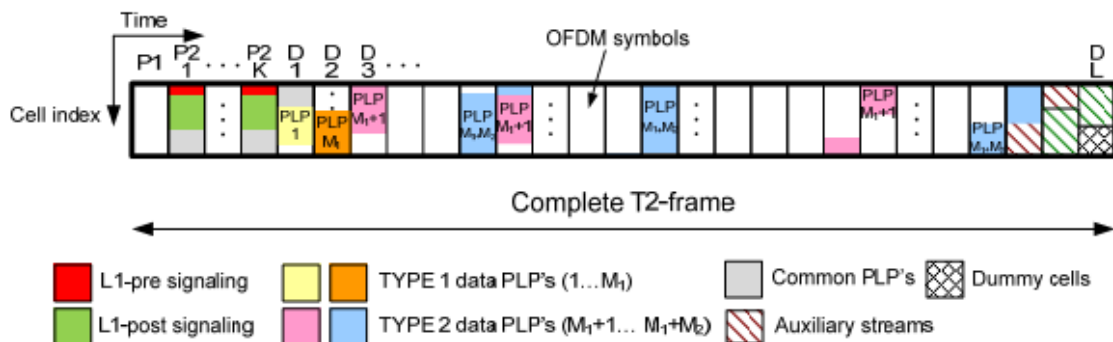


Fig. 3.9: Mapeado de señalización L1, PLPs y cadenas auxiliares en una trama T2

3.4.3.- Señalización L1

La señalización L1 se divide en *L1-pre signalling* y *L1-post signalling*. La modulación y la tasa de codificación para L1-pre signalling es una BPSK a 1/2 y el número de bits de señalización es constante. La L1-pre signalling siempre va a ocupar 1840 células.

El número de bits de señalización L1-post signalling depende del número de PLPs, del número de cadenas auxiliares y del uso de FEFs. El número de células ocupadas por L1-post signalling depende del número de bits de señalización y de la modulación usada. La modulación para L1-post signalling puede ser BPSK, QPSK, 16QAM o 64QAM. La codificación FEC es siempre 1/2. La modulación para L1-post signalling es elegida de forma que la señalización L1 es siempre más robusta que cualquier PLP.

Los símbolos P2 siempre deben llevar señalización L1. Debido a esto, el número de PLPs que puede haber en un sistema T2 viene limitado por la modulación usada por la L1-post signalling y el número de bits de señalización.

La L1-pre signalling y la L1-post signalling serán entrelazadas y codificadas por separado. La señalización es mapeada a símbolos P2 por lo que la cantidad de L1-pre y L1-post es la misma en cada símbolo P2, como vemos en **Fig. 3.10**:

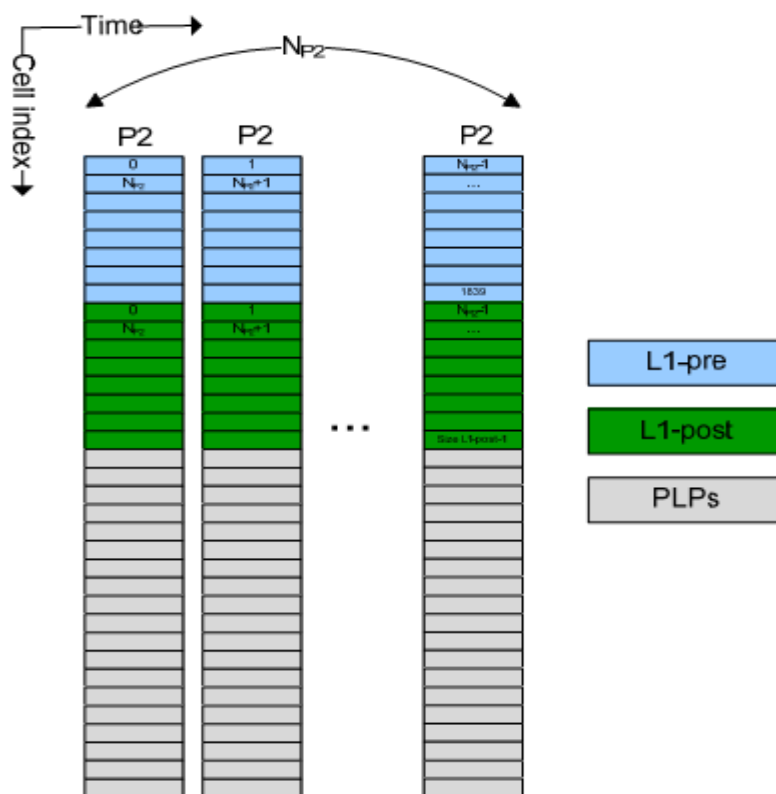


Fig. 3.10: Mapeado de señalización L1 en símbolos P2

3.5.- Estructura lógica de una trama

3.5.1.- Paquetes

Las PLPs pueden llevar paquetes, incluyendo paquetes de flujos de transporte (TS) MPEG u otros tipos de paquetes usados por flujos genéricos. La cabecera BB-Frame (ver apartado 3.5.2.1) proporciona un mecanismo para que los paquetes puedan ser reconstruidos en el receptor. La señal DVB-T2 en sí es, generalmente, independiente de cualquier estructura de paquetes.

