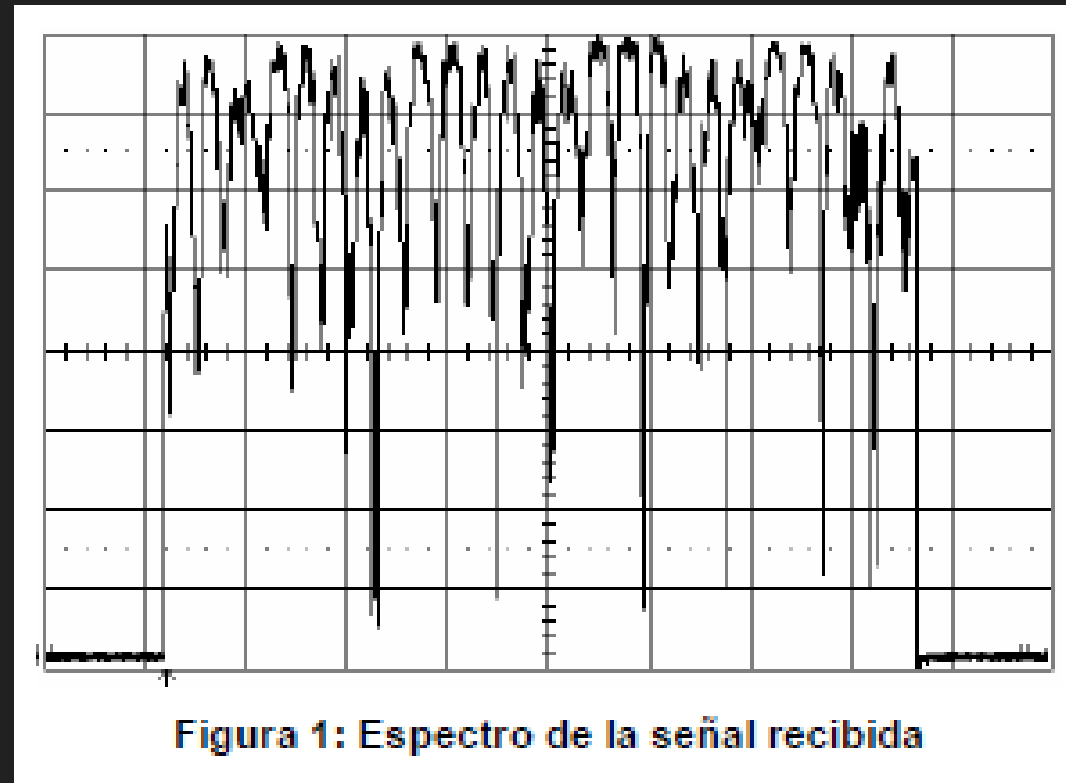


TANSMISIÓN ISDB-Tb

DANIEL ANDRES FLORES CORNEJO

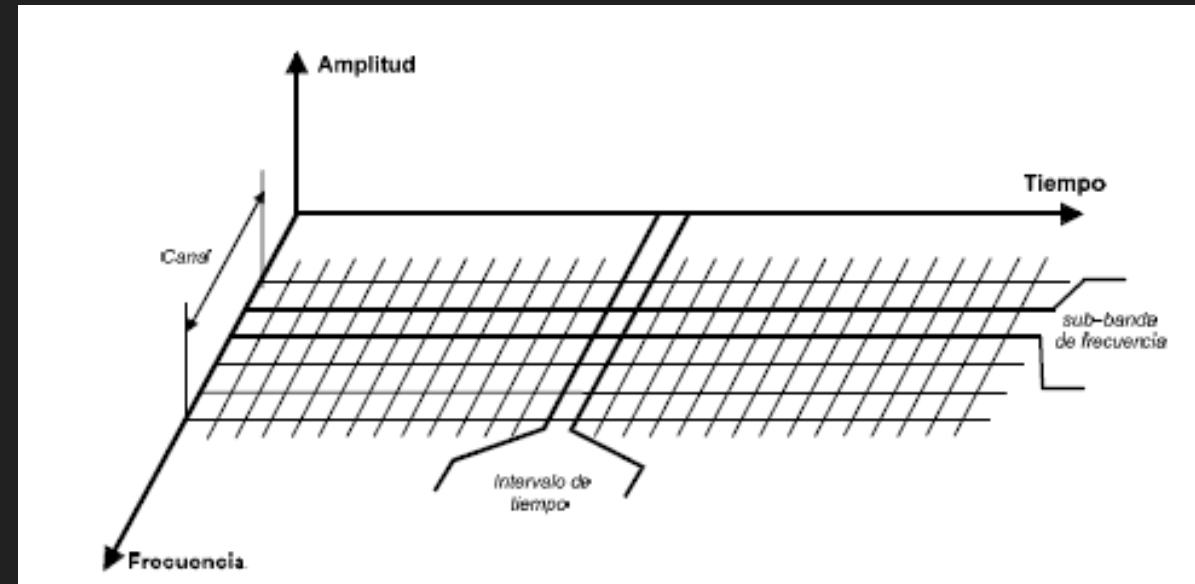
PORQUÉ USAR UN ESQUEMA ODMF?

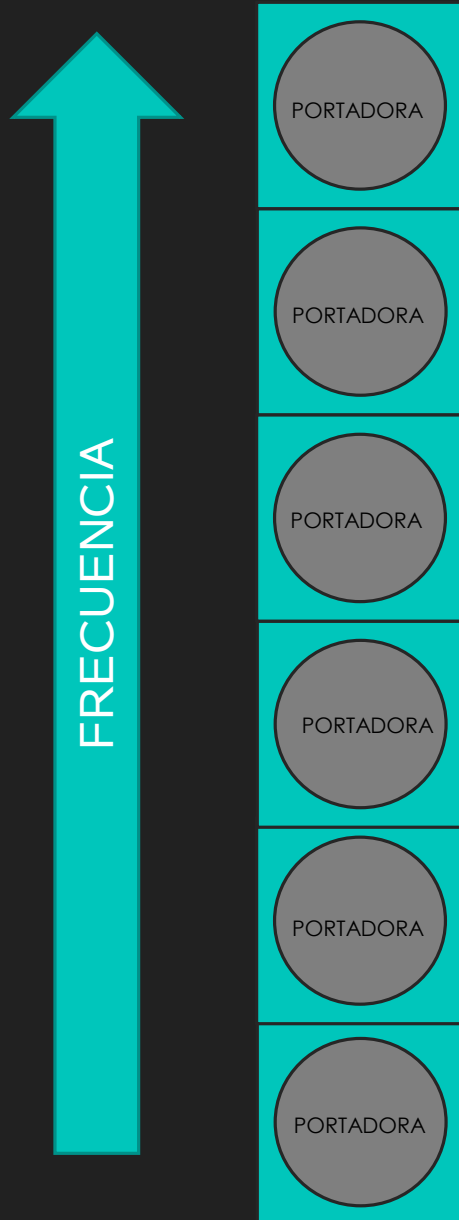
- Los esquemas ODFM son los utilizados en la transmisión ISDB-Tb, esto debido a las bondades que nos ofrecen con respecto a la degradación de la señal en el canal de transmisión.



ESQUEMA DE LOS SIMBOLOS ODFM

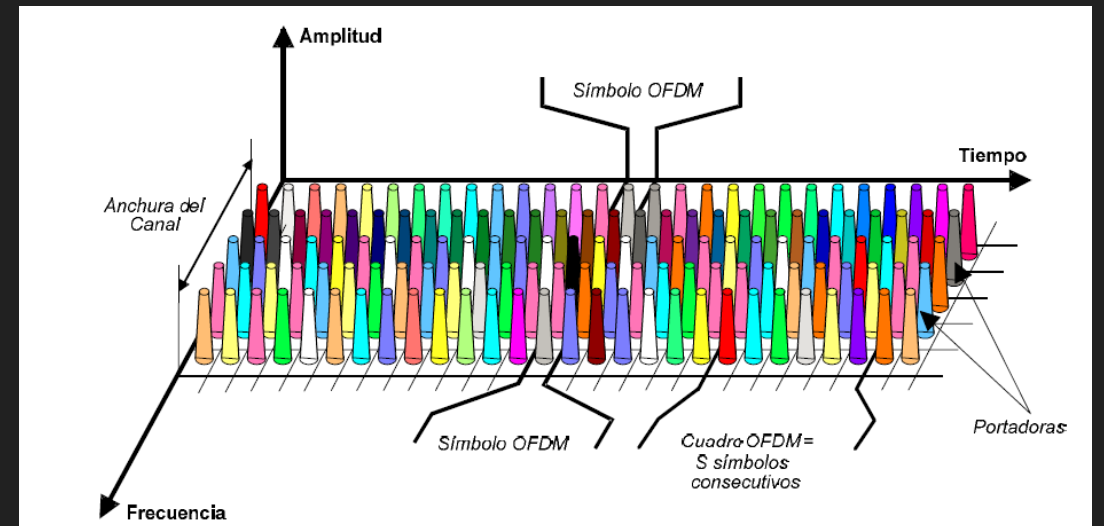
- Un símbolo ODFM consta de básicamente de dos ejes, frecuencia y tiempo, en el tiempo podemos ver como cada slot corresponde a un símbolo ODFM, en la frecuencia podemos ver las **N portadoras que lo componen**

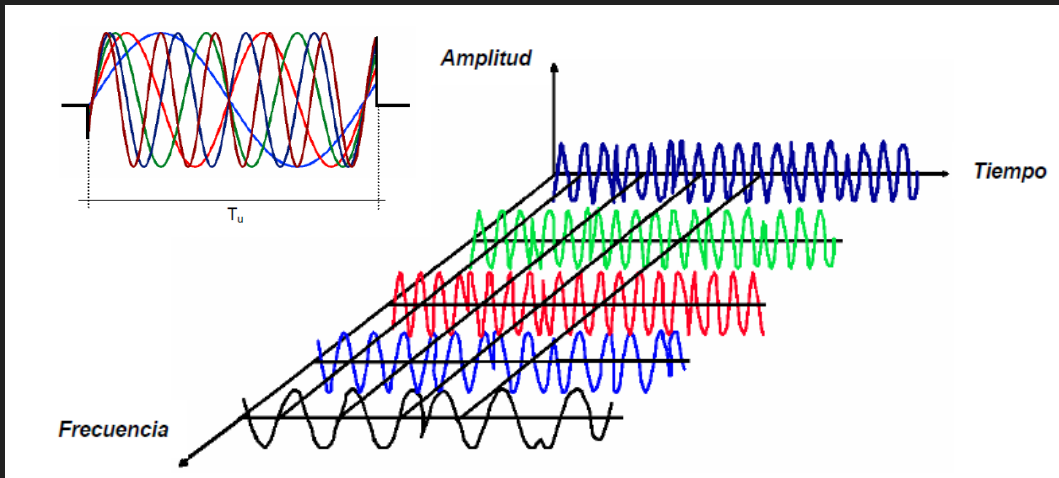




- Si vemos en la frecuencia podemos ver que un símbolo esta compuesto por N portadoras, que cada separadas por una **frecuencia particular**, cada portadora lleva un símbolo en un dado esquema de modulación

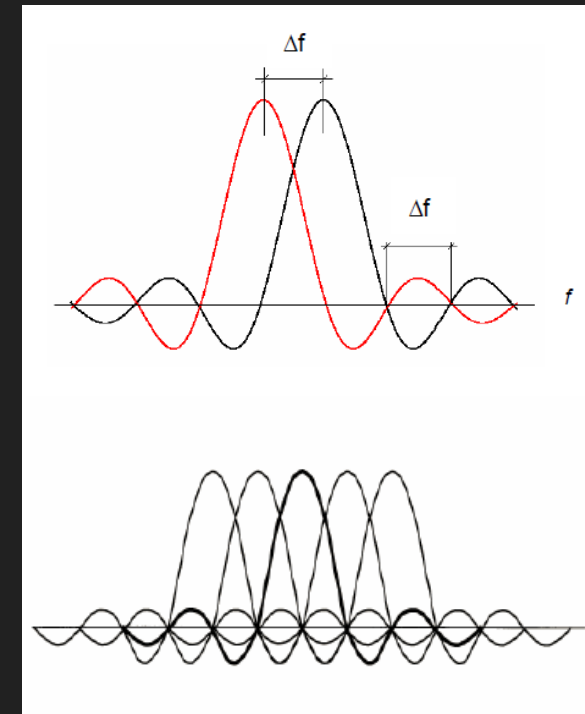
- Llamaremos un cuadro OFDM a un numero **S** de símbolos que se repetirán en el tiempo, en ISDB-Tb ese es un número dado



