

Remultiplexor ISDB-T_b

ISDB-T_b Remultiplexer

*Nestor Oscar Pisciotta*¹

Recibido: Abril 2014

Aceptado: Julio 2014

Resumen.- Una de las características más destacadas del sistema ISDB-T_b (*Integrated Services for Digital Broadcasting Terrestrial*)², es la posibilidad de transmitir, empleando hasta tres capas jerárquicas, múltiples flujos de entrada formados por paquetes MPEG que llegan a la entrada del transmisor con tasas binarias diferentes. Dado que el número de paquetes que pueden ser transmitidos por unidad de tiempo es altamente dependiente de la configuración adoptada para cada capa, lograr su combinación en un flujo binario único de salida requiere de un procesamiento relativamente complejo. El dispositivo que realiza esta tarea es comúnmente llamado "Remultiplexor" y el análisis de sus principales funciones y las relaciones numéricas que las gobiernan son el objeto de este artículo.

Palabras clave: Remultiplexor; Cuadro OFDM; Cuadro Múltiplex; Flujo BTS; Receptor modelo.

Summary.- *One of the salient features of ISDB-T_b system (Integrated Services for Digital Broadcasting Terrestrial) is the ability to transmit, using up to three hierarchical layers, multiple input streams formed by MPEG packets that arrive at the input of the transmitter with different bit rates. Since the number of packets that can be transmitted per unit of time is highly dependent on the configuration adopted for each layer, achieving their combination in a single binary output stream requires a relatively complex processing. The device that performs this task is commonly called "Remultiplexer" and the analysis of its main functions and numerical relationships that govern them are the subject of this article.*

Key Words: *Remultiplexer; OFDM frame; Múltiplex frame; BTS stream; Model receiver.*

1. Introducción.- El sistema transmisión de televisión digital terrestre ISDB-T_b emplea la técnica de transmisión BS-OFDM (*Band Segmented – Orthogonal Frequency Division Multiplex*) es decir, la multiplexación por división de frecuencias ortogonales en banda segmentada. Esto último significa que la anchura de banda del espectro emitido es dividida en 13 porciones iguales – *segmentos*, de 428,57 kHz cada uno, tal como se muestra en la Figura I. La principal ventaja de la segmentación esta dada por la posibilidad de agruparlos en capas jerárquicas (hasta tres como máximo), pudiendo configurarse cada una con diferentes esquemas de modulación y codificación interna en caso de ser necesario.

¹ Centro de Investigación Aplicada y Desarrollo en Informática y Telecomunicaciones (CIADE-IT), Universidad Blas Pascal, Córdoba, Argentina, npisciotta@ubp.edu.ar

² El subíndice "b" hace referencia a la versión internacional de la Norma ISDB-T, surgida como producto de los acuerdos de cooperación entre Japón y Brasil.

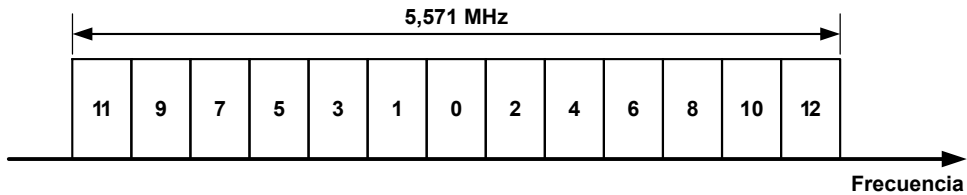


Figura I.- División del espectro emitido en trece segmentos

La Norma ISDB-T_b se basa en los siguientes conceptos:

- Transmisión jerárquica utilizando hasta tres capas, convencionalmente llamadas “A”, “B” y “C”.
- Posibilidad de recepción parcial o de banda angosta, empleando un solo segmento de los 13 (el segmento central, identificado con el número 0).
- Utilización del flujo de transporte (TS) MPEG-2 para la entrada de datos, haciendo compatible la interfaz de entrada con el equipamiento existente y también con otros estándares.

La recepción parcial posibilita la incorporación de sintonizadores de televisión digital de banda angosta en teléfonos celulares y otros dispositivos móviles, en donde el bajo consumo de energía es un requisito excluyente.