3.5.2.- BB-Frame, FECFrames y bloques FEC

3.5.2.1.- BB-Frames

Las BB-Frames (BaseBand Frames, tramas en banda base) son unidades enmarcadas en la estructura básica de DVB-T2: asignación y programación son llevadas a cabo en números enteros de BB-Frames. Cada BB-Frame puede contener un número entero de paquetes o, por el contrario, los paquetes pueden ser fragmentados en varias BB-Frames. Cada BB-Frame contiene una cabecera, en la que se especifica la longitud y la posición del primer paquete, que permite al paquete original poder ser reconstruido por el receptor. También es posible que las BB-Frames puedan contener *padding* (relleno), en el caso de que no haya datos suficientes para una BB-Frame completa. El tamaño total de una BB-Frame, incluyendo el relleno es constante para una PLP dada y depende de la tasa de codificación LDPC.

3.5.2.2.- FECFrames

Las tramas en banda base, con su cabecera, son tratadas como “palabras” de información a las que se les aplica la codificación BCH y LDPC. Como resultado de esta codificación obtenemos una nueva cadena de datos que contendrá 64800 o 16200 bits y que es conocida como FECFrame. Las dos longitudes diferentes se corresponden con la elección de bloques FEC largos o cortos respectivamente. Los bloques FEC

cortos permiten una granularidad mejor de régimen binario pero acarrea una gran carga y un rendimiento ligeramente peor que los bloques largos.

3.5.2.3.- Bloques FEC

Los bits de una FECFrame son entrelazados y organizados en “palabras”, que son mapeadas en constelaciones o células OFDM; cada punto de la constelación que se corresponde con una FECFrame es conocido como bloque FEC. El número de células en cada bloque FEC depende tanto de la modulación QAM y de la elección realizada de bloques cortos o largos para una PLP particular.

3.5.3.- Entrelazado de Tramas

El entrelazado de trama es una estructura de entramado dentro de la cual tiene lugar la asignación para una PLP particular. El programador asignará un número variable de BB-Frames a cada entrelazado de trama, y además, habrá un número entero de entrelazados de tramas en una súper-trama.

Hay dos razones que explican por qué el entrelazado de tramas no es el mismo en todas las tramas T2. En primer lugar, una PLP puede usar el entrelazado en tiempo sobre múltiples tramas T2. Por tanto, no es correcto decir que una trama en banda base (BB-Frame) es asignada a una trama T2 particular, si no que cada BB-Frame puede ser dispersada sobre todas la P_i (número de tramas en las que se mapea el entrelazado de tramas, para cada PLP i) tramas T2 en el periodo de entrelazado.

En segundo lugar, una PLP particular no necesita ser mapeada en cada trama T2 de una súper-trama, pero en lugar de ello puede aparecer en una trama T2 cada I_{JUMP} (diferencia entre sucesivas tramas T2 en las que una PLP particular ha sido mapeada) entre tramas T2. La duración del entrelazado de tramas en este caso se corresponde con P_i tramas T2 en las que una PLP se ha mapeado más $P_i \times (I_{JUMP} - 1)$ tramas que se han saltado: un total de $P_i \times I_{JUMP}$ tramas T2.

3.5.4.- Bloques TI

Un bloque TI es una serie de células en las que se ejecuta el entrelazado de tiempo; no existe entrelazado entre bloques TI. Cada uno de ellos contiene un número variable de bloques FEC. El número total de BB-Frames y, por tanto, de bloques FEC, asignados al entrelazado de tramas no necesita ser múltiplo del número de bloques TI; como resultado, los bloques TI dentro del entrelazado de tramas puede contener un número de bloques FEC ligeramente diferentes.

Éstos también se utilizan también para el entrelazado de células. El valor de $L(r)$ de la función de permutación cambia de un bloque FEC al siguiente, pero el índice r que marca la posición de los bloques FEC se pone a cero al comienzo de cada bloque.

3.6.- Señalización L1

La señalización L1 tiene dos funciones principales. En primer lugar proporciona al receptor una manera rápida de detección de la señal. En segundo lugar, proporciona al receptor toda la información necesaria para acceder a la señalización de nivel 2 (señalización L2). La estructura de la señalización es la que puede verse en la **Fig. 3.11**.