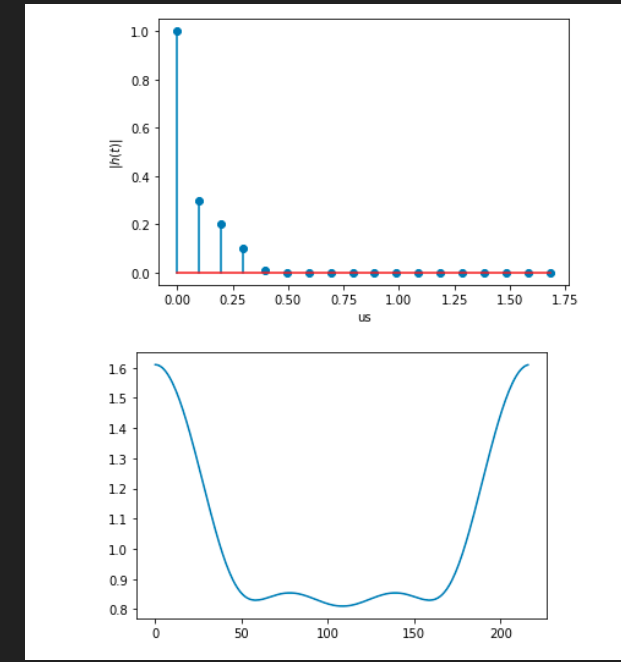
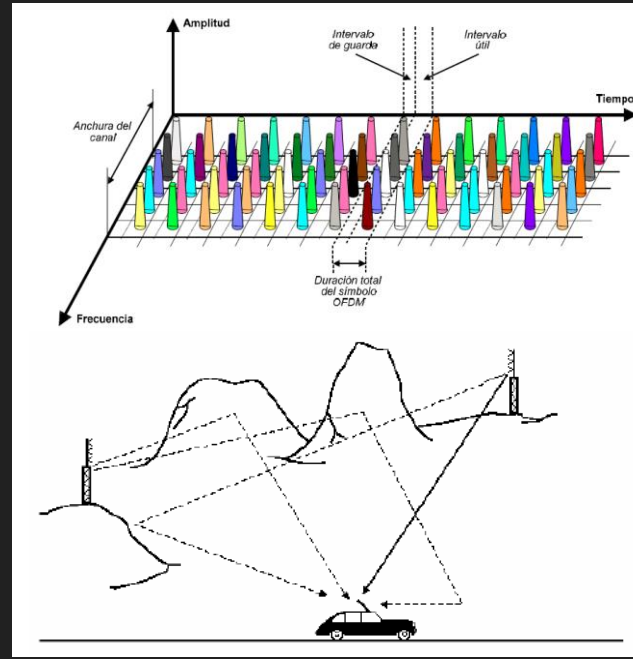


- Las distintas portadoras tendrán que estar cada cierta frecuencia, y en el eje del tiempo se proyectaran todas generando así un símbolo OFDM que tiene un tiempo **T_u**

- Cada portadora tendrá un espectro de Δf , para que las distintas portadoras no se interfieran entre sí, tiene que aparecer cada Δf , así las portadoras coinciden los cruces por 0, y se cancelan los lóbulos inferiores, vemos también que cada portadora tendrá una duración de **T_u**, entonces las mismas tendrán que estar espaciadas en la frecuencia por $\frac{1}{T_u}$ para mantener la ortogonalidad



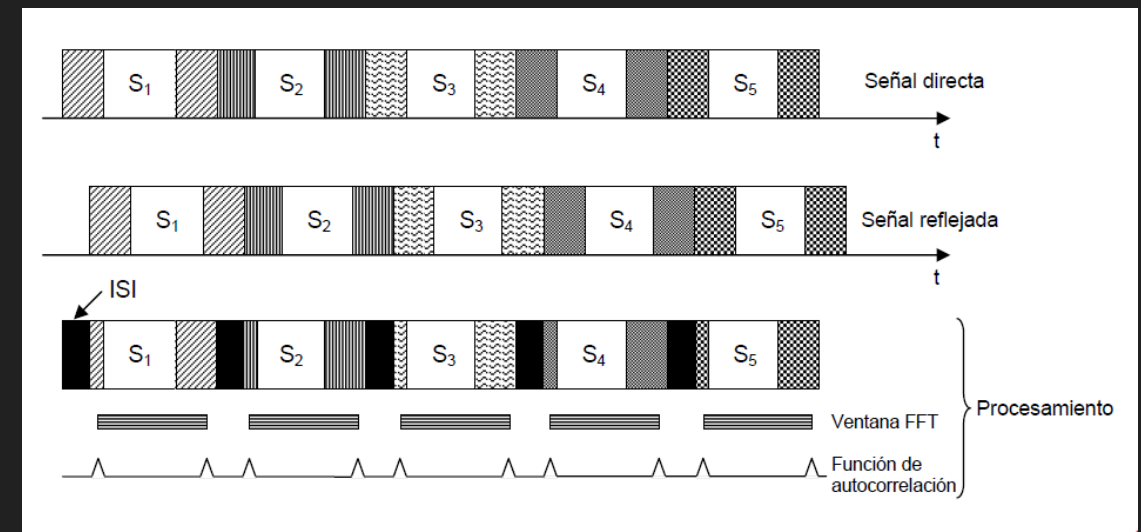
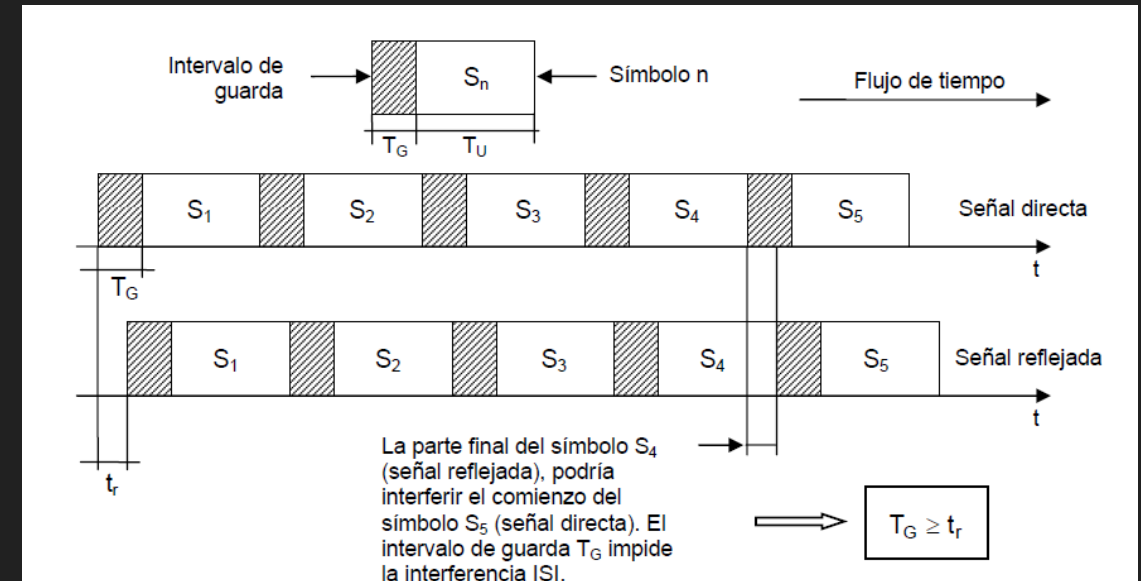
- En cada símbolo OFDM insertamos un periodo de guarda al final de cada símbolo



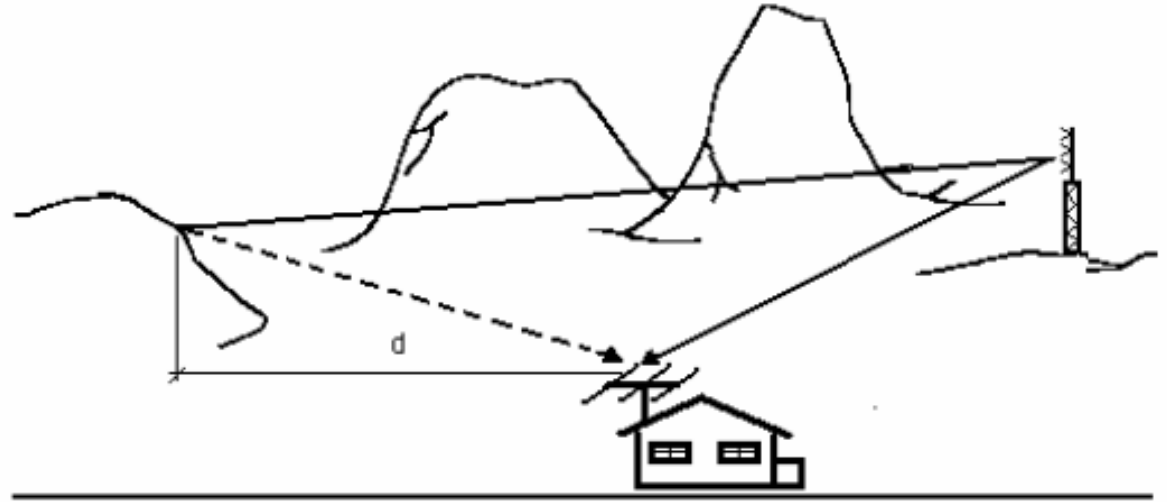
¿Por qué ponemos un intervalo de guarda?

- En primer lugar podemos ver que la señal rebota en distintos lugares, entonces además de llegar la señal directa del transmisor llega, en distintos momentos y mas atenuada la señal al receptor

- En segundo lugar, ayuda a la detección del símbolo, este espacio de guarda no está vacío, contiene el final del símbolo del símbolo, con esto y la función de autocorrelación podemos saber donde poner la ventana de la FFT para recuperar correctamente los datos. Si pusiésemos vacío dicho intervalo el detector tendría que ver exactamente donde empieza el símbolo y para ráfagas de datos es complicado



¿Cómo elegimos el intervalo de guarda?



- Suponemos la señal que rebota estará en la montaña cuando la señal principal, entonces la señal que rebota llegará con un retardo igual al tiempo que le tomaría recorrer esa distancia

$$T_g = t_r = \frac{d}{c}$$

¿QUE VALORES TOMAMOS PARA LA TRANSMISIÓN?

- En primer lugar tenemos que tener en cuenta ciertas consideraciones:
 1. El ancho de banda del canal es 6MHz
 2. Los esquemas de modulación disponibles para las portadoras son 64QAM, 16QAM, QPSK y DPQSK, el ultimo es poco usado por la complejidad del mismo
 3. El cociente de T_g y T_u puede tomar los valores de 0.25, 0.125, 0.0625 o 0.03125
- Suponemos que vamos a hacer los cálculos para un sistema que usa 64QAM, y que queremos una velocidad de transmisión de 36Mbps

- Para un esquema de 64QAM el nivel de SNR mínimo aceptable son 18dB, en veces es aproximadamente 63 veces, también consideramos que podemos alcanzar los límites teóricos tales que $R=C$

Calculo de la capacidad

$$C(bps) = BW_C \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$C(bps) = 36Mbps$$

$$R(bps) = \frac{b_p * L}{T_s}$$

$$36Mbps = \frac{b_p * L}{T_s}$$

T_s es el tiempo de símbolo

$$T_s = T_u + T_g$$

$$T_s = 32T_g + T_g = 33T_g$$

Si bp son los bits por portadora

$$6Mbps = \frac{L}{T_s}$$

Calculamos T_g como t_r

$$t_r = \frac{d}{c} = \frac{2km}{\frac{0.3km}{\mu s}} = 7\mu s$$

$$6Mbps = \frac{L}{33T_g}$$

$$6Mbps * 33 * 7\mu s = L$$

$$1386 = L$$

- Finalmente en ISDB-Tb se terminan usando un par de potadoras mas

Calculo del Δf

$$\Delta f = \frac{BW_c}{L}$$

$$\Delta f = 432.9 \text{ KHz}$$

$$Tu = \frac{1}{\Delta f}$$

$$Tu = 231 \mu s$$

Calculo de la frecuencia de muestreo de la IFFT

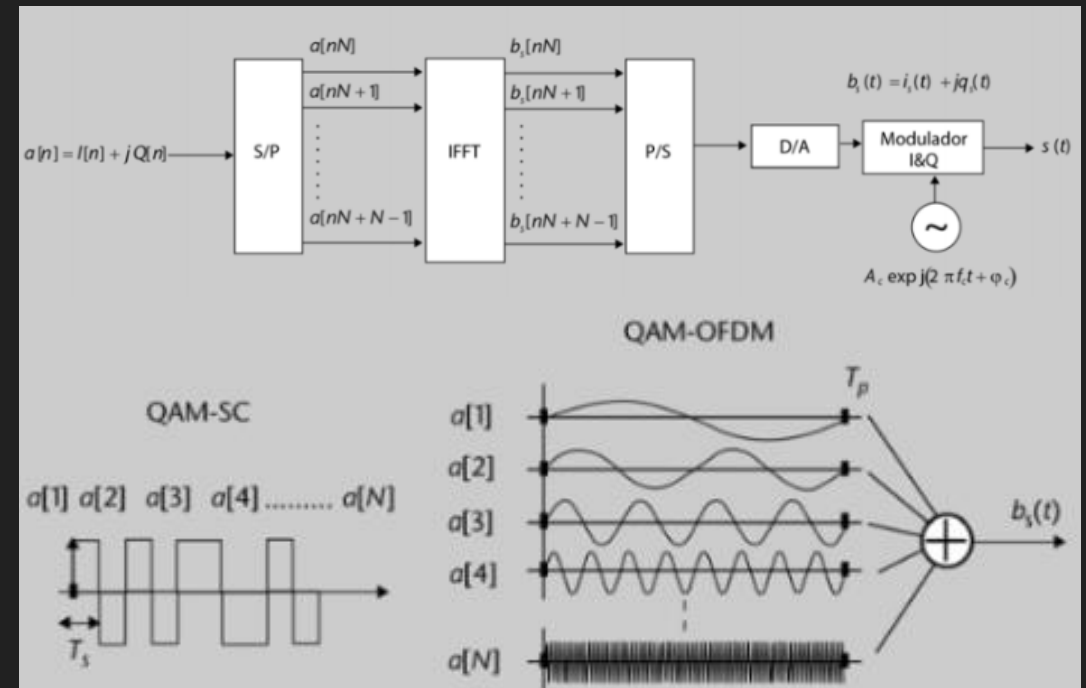
En primer lugar sabemos que la IFFT es un algoritmo que trabaja en potencias de dos, si tenemos 1386 potadoras tendremos que trabajar con una IFFT de 2048, entonces su frecuencia de muestreo será

$$f_{IFFT} = \frac{2048}{231 \mu s} = 8.865 \text{ MHz}$$

¿Porqué usar la IFFT?