El flujo TS MPEG-2 es el estándar adoptado de manera universal para el transporte de la información digitalizada de audio, video y datos, en forma multiplexada. Este flujo, esencialmente asincrónico y concebido originalmente para ser compatible con ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), está formado por una sucesión de paquetes de longitud fija, de 188 bytes cada uno. Sin embargo, pese a su gran versatilidad, este flujo no está preparado para realizar transmisiones en donde la información responda a un orden jerárquico y, menos aún, para permitir la recepción parcial [1].

Estas dos últimas afirmaciones necesitan una aclaración adicional: El objetivo central de la norma ISDB-T_b es que los receptores puedan separar la información transmitida antes de que el flujo de datos llegue a las etapas de decodificación MPEG, que se encuentran al final de la cadena de procesamiento. Para lograr dicho objetivo, es necesario introducir tres modificaciones en el flujo TS MPEG-2 [2]:

- Agregar 16 bytes en la parte final de cada paquete de 188 bytes del flujo TS MPEG-2, formando uno nuevo llamado TSP (*Transport Stream Processed Packet*), de 204 bytes de largo.
- Combinar los paquetes TSP resultantes de una manera precisa y determinada, dando lugar a un nuevo flujo llamado BTS (*Broadcast Transport Stream*).
- Insertar una determinada cantidad de paquetes TSP nulos, con el objetivo de lograr que la tasa de transmisión de datos del BTS sea constante.

Además, para que resulte posible la transmisión jerárquica se deben cumplir las siguientes condiciones [1] [2]:

- Cada uno de los trece segmentos deberá transmitir, en el tiempo correspondiente a la duración de un Cuadro OFDM, una cantidad de bits que se corresponderá exactamente con un número entero N de paquetes TSP, independientemente de la cantidad de segmentos que

se asignen a cada una de las capas jerárquicas. El concepto de Cuadro OFDM será definido en el siguiente apartado.

- La frecuencia del reloj de sincronización del flujo BTS debe ser constante e igual a un múltiplo entero de la frecuencia de muestreo de la transformada inversa rápida de Fourier (IFFT).
- Las diferencias de retardos entre las capas jerárquicas deben ser compensadas, en todos los casos, desde el lado del transmisor.

2. Cuadro OFDM.- En general, en los sistemas digitales resulta conveniente delimitar las secuencias de datos transmitidos, dándoles forma de marcos o cuadros de corta duración, en los cuales los instantes de inicio y finalización puedan ser perfectamente identificados. En los sistemas multiportadora, una sucesión de símbolos OFDM se conoce como Cuadro OFDM [1] [2] [3].

Si F es la cantidad de símbolos que componen el Cuadro OFDM y T_S es el tiempo de duración de cada símbolo, entonces el tiempo de duración del cuadro es:

$$(1) \quad T_F = F T_S$$

Por otro lado, la tasa de transmisión de datos [2] del sistema ISDB-T_b, en bits por segundo, para los 13 segmentos es:

$$(2) \quad R = K_O K_I \frac{b_P (13 \times L_D)}{T_S}$$

Donde:

- K_O es la relación de codificación externa (Reed-Solomon). Su valor es fijo e igual a 188/204.
- K_I es la relación de codificación interna o convolucional: 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 ó 7/8.
- b_P es el número de bits de datos transmitidos por cada portadora: 2, 4 ó 6 (modulaciones QPSK/DQPSK, 16-QAM ó 64-QAM respectivamente).
- L_D es el número de portadoras disponibles, en cada segmento, para la transmisión de datos.
- T_S es el tiempo de duración de cada símbolo OFDM.

De acuerdo con esta expresión, el número de bits de datos b_T que pueden ser transmitidos por un solo segmento durante el tiempo de duración del Cuadro OFDM será:

$$(3) \quad b_T = R \frac{T_F}{13}$$

Donde:

- R es la tasa de transmisión de datos del sistema.
- T_F es el tiempo de duración del cuadro OFDM.

De los 204 bytes que contiene un TSP, 188 son bytes de datos³. Por lo tanto, el número total de bits de datos que puede ser transportado por un número entero N de paquetes TSP es [1] [2]:

$$(4) \quad b_T = (188 \times 8) N$$

³ Es conveniente aclarar que, de los 188 bytes que contiene un paquete TS, en realidad solamente 184 corresponden a la carga útil (video, datos, tablas, secciones, etc.). En el sistema ISDB-T_b, el TS completo es considerado como carga útil, pudiéndose manipular únicamente los valores del PID (Identificador de Programa) de cada paquete. Los PID normalmente son reasignados en el momento de configurar las capas jerárquicas.