El propósito de la señalización P1, que es la que porta la señalización referente al símbolo P1, es indicar el tipo de parámetros básicos usados para la transmisión. El resto de señalización se porta en los símbolos P2, que también son capaces de transportar datos de las PLPs. La *L1-pre signalling* proporciona los parámetros básicos de transmisión incluyendo aquellos parámetros que permiten la recepción y decodificación de la *L1-post signalling*. La *L1-post signalling* se divide, a su vez, en otras dos partes: una parte configurable y otra parte dinámica. Además, siguiendo a éstas puede ir un campo opcional. La *L1-post signalling* acaba con un CRC (Cyclical Redundancy Checking) y un relleno (padding) en caso de que sea necesario.

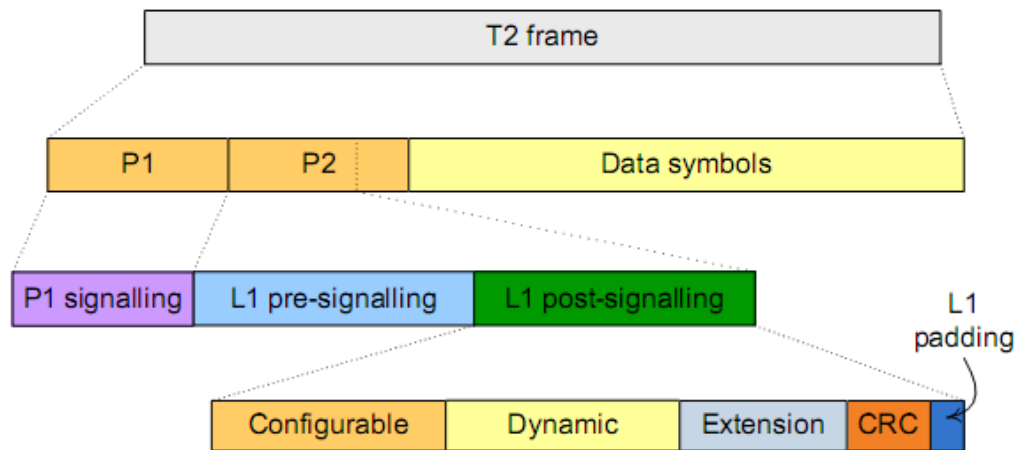


Fig. 3.11: Estructura de la señalización L1

Todos los datos de señalización L1, a excepción de la parte dinámica de *L1-post signalling*, permanecerá sin cambios durante toda la duración de la súper-trama. De ahí que cualquier cambio que se vaya a implementar en la configuración tendrá que ir entre dos súper-tramas.

La señalización P1 se define, casi exclusivamente, para permitir la detección rápida de la señal y proporcionar un sub-conjunto de parámetros de transmisión válidos para la trama T2 entera.

L1-pre signalling a la vez que permite la recepción y la decodificación de *L1-post signalling* proporciona información de la súper-trama actual, relativa a la topología de la red, configuración y transmisión de protocolos usados dentro de la súper-trama.

L1-post signalling contiene la mayoría de la información necesaria para extraer y decodificar las PLPs procedentes de las tramas T2.

3.7.- Codificación y Modulación

3.7.1.- Corrección de errores para las PLP

El esquema de corrección de errores (FEC) de un sistema DVB-T2 está basado en la concatenación de los códigos BCH y LDPC, además de distintas etapas de entrelazado y el mapeado de los bits a células.

El código BCH es incluido como un seguro ante errores no deseados y es exactamente igual que en el estándar DVB-S2.

Para el código LDPC, el estándar DVB-T2 incluye dos elecciones para elegir la longitud del código (bloques normales de 64800 o bloques pequeños de 16200) así como 6 elecciones de tasa de código (1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6) del estándar DVB-S2.

El código para bloques de 64800 es el mismo que para DVB-S2. El código para bloques de 16200 está basado también en el código para la segunda versión del estándar de DVB para satélite.

3.7.2.- Entrelazado de Bits

El código LDPC en DVB-T2 no es un código uniforme sino que, en general, el nivel de protección dependerá del peso de la columna de la matriz de paridad. Las siguientes tablas dan la distribución de los pesos de la matriz para bloques de 64800 y bloques de 16200.

code rate	column weight						
	13	12	11	8	3	2	1
1/2				12960	19440	32399	1
3/5		12960			25920	25919	1
2/3	4320				38880	21599	1
3/4		5400			43200	16199	1
4/5			6480		45360	12959	1
5/6	5400				48600	10799	1