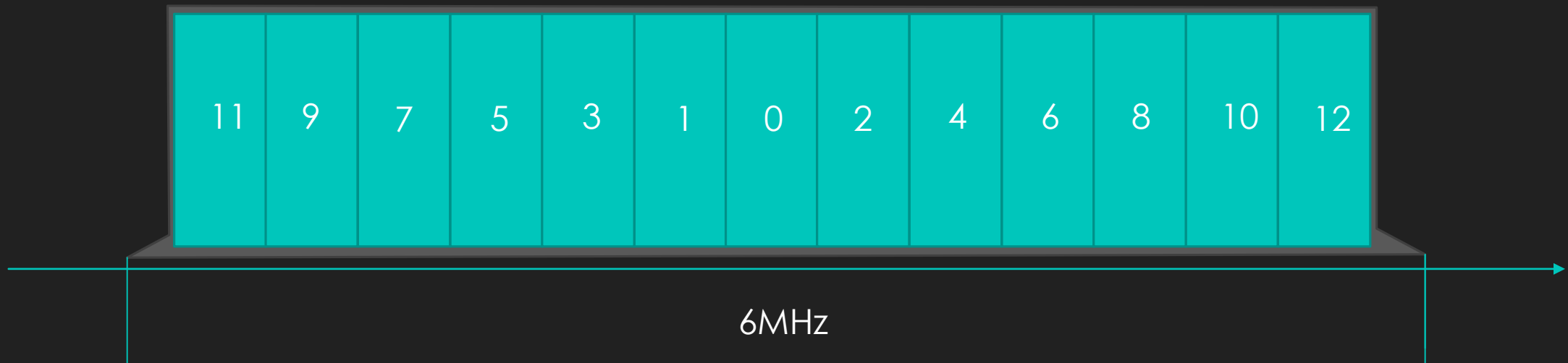
- El algoritmo de la IFFT es muy útil para modular en sistemas IQ, mapeamos el símbolo y cada grupo de bits le asignamos un numero complejo, hacemos la conversión serie paralelo, y pasamos el numero complejo a la IFFT y nos da como resultado una señal en el tiempo que después podemos demodular una una FFT

```
mapping_table = {
    (0,0,0,0) : (-3-3j)/np.sqrt(10),
    (0,0,0,1) : (-3-1j)/np.sqrt(10),
    (0,0,1,0) : (-3+3j)/np.sqrt(10),
    (0,0,1,1) : (-3+1j)/np.sqrt(10),
    (0,1,0,0) : (-1-3j)/np.sqrt(10),
    (0,1,0,1) : (-1-1j)/np.sqrt(10),
    (0,1,1,0) : (-1+3j)/np.sqrt(10),
    (0,1,1,1) : (-1+1j)/np.sqrt(10),
    (1,0,0,0) : (3-3j)/np.sqrt(10),
    (1,0,0,1) : (3-1j)/np.sqrt(10),
    (1,0,1,0) : (3+3j)/np.sqrt(10),
    (1,0,1,1) : (3+1j)/np.sqrt(10),
    (1,1,0,0) : (1-3j)/np.sqrt(10),
    (1,1,0,1) : (1-1j)/np.sqrt(10),
    (1,1,1,0) : (1+3j)/np.sqrt(10),
    (1,1,1,1) : (1+1j)/np.sqrt(10)
}
```

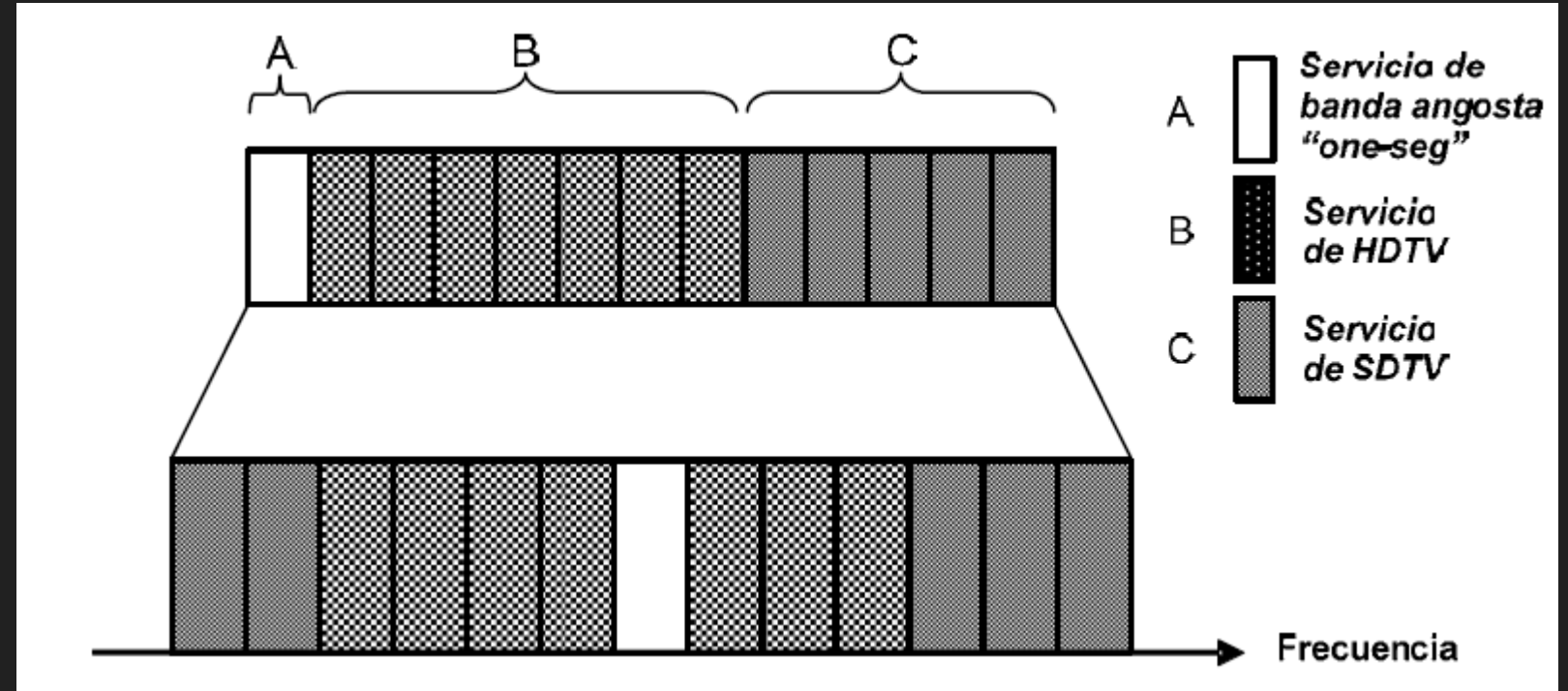


TRANSMISIÓN EN ISDB-Tb

- Cuando transmitimos en ISDB-Tb, dividimos el espectro de 6MHz en 14 segmentos en total, de los cuales 3 tendrán portadoras no nulas y un segmento tendrá portadoras nulas, que serán de guarda



- Una de las bondades que ofrece el dividir el canal en 13 segmentos es que permite la transmisión jerárquica, en la cual a medida agregamos mas capas se hace mas compleja la demodulación



- El segmento 0, o "one seg", es utilizado para transmitir señales de banda angosta ósea de menor resolución, al estar en el centro del espectro son mucho mas fáciles de demodular, este modo se usa principalmente en dispositivos móviles o de pantalla chica

- Vemos que tenemos 14 segmentos en total, uno será guarda y será dividido en dos mitades al inicio y al final, y tenemos que dividir el ancho de banda total en los 14 segmentos, por lo que cada segmento tendrá un total de:

$$BW_S = \frac{BW_c}{14}$$

$$BW_S = 428.57KHz$$

$$BW = N_s * BW_S = 5.571MHz$$

¿Qué pasa si usamos el número de portadoras que calculamos antes?

$$L_S = \frac{L}{N_s}$$

$$L_S = 106.6$$

No podemos tener portadoras no enteras, lo siguiente que podemos pensar es usar 107 portadoras

$$\Delta f = \frac{BW_S}{L_S} = 4.0053KHz$$

$$Tu = \frac{1}{\Delta f} = 249.66666\mu s$$

- El problema con un Tu periódico es que nos da una frecuencia de muestreo de la IFFT periódica, por lo cual no habrá un número entero de muestras entre los periodos de muestreo, por lo cual se toma 108 portadoras

$$\Delta f = \frac{BW_S}{L_s} = 3.968KHz$$

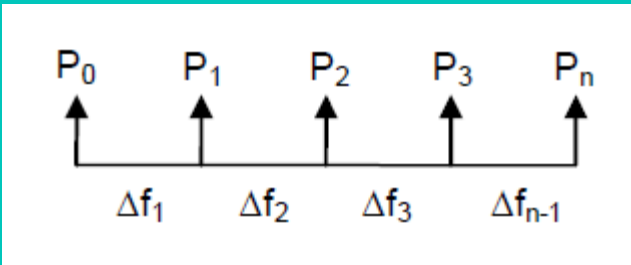
$$Tu = \frac{1}{\Delta f} = 252\mu s$$

$$f_{IFFT} = \frac{2048}{252\mu s} = 8.126MHz$$

Para tener un total de N espacios entre portadoras, vemos que es necesario tener N+1 portadoras, por lo que el número final de portadoras será

$$N_s * L_s = L$$

$$1405 = L$$



- El ancho de banda total de las portadoras útiles entonces, sería el ancho de banda de los 13 segmentos mas el ancho de banda de la portadora extra que pusimos

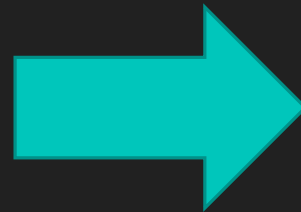
$$N_s * BW_s + \Delta f = 5.575MHz$$

Modo 1				
Tg (us)		Tu (us)	Ts (us)	DISTANCIA
Tu/4	63	252	315	18.9 km
Tu/8	31.5	252	283	9.45 km
Tu/16	15.75	252	267.75	4.72 km
Tu/32	7.875	252	259.875	2.36 km

¿Qué es un modo?

- Vemos que la distancia máxima que podemos transmitir para el máximo intervalo de guarda ($1/4$), la máxima distancia a la cual podemos transmitir sin que nuestro intervalo de guarda pierda su utilidad es de 19 km aproximadamente, para transmitir mas lejos implementamos otros modos los cuales nos permiten transmitir mas lejos sin perder la protección de la guarda

¿En qué consisten los modos?