Reemplazando en (3) la tasa R por su equivalente de la ecuación (2) e igualando a continuación (3) y (4), luego de sustituir a K_O por su valor, se obtiene [1] [2]:

$$(5) \quad N = \frac{K_I b_P L_D F}{204 \times 8}$$

Dado que N debe ser un número entero, un análisis detenido de la ecuación (5) inicialmente sugiere dos posibilidades para el valor de F: 204 y 1632 (8×204). La segunda opción daría lugar a un tiempo de duración de cuadro muy extenso, lo cual complicaría el proceso de sincronización del receptor con el inicio del cuadro. Por esta razón se adopta una longitud de Cuadro OFDM de 204 símbolos.

3. Determinación del número de portadoras de datos por segmento.- El sistema ISDB-T_b admite tres Modos diferentes de transmisión. Dado que la condición de ortogonalidad impuesta por la multiplexación OFDM exige que la separación entre portadoras sea igual a la inversa de la duración de la parte útil del símbolo⁴, si esta se duplica, también lo hará la cantidad de portadoras ya que se reduce a la mitad el espaciado entre ellas. La

Tabla I muestra el número total de portadoras, el número de portadoras por segmento y el tiempo útil de símbolo para cada uno de los Modos del sistema ISDB-T_b [4] [5] [6]:

Modo	Número total de portadoras ⁵	Número de portadoras por segmento	Tiempo útil de símbolo
1	1404 + 1	108	252 μs
2	2808 + 1	216	504 μs
3	5616 + 1	432	1008 μs

Tabla I.- Distribución de portadoras en ISDB-T_b

En este apartado se determinará el número máximo de portadoras de datos que puede tener cada segmento en cada Modo para lo cual, en la ecuación (5) se debe sustituir a F por su valor, obteniéndose [1] [2]:

$$(6) \quad N = \frac{K_I b_P L_D}{8}$$

Para que N sea entero, el numerador de la ecuación (6) deberá ser divisible por 8. Considerando todos los valores posibles de b_P y K_I , en la Tabla II se presentan los valores de N calculados mediante la ecuación (6). El procedimiento se realiza a partir de 108, que es el número de portadoras por segmento en el Modo 1, concluyendo en que el valor máximo posible para L_D es 96, único que permite obtener N entero.

⁴ El tiempo total de símbolo es igual a la duración de la parte útil del símbolo más el intervalo de guarda, es decir $T_S = T_U + T_G$.

⁵ En el sistema ISDB-T_b se adiciona una portadora especial en el extremo superior del espectro transmitido, que cumple la función de piloto continuo (no pertenece a ninguno de los segmentos).

b_p		QPSK/DQPSK = 2					16-QAM = 4					64-QAM = 6				
K_1		1/2	2/3	3/4	5/6	7/8	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
L_D	108	13,50	18,00	20,25	22,50	23,63	27,00	36,00	40,50	45,00	47,25	40,50	54,00	60,75	67,50	70,88
	107	13,38	17,83	20,06	22,29	23,41	26,75	35,67	40,13	44,58	46,81	40,13	53,50	60,19	66,88	70,22
	106	13,25	17,67	19,88	22,08	23,19	26,50	35,33	39,75	44,17	46,38	39,75	53,00	59,63	66,25	69,56
	105	13,13	17,50	19,69	21,88	22,97	26,25	35,00	39,38	43,75	45,94	39,38	52,50	59,06	65,63	68,91
	⋮	⋮					⋮					⋮				
	98	12,25	16,33	18,38	20,42	21,44	24,50	32,67	36,75	40,83	42,88	36,75	49,00	55,13	61,25	64,31
	97	12,13	16,17	18,19	20,21	21,22	24,25	32,33	36,38	40,42	42,44	36,38	48,50	54,56	60,63	63,66
	96	12,00	16,00	18,00	20,00	21,00	24,00	32,00	36,00	40,00	42,00	36,00	48,00	54,00	60,00	63,00

Tabla II.- Cálculo de N en función del valor de L_D

Resulta sencillo deducir que para los Modos 2 y 3, el número de portadoras de datos por segmento deberá ser un múltiplo de 96, es decir 192 y 384 respectivamente. Las portadoras sobrantes en cada segmento (12, 24 y 48) se asignan a los pilotos, canales de control y canales auxiliares del sistema.