Tabla 3.5: Distribución de los pesos de las columnas para bloques de 64800

code rate		column weight					
nominal rate	real rate	13	12	8	3	2	1
1/2	4/9			1800	5400	8999	1
3/5	3/5		3240		6480	6479	1
2/3	2/3	1080			9720	5399	1
3/4	11/15		360		11520	4319	1
4/5	7/9				12600	3599	1
5/6	37/45	360			12960	2879	1

Tabla 3.6: Distribución de los pesos de las columnas para bloques de 16200

El entrelazado de bit es un bloque de entrelazado que se aplica a cada palabra codificada LDPC. En DVB-T2 el entrelazador de bits tiene $N_c = 2m$ si se usa una modulación 2^m -QAM. Los bits codificados son escritos por columnas y leídos por filas. En **Fig. 3.12** tenemos un ejemplo de cómo se realiza este proceso.

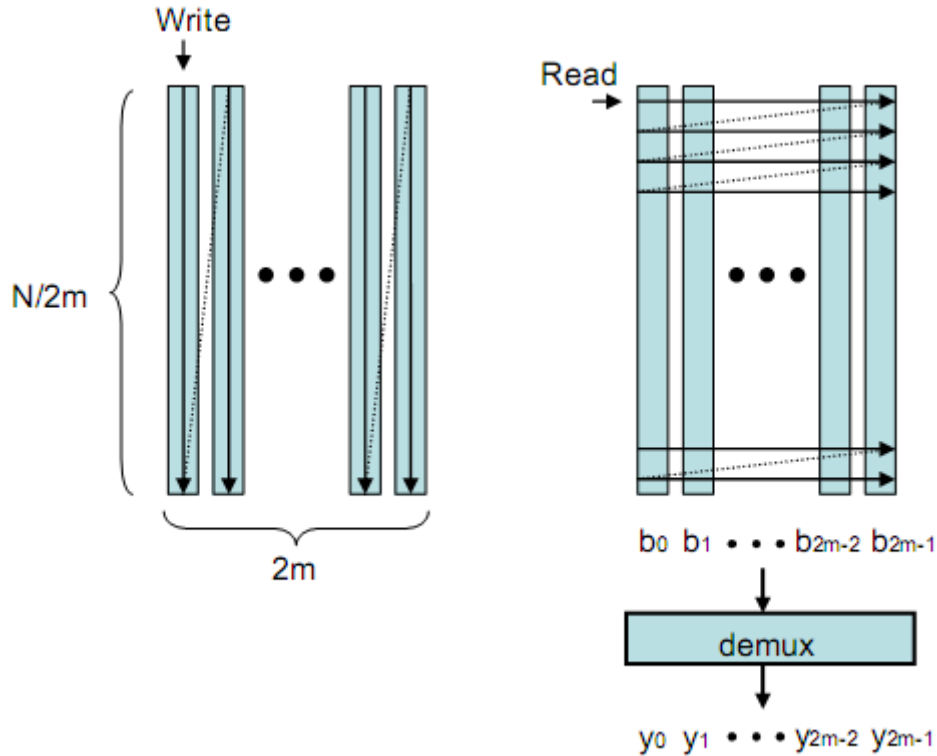


Fig. 3.12: Ejemplo de entrelazado de bits

3.7.3.- Entrelazador de células

El entrelazado de células (CI) consiste en una permutación pseudo-aleatoria de las células de una FEC, diferente para cada una de las FEC de un bloque TI, para asegurar así en el receptor una distribución incorrelada de las distorsiones del canal. El procedimiento que se sigue es muy similar al entrelazado en frecuencia (que se verá posteriormente). Con el objetivo de tener diferentes patrones de entrelazado para diferentes FEC, se añade un cambio constante a la permutación (modulo N_{cells}), generado como el valor del bit inverso de un contador de bit N_d , donde

$$N_d = \text{floor}(\log_2 N_{\text{cells}})$$

Los requisitos de memoria para el entrelazado de células son dependientes del entrelazado de tiempo; así, de este modo, una implementación eficiente del entrelazado de tiempo mejorará el rendimiento del entrelazado de células.