- Aumentamos el tiempo útil de los símbolos por lo que podemos transmitir mas lejos, por lo que se agregan mas portadoras a un menor espaciado

Los valores de tiempo de guarda según el modo

Modo 2					Modo 3				
Tu ₂ =2*T _{u₁}	Tg (us)		Ts(us)	d	Tu ₃ =2*T _{u₂}	Tg (us)		Ts(us)	d
504us	Tu/4	126	630	37.8 km	1008us	Tu/4	252	1260	75,6 km
	Tu/8	63	567	18.9 km		Tu/8	126	1134	37.8 km
	Tu/16	31.5	535.5	9.45 km		Tu/16	63	1071	18.9 km
	Tu/32	15.75	15.75	4.72 km		Tu/32	31.5	1039.5	9.45 km

Calculo de valores de IFFT y portadoras

Modo 2

$$T_u = 504\mu s$$

$$\Delta f = \frac{1}{T_u} = 1.9841\text{KHz}$$

$$L_s = \frac{BW_s}{\Delta f} = 216$$

$$L = L_s * N_s + 1 = 2809$$

$$N_s * BW_s + \Delta f = 5.573\text{MHz}$$

$$f_{IFFT} = \frac{4096}{504\mu s} = 8.126\text{MHz}$$

Modo 3

$$T_u = 1008\mu s$$

$$\Delta f = \frac{1}{T_u} = 0.9920\text{KHz}$$

$$L_s = \frac{BW_s}{\Delta f} = 432$$

$$L = L_s * N_s + 1 = 5617$$

$$N_s * BW_s + \Delta f = 5.572\text{MHz}$$

$$f_{IFFT} = \frac{8192}{1008\mu s} = 8.126\text{MHz}$$

- Podemos observar que hay parámetros que permanecen igual, por ejemplo el número de segmentos, también podemos ver que las portadoras por segmento son un múltiplo de las portadoras por segmento en modo 1, y lo mas importante, la frecuencia de muestreo permanece consatnte

Longitud de un cuadro OFDM

- Vemos que todo este sistema está planeado para transmitir televisión digital, por lo que transmitiremos transport streams, cada transport stream consta de 204 bytes por lo que definiremos como un cuadro OFDM como 204 símbolos OFDM, en el cual según el esquema de modulación y el código convolucional podremos transmitir entre 12 y 252 TSP por cuadro OFDM

Modo 1		
Tg	Ts(us)	Tiempo cuadro (Ts*204)
Tu/4	315	64.26 ms
Tu/8	283	57.834 ms
Tu/16	$\frac{267.7}{5}$	54.621 ms
Tu/32	259.8	53.0145 ms

Modo 2		
Tg	Ts(us)	Tiempo cuadro (Ts*204)
Tu/4	630	128.52ms
Tu/8	567	115.668ms
Tu/16	535.5	109.242ms
Tu/32	$\frac{515.7}{5}$	104.213ms

Modo 3		
Tg	Ts(us)	Tiempo cuadro (Ts*204)
Tu/4	1260	257.04ms
Tu/8	1134	231.336ms
Tu/16	1071	218.484ms
Tu/32	$\frac{1039.7}{5}$	212.058ms

Porque tiene 204 símbolos OFDM cuadro

OFDM

Donde T_c es el periodo de tiempo considerado, K_o es (188/204) y K_i es la razón del código convolucional

$$R(bps) = K_o K_i \left(\frac{b_P * 13 * L_D}{T_S} \right)$$

$$b_s = \frac{1}{13} * T_c R(bps)$$

$$b_s = K_o K_i b_P L_D \frac{T_c}{T_S}$$

$$b_T = N * 188 * 8$$

$$b_T = b_s$$

$$N * 188 * 8 = K_o K_i b_P L_D \frac{T_c}{T_S}$$

N es el numero de TSP, T_s es la duración de un símbolo OFDM

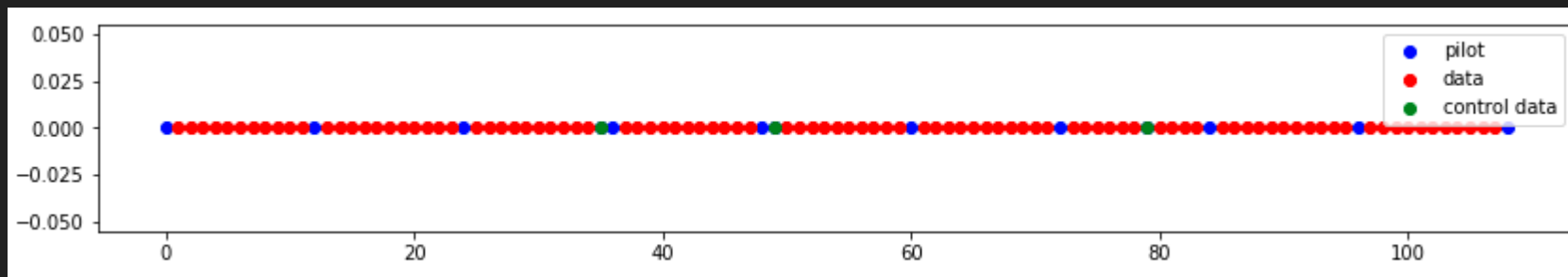
$$N = \frac{T_c / T_S K_i b_P L_D}{204 * 8}$$

De los cálculos anteriores se puede deducir, al saber que N tiene que ser un número entero, que T_c/T_s tiene que ser 204 o un múltiplo del mismo, si es un múltiplo, el símbolo sería demasiado largo y habría problemas de sincronismo.

También se obtiene que L_d tiene que ser divisible entre 8

¿ Usamos todas las portadoras para datos?

- No, usamos algunas portadoras para transmitir información de control, o para poder hacer aproximaciones del canal



Tenemos un total de 6 tipos de portadoras

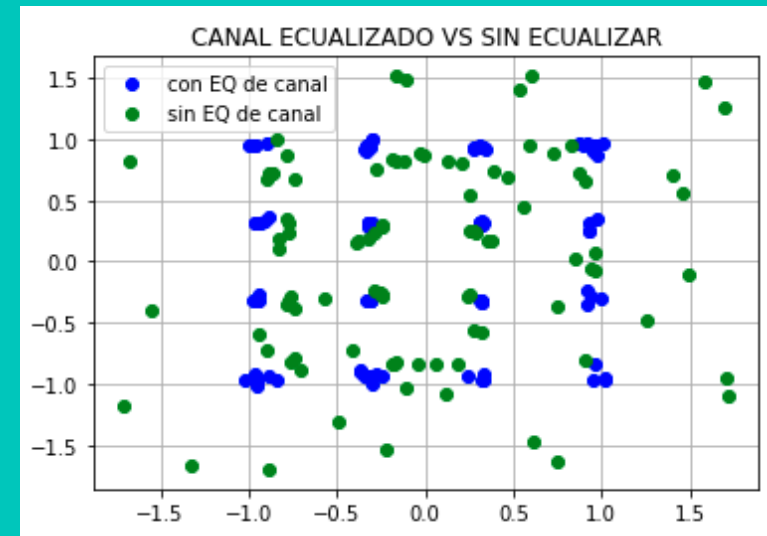
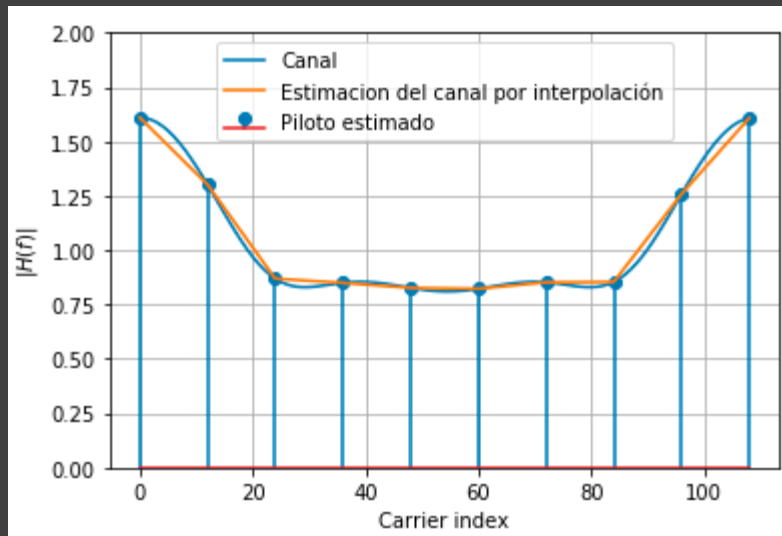
- Las portadoras de datos, son la mayoría, las mismas son para la transmisión de información sobre los TSP, según el modo en el que trabajemos habrá mas o menos portadoras de datos, aún así, serán múltiplos del número de portadoras en modo 1
- Portadoras AC1, tienen información acerca del canal, modulación, modo, segmento estas portadoras se usan para los esquemas QPSK, DPQSK, 16QAM, 64 QAM
- Scattered Pilot ,son portadoras piloto, que tienen cierto valor, y están en una posición dada, por lo que serán de utilidad para poder estimar el canal, este tipo de portadoras solo se usa en QPSK, 16QAM y 64QAM

Modo	Portadoras
1	96
2	192
3	384

Modo	Portadoras
1	2
2	4
3	8

Modo	Portadoras
1	9
2	18
3	36

¿ Para que estimar el canal ?



Portadoras que usamos en modulación diferencial y sincrónica

- El piloto continuo (CP) sirve en modulación diferencial como las SP en modulación sincrónica, la piloto continua se pone siempre al principio del segmento y siempre tiene el mismo valor
- Portadoras AC2, se usan solo en modo diferencial (DQPSK), las mismas tienen información adicional sobre el control y el canal
- Portadoras TMCC son portadoras de control que se usan en el método QPSK, DQPSK, 16QAM, 64 QAM,

Modo	Portadoras
1	1
2	1
3	1

Modo	Portadoras
1	4
2	9
3	19

Modo	Diferencial	Portadoras
1	5	1
2	10	2
3	20	4

Scattered Pilot (SP)

- Toma el nombre de piloto dispersa porque no tienen una posición fija en la frecuencia, si no que se va corriendo de lugar hasta en 3 ocasiones antes de regresar a su posición original