4. Número de paquetes TSP por segmento y por cuadro OFDM.- La Tabla III [1] [2] [3] muestra los valores de N calculados con la ayuda de la ecuación (6), para los tres Modos:

Modo	b_p	QPSK/DQPSK = 2					16-QAM = 4					64-QAM = 6					
	K_1	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8	
1	L_D	96	12	16	18	20	21	24	32	36	40	42	36	48	54	60	63
2		192	24	32	36	40	42	48	64	72	80	84	72	96	108	120	126
3		384	48	64	72	80	84	96	128	144	160	168	144	192	216	240	252

Tabla III.- Número de paquetes TSP por segmento y por cuadro OFDM

Se observa que a igualdad de valores de b_p y K_1 , el número de paquetes N podría ser el mismo para los Modos 1, 2 y 3 si se hubiera adoptado un valor de F igual a 204, 102 y 51 respectivamente. La ventaja de mantener constante la longitud del Cuadro OFDM radica en la simplificación del mecanismo de sincronización de los receptores, que emplea la temporización del Cuadro [1] como referencia.

5. El Remultiplexor ISDB-T_b- [1] [2] [7] El dispositivo que realiza la función de adaptar el flujo TS-MPEG a las necesidades de funcionamiento establecidas en el sistema ISDB-T_b es conocido como "Remultiplexor" y sus principales bloques se muestran en la Figura II. El dispositivo contiene "n" secciones de entrada iguales, una para cada programa que se desee transmitir, aunque también es posible ingresar con un flujo único que transporte varios programas multiplexados.

La primera operación que realiza el remultiplexor consiste en identificar los programas transportados por cada uno de los flujos TS entrantes, para lo cual utiliza la información de Identificación de Paquete (PID) contenida en la cabecera de cada TS. Si él o los flujos TS que ingresan contienen más de un programa multiplexado, luego de extraer el PID el Remultiplexor debe separarlos, es decir demultiplexar (DE-MUX) los paquetes.

A continuación, el dispositivo asigna los paquetes a las capas jerárquicas que correspondan, almacenándolos en memorias o "buffers" de grupo, de acuerdo al esquema de asignación elegido por

el radiodifusor. Cada uno de los buffers coloca sus paquetes TS sobre el bus de datos, que los envía a los multiplexores de capa (MUX). A continuación, los paquetes entregados por los MUX de capa ingresan en los buffers de capa, en donde esperan su turno de ingreso al Multiplexor BTS, cuyo contorno aparece resaltado en la Figura II. Este bloque es el más importante y cumple con las tres funciones mencionadas en la introducción: agrega la extensión de 16 bytes a cada paquete TS, inserta los paquetes nulos que resulten necesarios para mantener la tasa de bits constante y establece un orden para la entrega de los TSP en el flujo de salida BTS.

El proceso realizado sobre el flujo TS-MPEG esto es, convertirlo de un flujo multiplexado a otro también multiplexado pero de características diferentes, es el que le da el nombre al dispositivo.