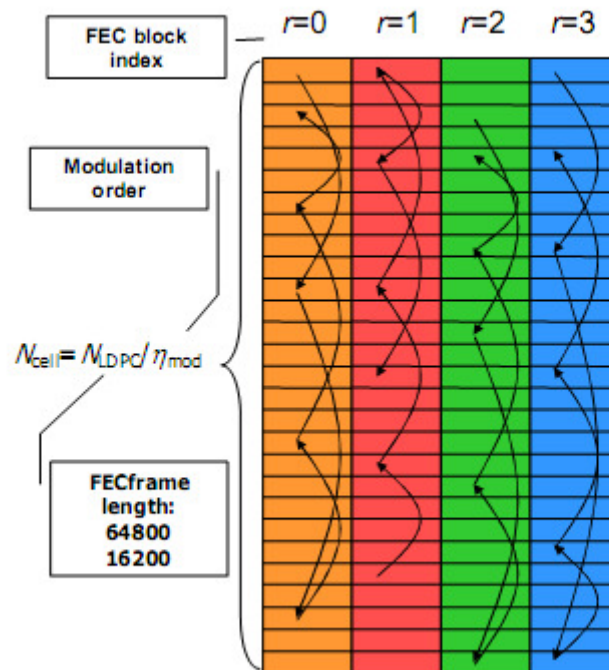


Fig. 3.13: Esquema del Entrelazado de Célula

3.7.4.- Entrelazado de Tiempo

El concepto de entrelazado en el tiempo lo hemos visto en el apartado 3.5.6 y la elección de los parámetros de entrelazado fue discutido en punto 3.3.6. En este apartado consideraremos la implementación del entrelazado de tiempo.

Las células entrantes en el entrelazador de tiempo serán escritas en columnas dentro de la memoria del entrelazador, tal y como se muestra en Fig. 3.13. Una vez que toda la trama ha sido recibida en la entrada, el entrelazador de trama puede dividirla en bloques TI, teniendo en cuenta que estos bloques dentro del entrelazador de tramas puede contener ligeras diferencias en el número de bloques FEC, con el bloque TI más pequeño en primer lugar. El entrelazador de trama sólo puede leer un bloque a la vez, leyendo las partes más significativas de cada fila de la memoria para el entrelazado.

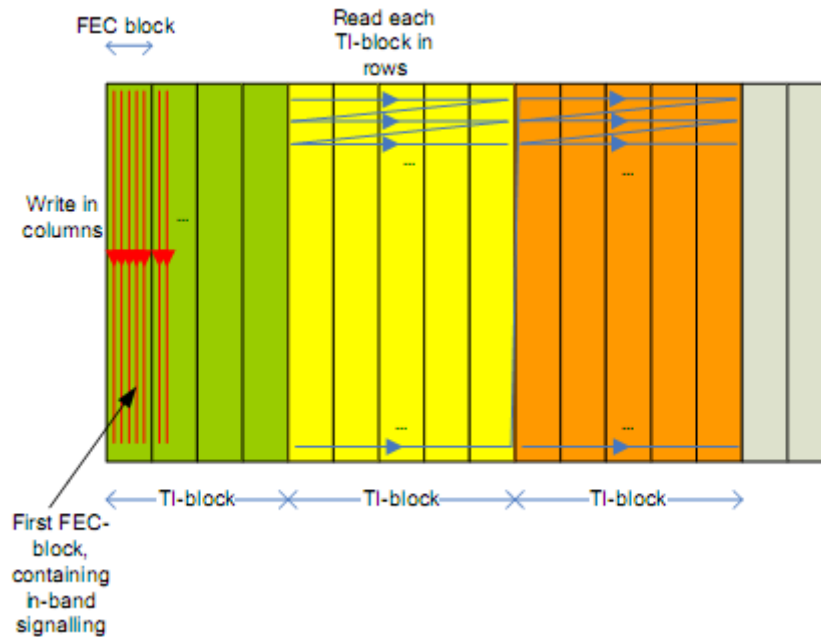


Fig. 3.14: Uso de la memoria para el entrelazado de tiempo

3.8.- Formación de trama y generación OFDM

La función del “constructor” de tramas es la de unir las células procedentes del entrelazador de tiempo de cada PLP y las células moduladas de la señalización L1 en vectores de células activas OFDM correspondientes a cada símbolo OFDM para completar la estructura general de la trama. La formación de la trama se realiza con la información proporcionada por el programador y con la configuración de la estructura de la trama.

La programación de la PLP es realizada actualmente en el programador, que se asume como una parte de la entrada al sistema de DVB-T2. Para generar la información de señalización L1 requerida, el programador decidirá qué células de la señal T2 llevarán datos pertenecientes a qué PLP. Aunque esta operación no tiene efecto en la cadena de datos en esta etapa, el programador definirá la composición exacta de la estructura de la trama.

3.8.1.- Entrelazado en frecuencia

Para minimizar la memoria empleada, necesitamos implementar el entrelazado de frecuencia con una única memoria compuesta de $N_{\max}$ localizaciones. $N_{\max}$ es el máximo número de células de datos en un símbolo OFDM para un valor de FFT dado. Es previsible que las implementaciones prácticas de los moduladores DVB-T2 deban soportar todos los valores para la FFT. Para tales implementaciones, $N_{\max}$ sería la capacidad de memoria necesaria para llevar a cabo el entrelazado par-impar para 32k. De ahí que $N_{\max} = 27404$ sea el número máximo de células de datos para el modo 32k usando el patrón PP8 de *scattered pilots*. El entrelazado en frecuencia para todos los modos puede ser implementado con una memoria de $N_{\max}$ localizaciones. Para una configuración dada con $C_{\max} = \max. (C_{\text{data}})$, esta memoria necesitaría $C_{\max}$ localizaciones (para el modo 32k) o $2C_{\max}$ localizaciones (para el resto de modos).