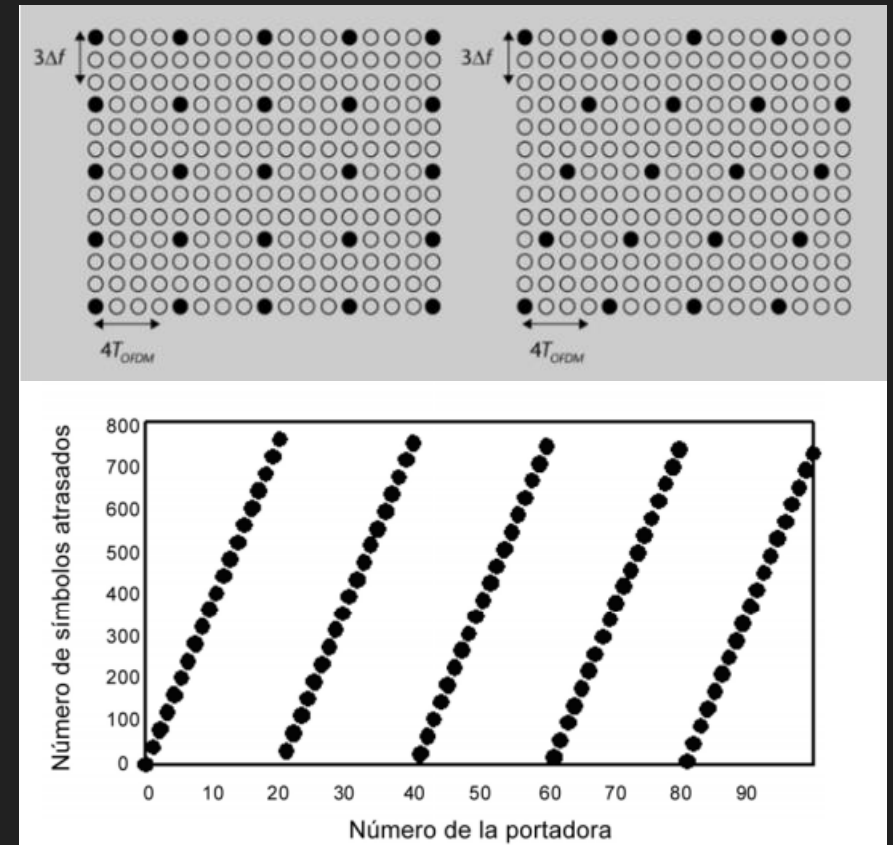


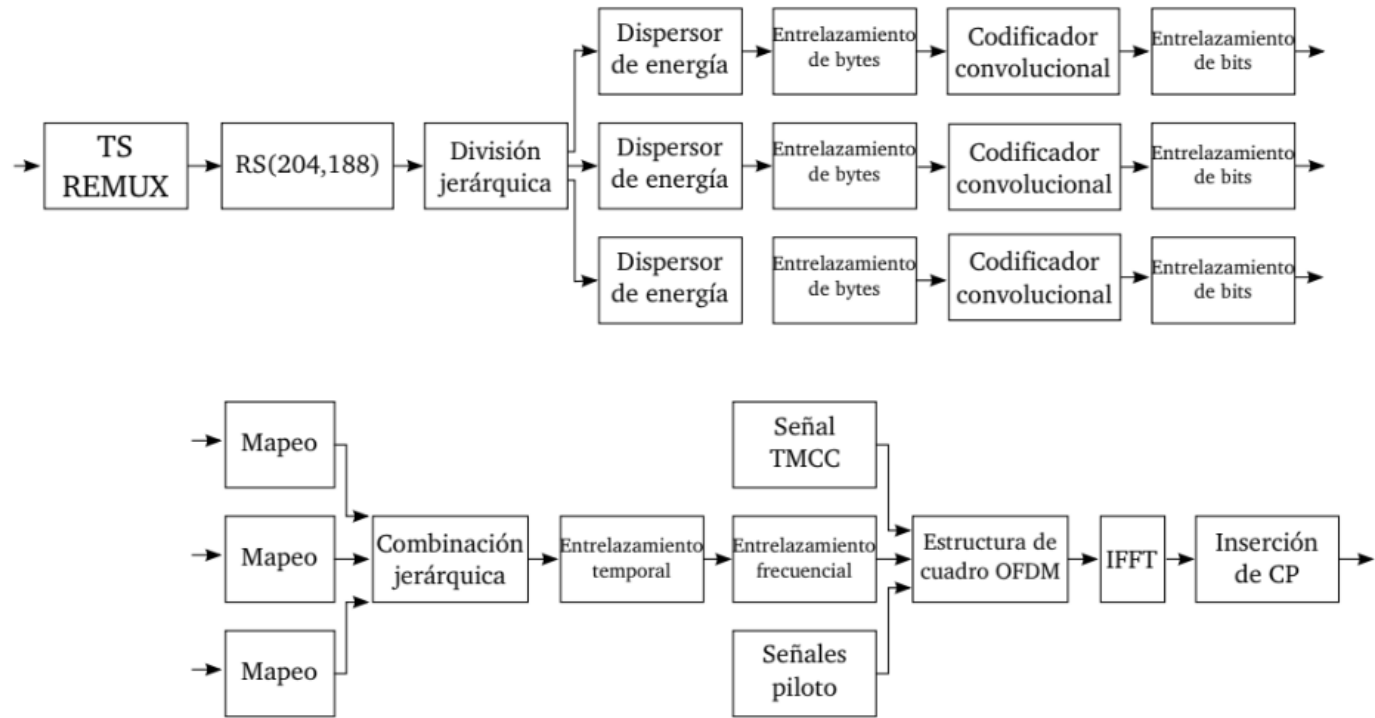
Tabla 2 — Parámetros del segmento OFDM

Modo		Modo 1		Modo 2		Modo 3	
Ancho de la banda		3000/7 = 428,57 kHz					
Separación entre frecuencias portadoras		250/63 kHz		125/63 kHz		125/126 kHz	
Número de portadoras	Total	108	108	216	216	432	432
	Datos	96	96	192	192	384	384
	SP ^a	9	0	18	0	36	0
	CP ^a	0	1	0	1	0	1
	TMCC ^b	1	5	2	10	4	20
	AC1 ^c	2	2	4	4	8	8
	AC2 ^c	0	4	0	9	0	19
Esquema de modulación de las portadoras		QPSK 16QAM 64QAM	DQPSK	QPSK 16QAM 64QAM	DQPSK	QPSK 16QAM 64QAM	DQPSK
Símbolos por cuadro		204					
Tamaño del símbolo efectivo		252 μs		504 μs		1008 μs	
Intervalo de guarda		63 μs (1/4), 31,5 μs (1/8), 15,75 μs (1/16),		126 μs (1/4), 63 μs (1/8), 31,5 μs (1/16),		252 μs (1/4), 126 μs (1/8), 63 μs (1/16),	
Longitud del cuadro		64,26 ms (1/4), 57,834 ms (1/8), 54,621 ms (1/16),		128,52 ms (1/4), 115,668 ms (1/8), 109,242 ms (1/16),		257,04 ms (1/4), 231,336 ms (1/8), 218,484 ms (1/16),	
Frecuencia de muestreo de la IFFT		512/63 = 8,12698 MHz					
Entrelazamiento interno		Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)					
Codificador externo		RS (204,188)					

Tabla 3 — Parámetros de la señal de transmisión

Modo		Modo 1	Modo 2	Modo 3
Número de segmentos OFDM N _s		13		
Ancho de banda		3000/7 kHz x N _s + 250/63 kHz = 5,575MHz	3000/7 kHz x N _s + 125/63 kHz = 5,573MHz	3000/7 kHz x N _s + 125/126 kHz = 5,572 MHz
Número de segmentos de modulación diferencial		n _d		
Número de segmentos de modulación síncrona		n _s (n _s + n _d = N _s)		
Separación entre frecuencias portadoras		250/63 = 3,968 kHz	125/63 = 1,984 kHz	125/126 = 0,992 kHz
Número de portadoras	Total	108 x N _s + 1 = 1 405	216 x N _s + 1 = 2 809	432 x N _s + 1 = 5 617
	Datos	96 x N _s = 1 248	192 x N _s = 2 496	384 x N _s = 4 992
	SP	9 x n _s	18 x n _s	36 x n _s
	CP ^a	n _d + 1	n _d + 1	n _d + 1
	TMCC	n _s + 5 x n _d	2 x n _s + 10 x n _d	4 x n _s + 20 x n _d
	AC1	2 x N _s = 26	4 x N _s = 52	4 x N _s = 104
	AC2	4 x n _d	9 x n _d	19 x n _d
Esquema de modulación de las portadoras		QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK		
Símbolos por cuadro		204		
Tamaño del símbolo efectivo		252 μs	504 μs	1008 μs
Intervalo de guarda		63 μs (1/4), 31,5 μs (1/8), 15,75 μs (1/16), 7,875 μs (1/32)	126 μs (1/4), 63 μs (1/8), 31,5 μs (1/16), 15,75 μs (1/32)	252 μs (1/4), 126 μs (1/8), 63 μs (1/16), 31,5 μs (1/32)
Longitud del cuadro		64,26 ms (1/4), 57,834 ms (1/8), 54,621 ms (1/16), 53,0145 ms (1/32)	128,52 ms (1/4), 115,668 ms (1/8), 109,242 ms (1/16), 106,029 ms (1/32)	257,04 ms (1/4), 231,336 ms (1/8), 218,484 ms (1/16), 212,058 ms (1/32)
Inner code		Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4 5/6, 7/8)		
Outer code		RS (204,188)		

- Anteriormente ya se comento como funciona la estructura de OFDM, las señales piloto, de ahora en adelante se explicara brevemente lo que viene antes de eso



TS REMUX

- Al TS REMUX le llegan TS, los cuales se componen de 188 bytes, en el remux se le agregan 16 bytes, los 8 primeros son bytes referidos al control de la información de ISDB-Tb, y los otros 8 son bytes que pueden ser de paridad o pueden estar sin información, a la salida del REMUX tendremos BTS (broadcast transport stream) de 204 bytes, después esos últimos 16 bytes serán reemplazados por los bytes del código Reed Solomon

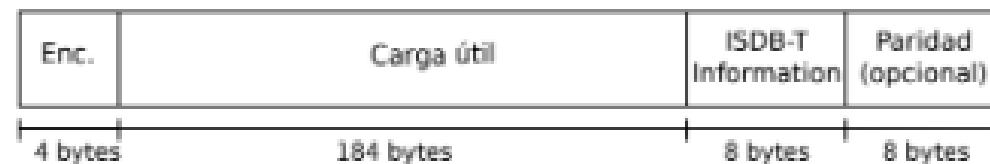


Figura 3.3: TSPs que conforman el BTS. Los primeros 188 bytes corresponden al TSP original. Se agrega al final la *ISDB-T Information* y opcionalmente la paridad.

Definimos un cuadro multiplex, como la cantidad de paquetes entregados por el TS REMUX en el tiempo de un cuadro ODFM, la tasa de transmisión de BTS será una constante a lo largo del sistema, para así poder lograr de una forma perfecta la sincronización entre un cuadro multiplex y los cuadro ODFM, ambos tienen que transmitir la misma cantidad de paquetes de información

Si no sincronizamos de una manera correcta los cuadros ODFM con los cuadro multiplex podemos producir un jitter en el clock del programa PCR (Program Clock Reference), lo cual nos puede causar problemas a la hora de demultiplexar, para que coincidan el remultiplexor entregara algunos paquetes sin información

La cantidad de bits que entrega el remultiplexor será:

$$b_m = 204 * T_u(1 + CP) * r_{bts}$$

En el cuadro multiplex tiene que haber un número entero de TSP, entonces la ecuación anterior tiene que coincidir con:

$$b_m = 204 * 8 * M$$

Donde M es la cantidad de TSP que hay

Si recordamos, la relación entre tiempo :

$$F_{IFFT} = \frac{2^k}{T_u}$$

$$T_u = \frac{2^k}{F_{IFFT}}$$

Donde 2 elevado a la k es el número de portadoras de cada modo, incluyendo a las nulas, sustituyendo queda:

$$b_m = 204(1 + CP) * r_{bts} * \frac{2^k}{F_{IFFT}}$$

Si igualamos los bm

$$\begin{aligned} 204 * 8 * M \\ = 204(1 + CP) * r_{bts} * \frac{2^k}{F_{IFFT}} \end{aligned}$$

Despejamos para dejar una relación entre rbts y Fiff

$$\frac{8 * M}{2^k(1 + CP)} = \frac{r_{bts}}{F_{IFFT}}$$

$$\frac{8 * M}{2^k(1 + CP)} = \frac{r_{bts}}{F_{IFFT}}$$

Con esta relación hacemos la suposición que la relación entre r_{bts} y F_{IFFT} es de cuatro, para poder tener una relación entera entre las frecuencias

$$M = \frac{2^{k-1}(1 + CP)}{2}$$

$$= 2^{k-1}(1 + CP)$$

Con esta formula, ahora podemos saber de cuantos TSP hay por cuadro multiplex

Con los datos anteriores podemos calcular la tasa de transmisión de r_{bts}

$$r_{bts} = 4 * F_{IFFT}$$

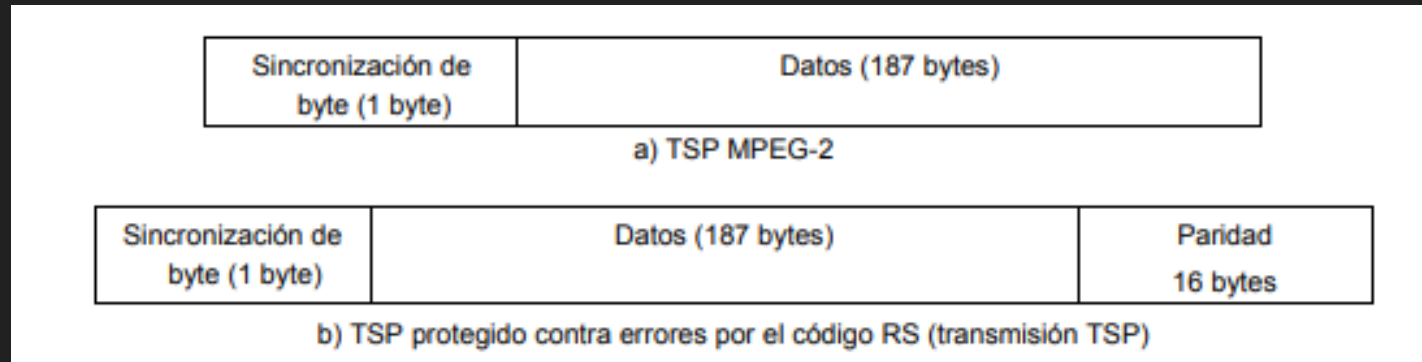
$$r_{bts} = 4 * 8.126MHz = 32.508MHz$$

También con la formula antes calculada, podemos saber cuantos TSP hay por cuadro multiplex

Modo	Número de TSP transmitidos dentro de un cuadro multiplex			
	Tasa del intervalo de guarda	Tasa del intervalo de guarda	Tasa del intervalo de guarda	Tasa del intervalo de guarda
	1/4	1/8	1/16	1/32
Modo 1	1 280	1 152	1 088	1 056
Modo 2	2 560	2 304	2 176	2 112
Modo 3	5 120	4 608	4 352	4 224