Así, el esquema para el entrelazador de frecuencia que se va a seguir es el siguiente:

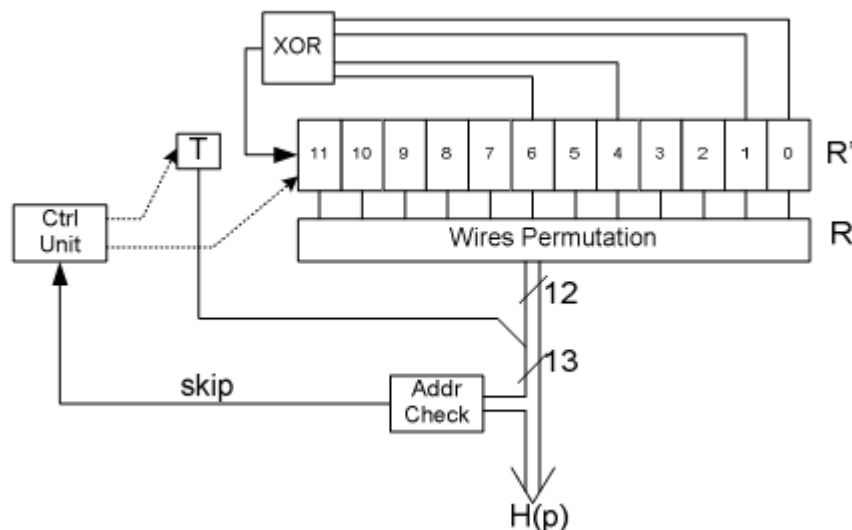


Fig. 3.15: Entrelazador frecuencial para el modo 8k

R'_i bit positions	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
R_j bit positions (H_0)	5	11	3	0	10	8	6	9	2	4	1	7
R_j bit positions (H_1)	8	10	7	6	0	5	2	1	3	9	4	11

Tabla 3.7: Permutación de bits para el modo 8k

3.8.2.- Inserción de Pilotos

Como ya hemos visto, distintas células dentro de una trama OFDM son moduladas con información de referencia y son transmitidas en posiciones conocidas por el receptor.

Estas portadoras pilotos pueden ser usadas para sincronización de la trama, sincronización en frecuencia, sincronización en tiempo, estimación del canal o para identificar el tipo de transmisión.

3.8.2.1.- Definición de la secuencia de referencia

Las portadoras pilotos son moduladas de acuerdo a una señal de referencia, $r_{l,k}$, donde l y k son el símbolo y el índice de la portadora definidos previamente. Esta secuencia de referencia se aplica a todas las portadoras pilotos de cada símbolo de una trama T2.

$$r_{l,k} = \begin{cases} w_{k+K_{ref}} \oplus pn_l & \text{normal carrier mode} \\ w_k \oplus pn_l & \text{extended carrier mode} \end{cases}$$

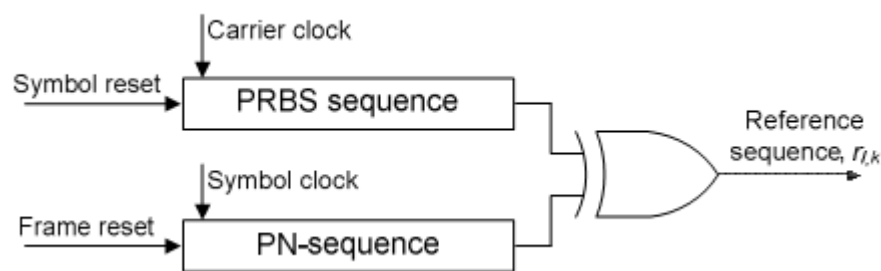


Fig. 3.16: Formación de la secuencia de referencia

3.8.2.1.1.- Secuencia PRBS

La secuencia PRBS se genera de acuerdo a la **Figura 3.17**:

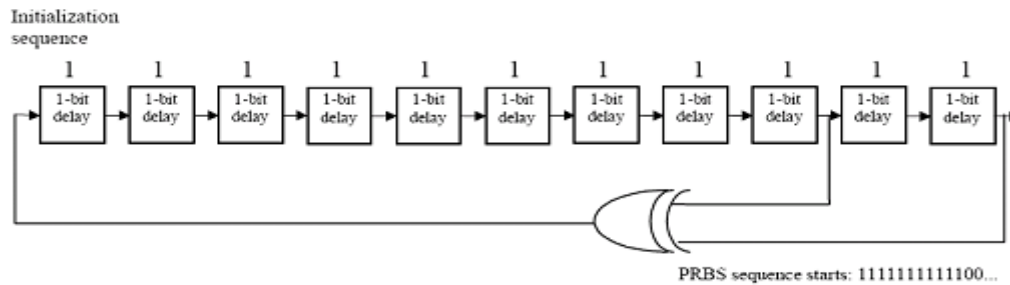


Fig. 3.17: Generación de la secuencia PRBS

Todos los registros están inicializados a 1.

El polinomio para el generador PRBS será: $x^{11} + x^2 + 1$

3.8.2.1.2.- Secuencia PN

Cada valor de la secuencia PN se aplica a cada uno de los símbolos OFDM de la trama T2. La longitud de la secuencia PN será, por tanto, igual que la longitud de la trama L_F , es decir, igual al número de símbolos de la trama T2.

La secuencia de longitud $N_{PN} = L_F$, estará formada por los primeros N_{PN} bits de la secuencia PN general.

```
4DC2AF7BD8C3C9A1E76C9A090AF1C3114F07FCA2808E9462E9AD7B712D6F4AC8A59BB069CC50BF1149927E6B
B1C9FC8C18BB949B30CD09DD749E704F57B41DEC7E7B176E12C5657432B51B0B812DF0E14887E24D80C97F09
374AD76270E58FE1774B2781D8D3821E393F2EA0FFD4D24DE20C05D0BA1703D10E52D61E013D837AA62D007CC
2FD76D23A3E125BDE8A9A7C02A98B70251C556F6341EBDECB801AAD5D9FB8CBEA80BB619096527A8C475B3D8
DB28AF8543A00EC3480DFF1E2CDA9F985B523B879007AA5D0CE58D21B18631006617F6F769EB947F924EA5161E
C2C0488B63ED7993BA8EF4E552FA32FC3F1BDB19923902BCBBE5DDABB824126E08459CA6CFA0267E5294A98C6
32569791E60EF659AEE9518CDF08D87833690C1B79183ED127E53360CD86514859A28B5494F51AA4882419A25A2
D01A5F47AA27301E79A5370CCB3E197F
```

Tabla 3.8: Secuencia PN general. Descripción Hexadecimal

3.8.2.2.- Propósito de la inserción de pilotos

Las portadoras pilotos se insertan por varias razones:

- Las portadoras pilotos dispersas, las de los símbolos P2 y las de los símbolos fin de trama, pueden usarse para la estimación y ecualización del canal.
- Las portadoras pilotos continuas, las de los símbolos P2 y las de los símbolo fin de trama, pueden usarse para la corrección del error de fase,
- Todas las portadoras pilotos pueden usarse para sincronización.
- Las portadoras pilotos continuas, las de los símbolos P2 y las de los símbolos fin de trama, su usan también como una forma de relleno.

3.8.2.3.- Localización de las portadoras pilotos

En este apartado no vamos a indicar la posición exacta de las portadoras pilotos en cada uno de los símbolos OFDM que componen la trama T2. En lugar de ello, comentaremos algunas consideraciones que tendrán que tomarse en cuenta:

- Los diferentes tipos de símbolos contienen distintas combinaciones de diferentes tipos de pilotos. En la **Tabla 3.9** se resume las distintas portadoras pilotos que nos podemos encontrar en cada símbolo.
- El patrón eficaz de portadoras dispersas empieza en el símbolo cero.
- En el modo portadora extendida, las portadoras pilotos dispersas en la parte central de la señal para un símbolo dado ocupan las mismas portadoras (k') que en el modo portadora normal. Como resultado, los valores de k para las portadoras dispersas para un símbolo dado no son necesariamente las mismas para los modos normal y extendido. En la práctica, este hecho sólo es relevante para los modos 8k y 16k con los patrones PP7 y PP8.
- Hay portadoras pilotos P2 cada tres portadoras en todo los modos salvo para el 32k SISO.

Symbol	PILOT TYPE				
	Scattered	Continual	Edge	P2	Frame-Closing
P1					
P2				X	
Normal	X	X	X		
Frame-closing			X		X

Tabla 3.9: Presencia de los distintos tipos de pilotos en cada tipo de símbolo

3.9.- Uso del símbolo P1

3.9.1.- Introducción

Hay un símbolo P1 por trama, insertado al principio de cada una de ellas. Estos símbolos marcan el comienzo de una trama T2 y tienen cuatro propósitos principales:

- Permitir a un receptor determinar rápidamente si un canal contiene una señal DVB-T2.
- Identificar el preámbulo como un preámbulo T2.
- Señalizar algunos parámetros de transmisión que son necesarios para decodificar el resto del preámbulo y de la información principal. En particular, el símbolo P1 revela el modo FFT de transmisión. Aunque el intervalo de guarda de transmisión sigue siendo desconocido, la reducción en el número de posibilidades (recordamos que sólo son “permitidos” determinados intervalos de guarda para un modo FFT concreto) es muy útil para reducir el tiempo de detección.
- Permite al receptor detectar y corregir sincronización en frecuencia y en tiempo.