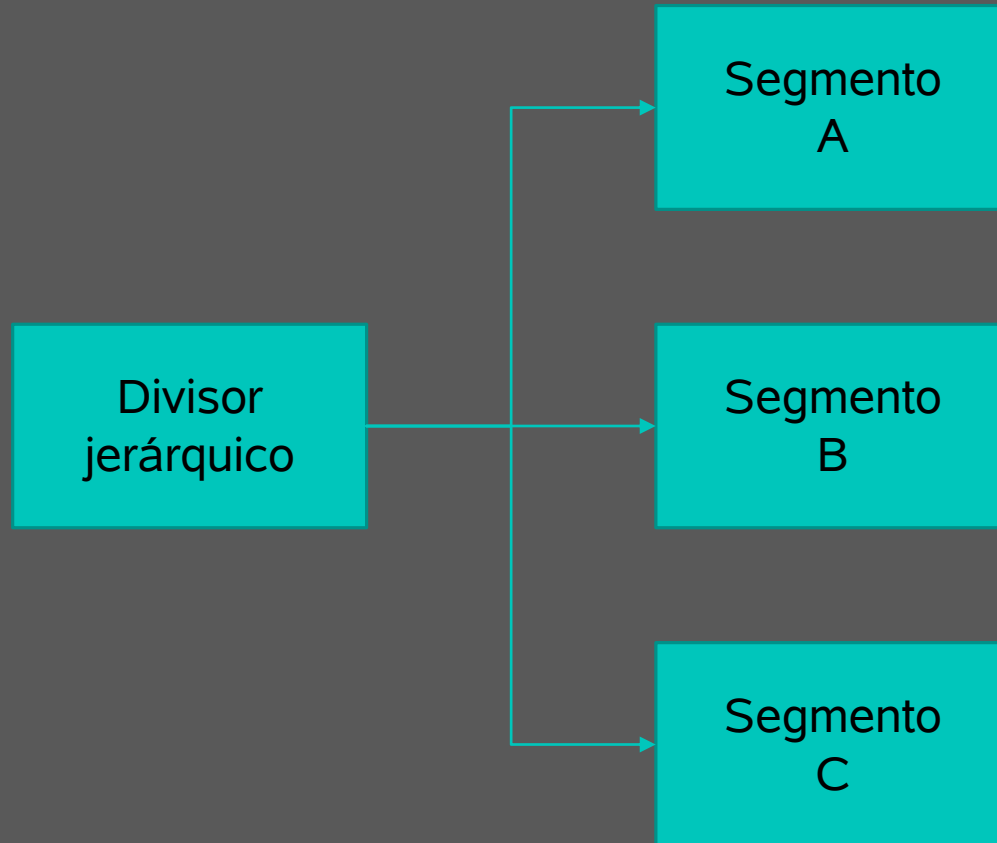
Reed Solomon

- Es un código externo que a diferencia del código convolucional, que solo agrega redundancia, nos sirve también para detectar errores, el código pasa de tener 188 bytes a tener 204 bytes, por eso se le denota como (204,188)



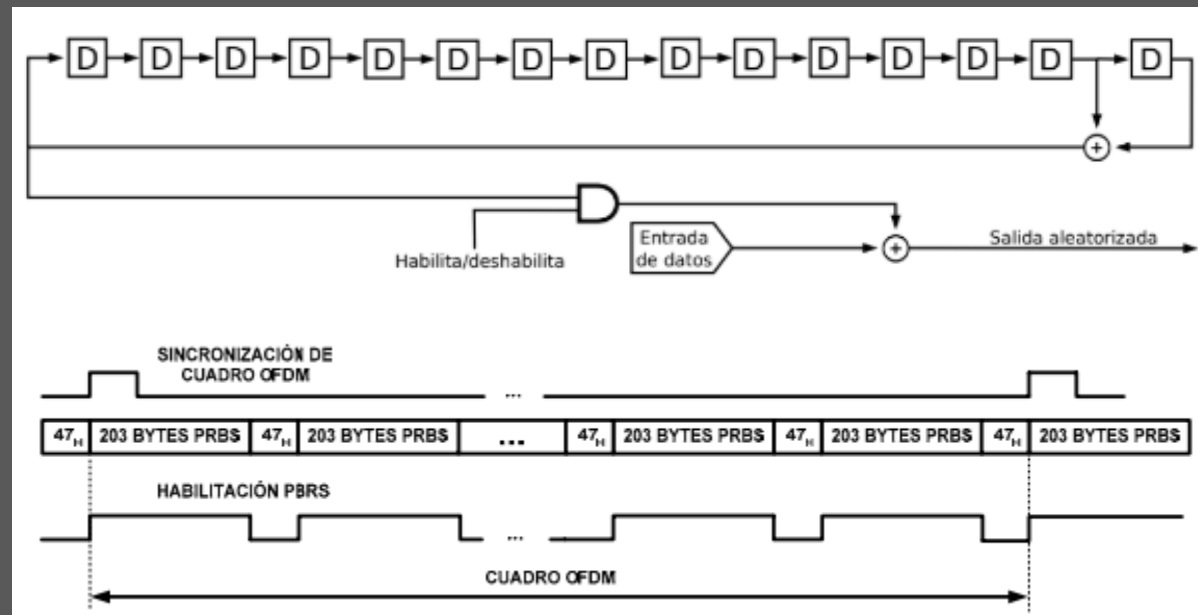
División Jerárquica

Como mencionamos antes, una de las bondades de ISDB-Tb es la división jerárquica, en este momento se dividen los paquetes de las distintos segmentos de transmisión



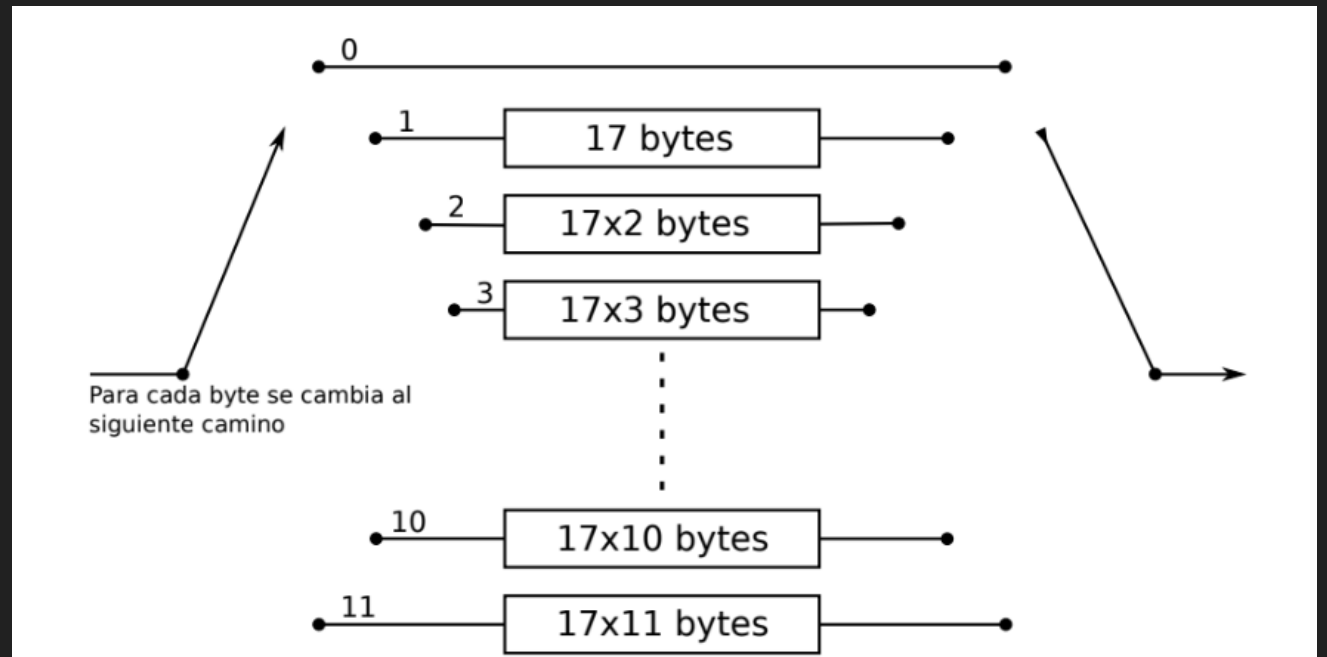
Dispersor de energía

- El dispersor de energía hace que si vienen muchos 0, o 1 juntos se disperse esa energía a lo largo del código, si viene el bit de sincronización se detiene el entrelazado, el registro de 15 bits siempre debe inicializarse en cada cuadro en 100101010000000



Entrelazador de bytes

Nos combina los bytes, esto nos protege de las ráfagas de errores y nos reparte los errores a lo largo del mensaje, esto lo hacemos debido a que el código Reed Solomon tiene un limite de cuantos errores consecutivos puede detectar



- El entrelazado induce un retraso en la transmisión, como podemos ver el byte que va por el camino 0, el byte de sincronización, no tiene retraso

La memoria total usada será:

$$M = (1 + 2 + 3 + \dots + 11) * 17 \text{ bytes}$$

$$M = 1122 \text{ bytes}$$

El retardo total será el doble que la memoria, ya que se tiene que llenar una memoria de M bytes para transmitir, y otra para reordenar en el receptor, b_c es la cantidad de bits transportados por una capa jerárquica de N_c segmentos

$$D = 2M = 2244 = 11 \text{ TSP}$$

$$b_c = N * N_c * 188 * 8$$

N es la cantidad de TSP por segmento

El entrelazado produce un retraso D, además de un retardo de ajuste D_A

$$D_R = D_A + D, \quad b_R = D_R * 188 * 8$$

$$b_T = b_c + b_R = (N_c * N + D_R) * 188 * 8$$

Se propone que el tiempo de procesamiento sea un múltiplo entero (k) de la duración de un cuadro ODFM, y sabemos que el tiempo de procesamiento necesario será igual a los bits totales transmitidos

$$T = \frac{1}{R} * b_T, \quad T = k * T_C$$

$$R = K_o K_I \frac{b_P N_c L_D}{T_S}, \quad K_o = \frac{188}{204}$$

$$T_C = 204 * T_S$$

Si igualamos los tiempos

$$k * T_C = \frac{1}{R} * b_T$$

$$K * N * N_c = N * N_c + D_R$$

$$D_A = D_R - 11$$

$$D_A = (K * N * N_c - N * N_c) - 11$$

Usamos el menor entero posible k, $k=2$

$$D_A = N * N_c - 11$$

Modulación de portadora	código convolucional	Valor de ajuste del atraso (número de transmisión de TSP) ^a		
		Modo 1	Modo 2	Modo 3
DQPSK QPSK	1/2	12 x N-11	24 x N-11	48 x N-11
	2/3	16 x N-11	32 x N-11	64 x N-11
	3/4	18 x N-11	36 x N-11	72 x N-11
	5/6	20 x N-11	40 x N-11	80 x N-11
	7/8	21 x N-11	42 x N-11	84 x N-11
16QAM	1/2	24 x N-11	48 x N-11	96 x N-11
	2/3	32 x N-11	64 x N-11	128 x N-11
	3/4	36 x N-11	72 x N-11	144 x N-11
	5/6	40 x N-11	80 x N-11	160 x N-11
	7/8	42 x N-11	84 x N-11	168 x N-11
64QAM	1/2	36 x N-11	72 x N-11	144 x N-11
	2/3	48 x N-11	96 x N-11	192 x N-11
	3/4	54 x N-11	108 x N-11	216 x N-11
	5/6	60 x N-11	120 x N-11	240 x N-11
	7/8	63 x N-11	126 x N-11	252 x N-11
^a N representa el número de segmentos usados por la capa jerárquica.				

Código convolucional

- Al estar transmitiendo tenemos formas de proteger nuestro TSP, y una de estas es agregando redundancia, esto lo hacemos con un código convolucional, el cual tiene tasas de $1/2$, $2/3$, $3/4$, $5/6$ y $7/8$, estos códigos trabajan a nivel de bit

X1	X2	X3	X4
Y1	Y2	Y3	Y4

Tasa de codificación	Secuencia de transmisión de la señal
$1/2$	X1, Y1
$2/3$	X1, Y1, Y2
$3/4$	X1, Y1, Y2, X3
$5/6$	X1, Y1, Y2, X3, Y4, X5
$7/8$	X1, Y1, Y2, Y3, Y4, X5, Y6, X7

Por cada segmento se transmiten un número determinado de TSP, la cual dependerá del código convolucional (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8) que tengamos el número de portadoras, ósea el modo, y el esquema de modulación que tenemos, el número de TSP estará dado por:

$$TSP = \frac{L_s * b_p}{8} * R_{CCL}$$

Donde R_{ccl} es la tasa del código convolucional y b_p son los bits por portadora

Modulación de la portadora	Código convolucional	Número de TSP transmitidos por cuadro
DQPSK QPSK	1/2	12/24/48
	2/3	16/32/64
	3/4	18/36/72
	5/6	20/40/80
	7/8	21/42/84
16QAM	1/2	24/48/96
	2/3	32/64/128
	3/4	36/72/144
	5/6	40/80/160
	7/8	42/84/168
64QAM	1/2	36/72/144
	2/3	48/96/192
	3/4	54/108/216
	5/6	60/120/240
	7/8	63/126/252

En la tabla podemos ver cuantos TSP se transmiten por segmento según el código, el esquema de modulación y el modo, siendo el menor número de cuadros el modo 1

La tasa de transmisión binaria sería:

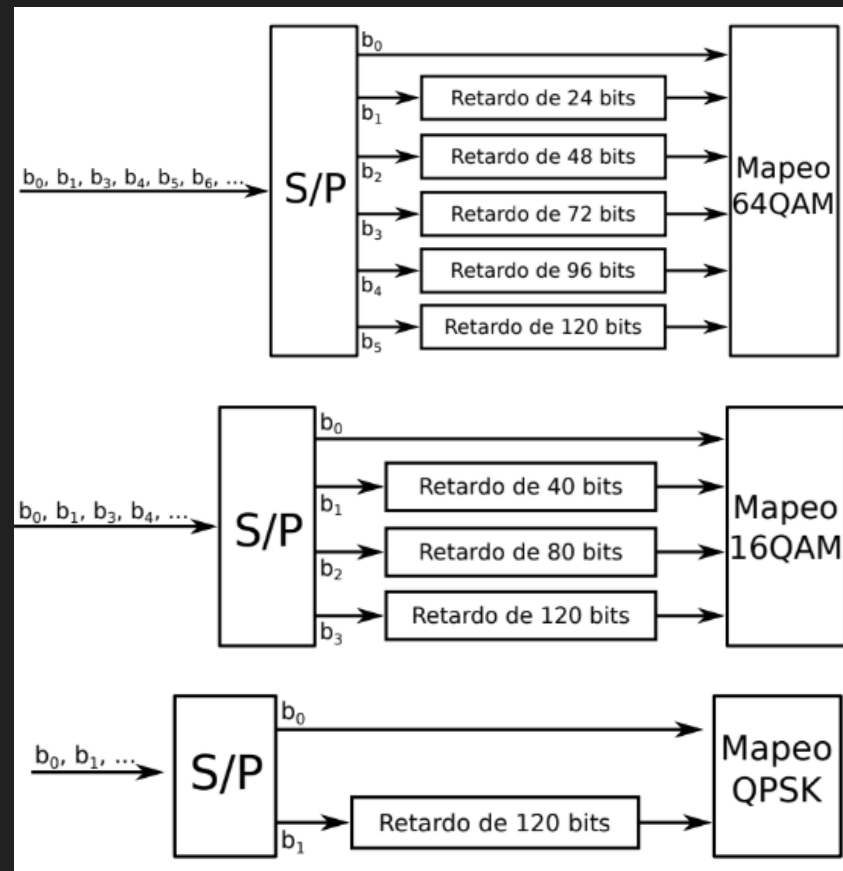
$$R(bps) = K_O K_I * \left(\frac{b_P * L_D}{T_S} \right)$$

Donde T_s es la duración del símbolo, L_D el numero de portadoras por segmento, K_o es la tasa del código Reed Solomon

Tasa de datos ^a kbps			
Intervalo de guarda 1/4	Intervalo de guarda 1/8	Intervalo de guarda 1/16	Intervalo de guarda 1/32
280,85	312,06	330,42	340,43
374,47	416,08	440,56	453,91
421,28	468,09	495,63	510,65
468,09	520,10	550,70	567,39
491,50	546,11	578,23	595,76
561,71	624,13	660,84	680,87
748,95	832,17	881,12	907,82
842,57	936,19	991,26	1021,30
936,19	1 040,21	1 101,40	1 134,78
983,00	1 092,22	1 156,47	1 191,52
842,57	936,19	991,26	1 021,30
1 123,43	1 248,26	1 321,68	1 361,74
1 263,86	1 404,29	1 486,90	1 531,95
1 404,29	1 560,32	1 652,11	1 702,17
1 474,50	1 638,34	1 734,71	1 787,28

Entrelazamiento de bits

- Cuando trabajamos con códigos a nivel de byte, mezclamos los bytes para evitar los errores en ráfaga, por lo que es lógico que si trabajamos a nivel de bits, mezclemos también los bits, en total, no importa el esquema de modulación se agregará 120 símbolos de portadora de retraso



Para no perder el sincronismo entre capas jerárquicas, hay que agregar un retraso en los bits según el esquema de modulación, y según el modo

Si bien el retraso es de 120 portadoras de símbolos en todos los casos, en el plano temporal no es lo mismo por lo que tenemos que calcular el retraso de según que esquema y modo usemos

$$N_{2xODFM} = 2 * N_L * m_L * 96 * 2^{modo-1}$$

N_L es la cantidad de segmentos

m_L es la cantidad de bits por portadora

$96 * 2^{modo-1}$ hace referencia a las portadoras de datos

En este calculo, vemos cuantos bits toman dos símbolos ODFM de cada capa jerárquica.

Después le restamos el equivalente al retraso de bits que causan las 120 portadoras, y ese es el ajuste por retraso por el entrelazador de bits, ahora todas las capas tendrán dos símbolos ODFM de retraso

Modulación de portadora	Valor del ajuste de atraso (número de bits) ^a		
	Modo 1	Modo 2	Modo 3
DQPSK/QPSK	384 x N-240	768 x N-240	1 536 x N-240
16QAM	768 x N-480	1 536 x N-480	3 072 x N-480
64QAM	1 152 x N-720	2 304 x N-720	4 608 x N-720

^a N representa el número de segmentos usados por la capa jerárquica.

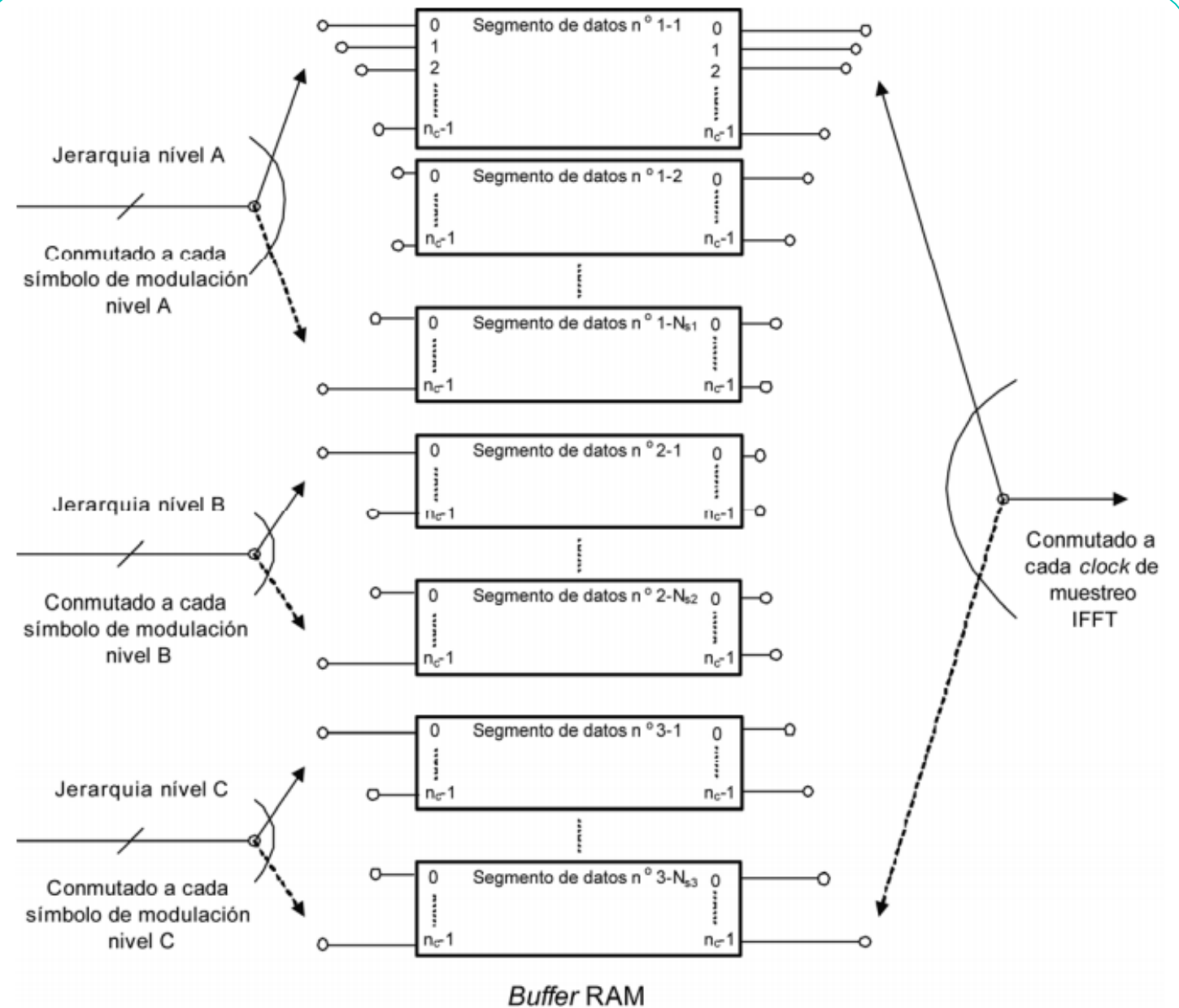
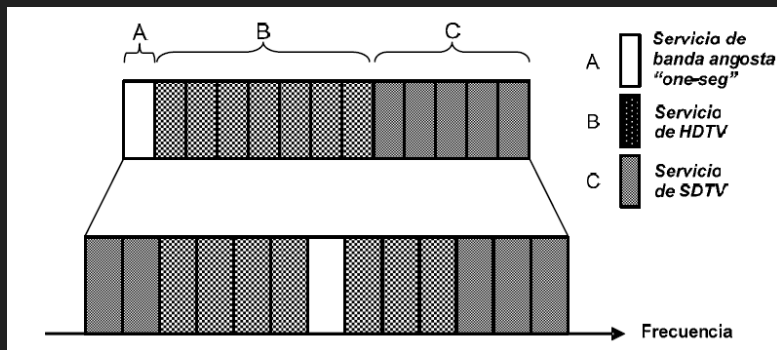
Normalización

- Para que la potencia media de cada símbolo sea de 1, sin importar el esquema de modulación, normalizamos los símbolos.

Esquema de modulación de la portadora	Factor de normalización
DQPSK desplazado $\pi/4$	$Z/\sqrt{2}$
QPSK	$Z/\sqrt{2}$
16QAM	$Z/\sqrt{10}$
64QAM	$Z/\sqrt{42}$

Combinación de las capas jerárquicas

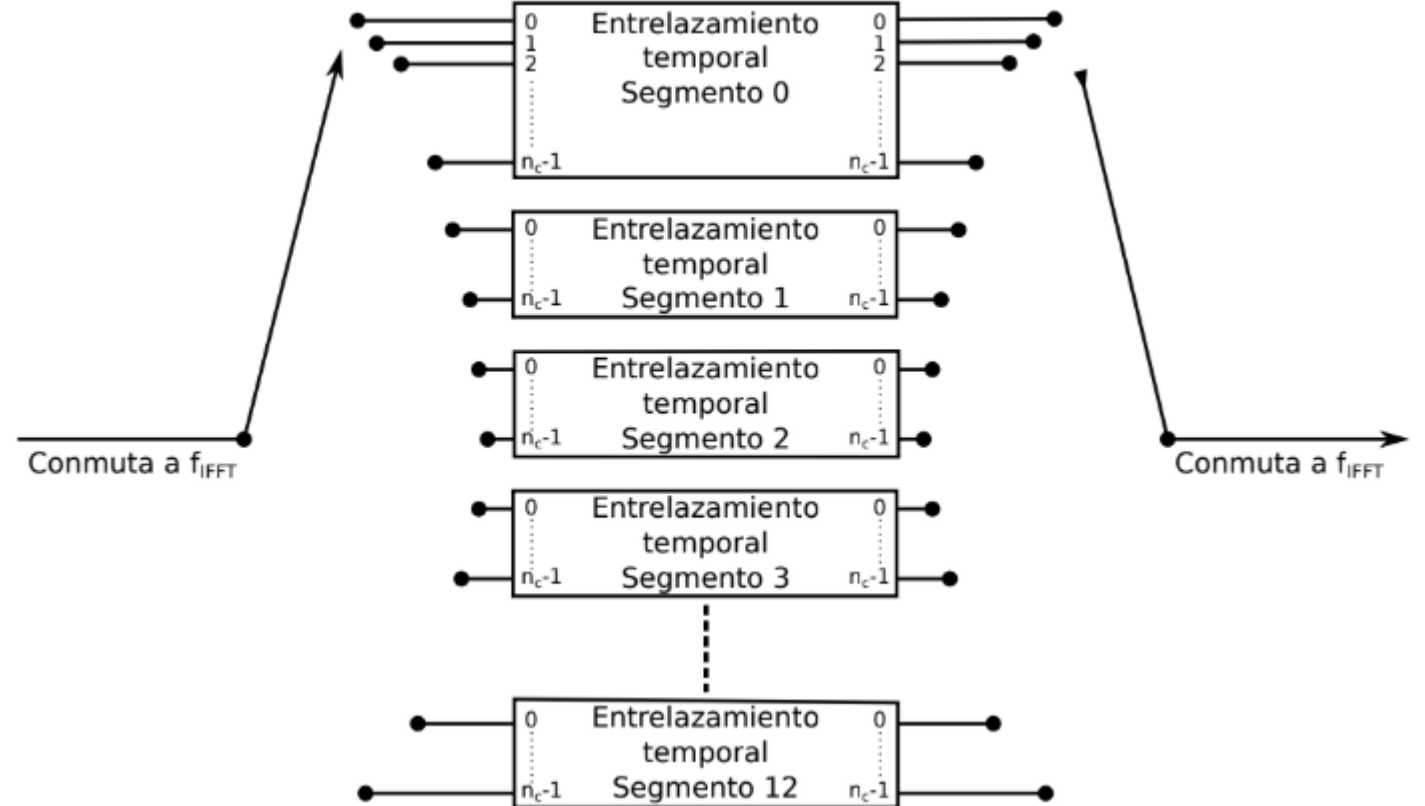
- En este punto se vuelven a colocar las capas jerárquicas en serie, recordemos que en ISDB-Tb posibilita la habilitación de hasta 3 capas



NOTA n_c es 96, 192 y 384 en los modos 1, 2 y 3, respectivamente. N_s corresponde a los bloques de las capas jerárquicas con los segmentos y $N_{s1} + N_{s2} + N_{s3} = 13$.