3.9.2.- Estructura del símbolo P1

La longitud del símbolo P1 es fija, independientemente de los valores de la FFT y del intervalo de guarda. Esto lo hace más fácil de detectar, ya que sólo tendremos que fijarnos en una cosa.

La señal P1 puede ser detectada a pesar de la presencia de un sustancial offset en frecuencia. Este offset aparece por dos razones:

- Una mayor o menor tolerancia en la frecuencia de referencia en el receptor.
- Offset introducido de forma deliberada por el transmisor como parte de un proceso para el control de interferencia entre redes.

La detección es posible gracias a que el símbolo P1 contiene algunas partes que son “repeticiones” de la parte principal del símbolo.

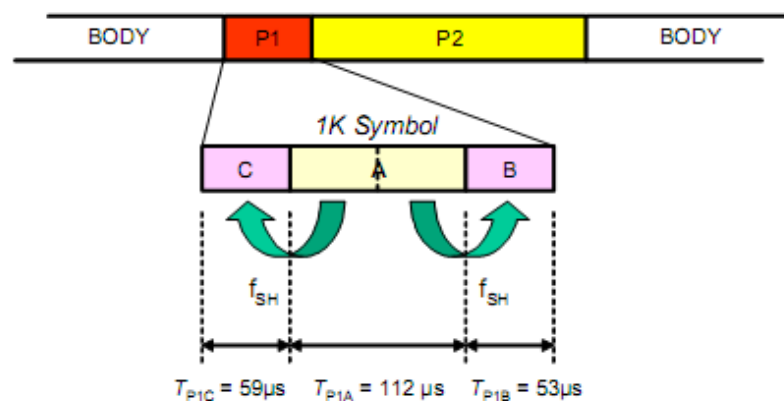


Fig.: 3.18: Estructura del símbolo P1

Nótese que la primera parte del símbolo, C, es una copia de las primeras 542 muestras de A; mientras que B es una copia de las últimas 482 muestras de A.

En principio, con un símbolo de 1k, 853 portadoras podrían ser transmitidas dentro de un ancho de banda nominal. Las portadoras usadas estarán centradas en la banda, dejando 44 y 43 portadoras vacías a los lados. Dentro del bloque principal usado, bastantes portadoras son fijadas a cero según un patrón conocido que podrán ser usadas para la sincronización en frecuencia. Para sistemas de 8MHz, las portadoras usadas ocupan aproximadamente un bloque de 6.3MHz en el medio de una señal de ancho nominal 7.61MHz.

Un modelo de modulación es aplicado a 384 portadoras, usando DBPSK. Dicho modelo de modulación codifica 7 bits de señalización.

3.9.3.- Características de P1

La arquitectura del símbolo P1 ha sido diseñada para ser robusta, permitiendo al receptor decodificar el símbolo P1 en condiciones cambiantes. P1 fue diseñado con las siguientes características:

- Protección contra interferencias.

Se espera que el símbolo P1 pueda ser corregido y decodificado bajo circunstancias verdaderamente extremas. La elección (por eficiencia) de longitud fija del símbolo significa que puede haber interferencia inter-símbolo, aunque ésta puede ser tolerada debido a que la modulación y la codificación han sido diseñadas para operar en una baja relación señal a ruido. La presencia de las partes C y B al comienzo y al final de símbolo de 1k proporciona robustez contra la falsa detección o pérdida de detección.

- Recepción de la señal sin conocimiento del canal

El símbolo P1 puede ser recuperado correctamente cuando el receptor está sintonizado con la frecuencia central. De hecho, el símbolo admite offset de más o menos 500KHz desde la frecuencia central de ancho de banda nominal en el caso de sistemas de 8MHz. La relación entre la potencia de pico y la potencia media (PAPR) del símbolo ha sido optimizada para facilitar la recepción.

- Capacidad para corregir el offset

El símbolo P1 puede ser utilizado para conseguir una mejor sincronización de tiempo del receptor, así como detectar cualquier desviación en frecuencia.

- Robustez de señalización

La señalización transportada por el símbolo P1 también es modulada (mediante modulación DBPSK). Se ha asegurado que esta protección es suficiente para recuperar dicha señalización incluso bajo valores negativos de SNR.