Entrelazamiento temporal

- En este punto se vuelve a entrelazar en el tiempo, se entrelazan las portadoras de un mismo segmento, se puede intuir entonces que habrá un retardo inducido



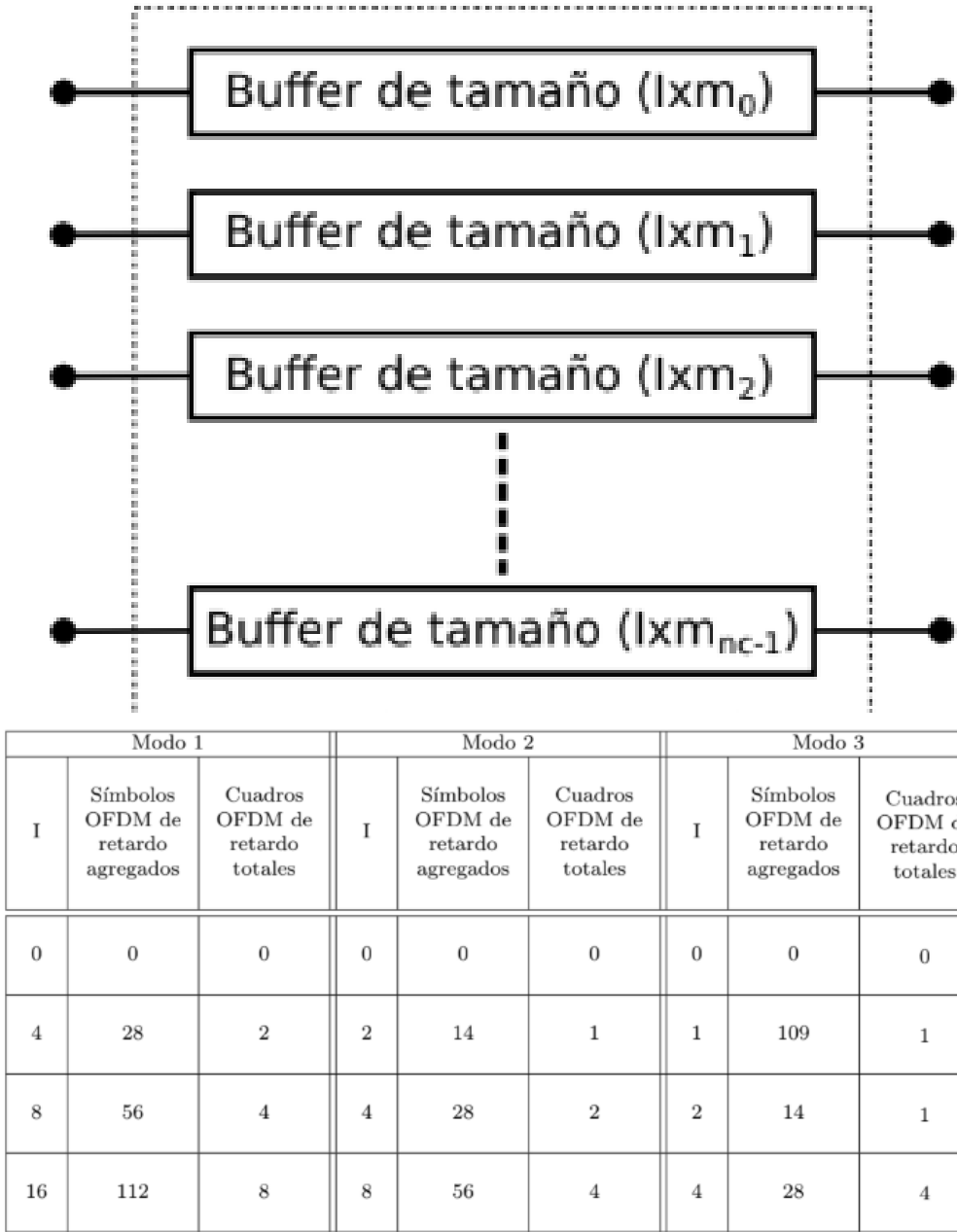
- La profundidad del entrelazamiento temporal (I) estará dada por la norma y será un valor que nosotros seleccionamos, $m_i = (ix5) \bmod 96$, donde i es el número de la portadora

$$d_i = 204 - (95 * I_L \bmod 204)$$

Donde d_i es la cantidad de símbolos OFDM de retraso que agregamos

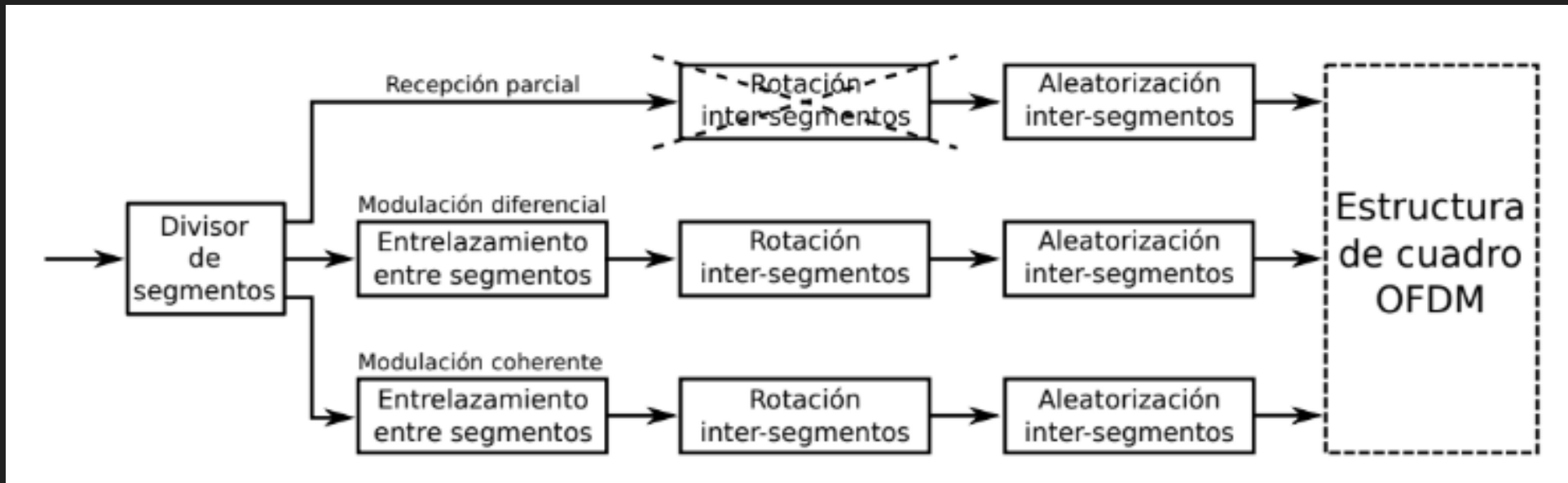
$$N_L = (95 * I_L + d_I) \bmod 204$$

Donde N_L es la cantidad de cuadros OFDM de retraso

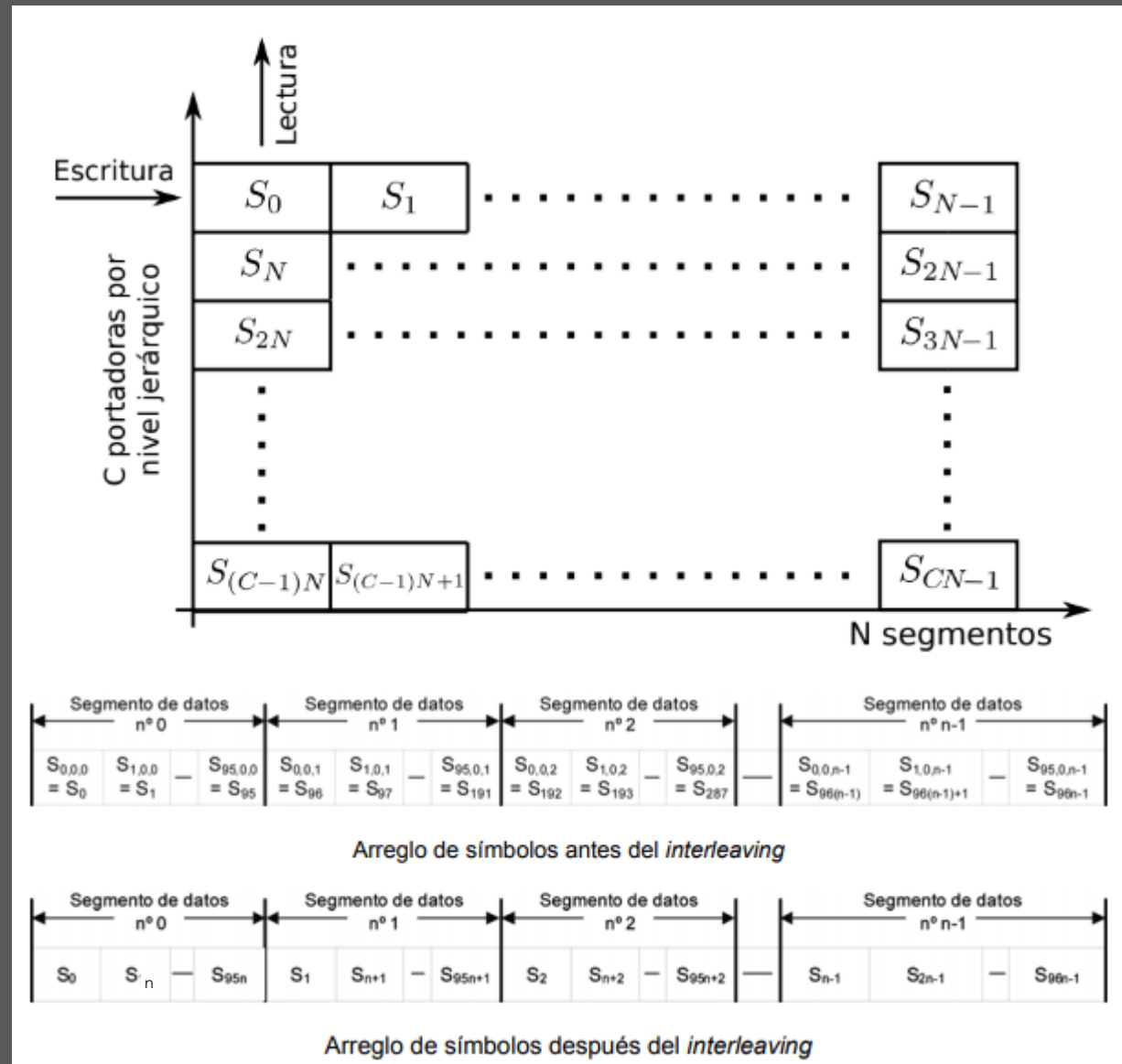


Entrelazamiento en frecuencia

- En el entrelazamiento frecuencial secuencial, se dividen los segmentos según a que están destinados (Recepción parcial), o a como se modula (coherente o diferencial)



El entrelazamiento entre segmentos debe darse solo entre los segmentos que tengan el mismo esquema de modulación, y el mismo modo

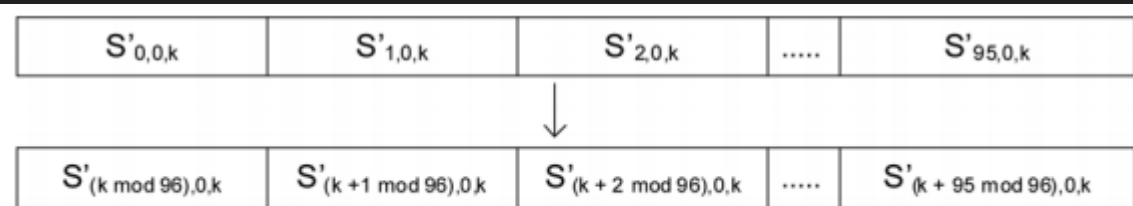


La rotación inter segmento ocurre dentro de un mismo segmento, y consta de la rotación de las portadoras para luego aleatorizarlas, este último paso se hace según tablas que ya están definidas y se pueden encontrar en la norma ABNT NBR 15601:2007

Las portadoras se rotan según la siguiente formula:

$$S_{\{i,k\}}^{rotada} = S_{\{(k+i) \bmod C,k\}}$$

i es el número de portadora dentro de un segmento y k es el numero del segmento



a) Rotación de portadora en el modo 1

Después de esto se procede a aleatorizar las portadoras según se muestra en las tablas que se proveen en la norma

Finalmente se
procede a
armar un
cuadro OFDM y
se prepara para
transmitir el
mismo