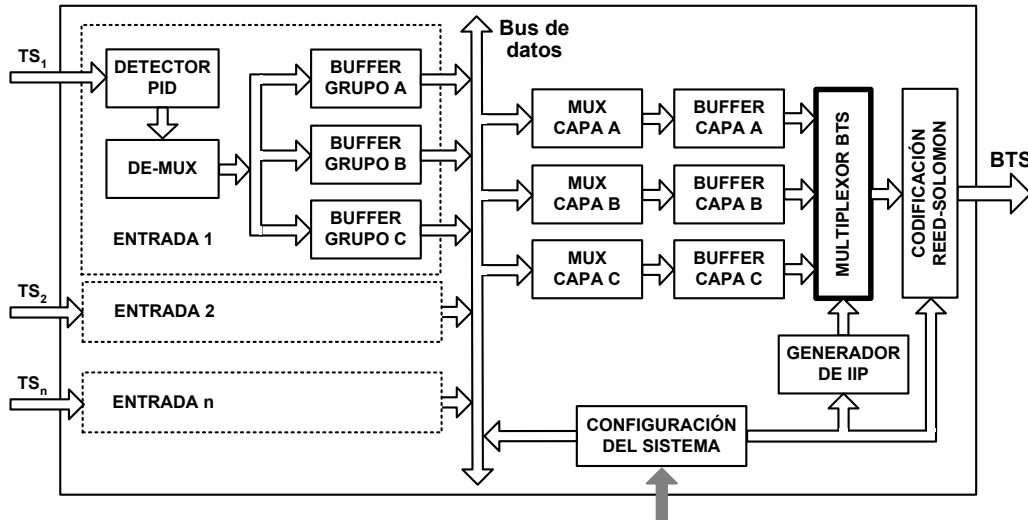


Figura II.- Bloques principales del Remultiplexor ISDB-Tb

6. Flujo BTS y Cuadro Múltiplex.- [2] [7] Tal como se mencionó en la introducción, el TSP resulta del agregado de 16 bytes a la parte final del TS. Como puede verse en la parte superior de la Figura III, estos bytes están organizados en dos campos:

- El campo ISDB-Info contiene la siguiente información: indicador de la capa jerárquica de destino del TSP, contador de paquetes, señalización del TSP cabecera de cuadro múltiplex e información destinada a los canales auxiliares, entre otros.
- El bloque Reed Solomon permite incorporar, de manera opcional, un código de protección, aplicable en aquellos casos en los que el flujo BTS deba enviarse al modulador a través de un enlace.

Una vez que los paquetes ingresan al modulador y son asignados a cada una de las capas jerárquicas, ambos campos son reemplazados por un nuevo bloque de codificación Reed-Solomon de 16 bytes.

La sucesión de paquetes TSP de 204 bytes que el Remultiplexor entrega a su salida de acuerdo a un ordenamiento preestablecido y a una tasa binaria constante, se conoce como flujo BTS. En este flujo se encuentran tres tipos de paquetes: TSP destinados a las capas jerárquicas, TSP nulos y un TSP especial, llamado IIP (*ISDB Information Packet*), que transporta la información necesaria para la sincronización de redes de frecuencia única, entre otros parámetros.

Una serie de M paquetes entregados durante un período de tiempo igual a la duración del Cuadro OFDM se conoce como Cuadro Múltiplex. La Figura III permite visualizar ambos conceptos: BTS y Cuadro Múltiplex, siendo necesario aclarar que en cada cuadro se incluye un solo paquete IIP.

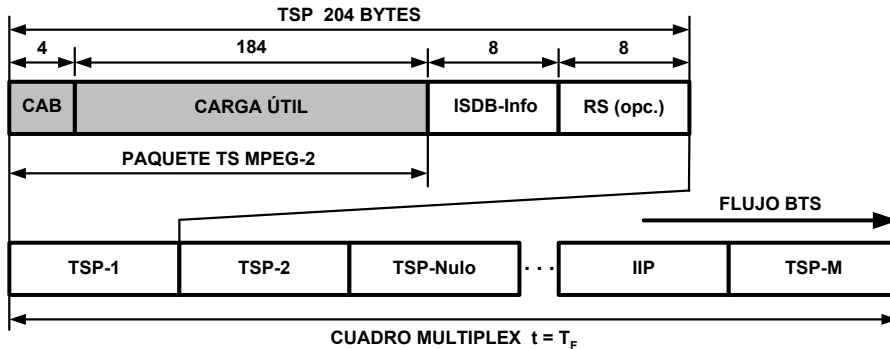


Figura III.- Flujo BTS y Cuadro Múltiplex

6.1. Determinación de la frecuencia de reloj del BTS.- La frecuencia de reloj del BTS [1] [2] determina el ritmo de entrega de bits durante el período correspondiente a la duración del Cuadro OFDM (coincidente con la duración del Cuadro Múltiplex). Llamando b_F al número total de bits entregados en dicho período y f_R a la frecuencia de reloj del BTS, se deberá verificar que:

$$(7) \quad b_F = T_F f_R = 204 T_S f_R$$

Teniendo en cuenta que la duración total de símbolo OFDM depende del tiempo útil de símbolo (T_U) y del intervalo de guarda utilizado (Δ), la ecuación (7) también se puede expresar de la siguiente manera:

$$(8) \quad b_F = 204 (1 + \Delta) T_U f_R$$

Dado que el procesador que calcula la IFFT entrega, durante el período correspondiente al tiempo útil de símbolo, una cantidad de muestras que es igual a una potencia entera de 2, se puede escribir:

$$(9) \quad T_U = \frac{2^p}{f_{IFFT}}$$

Donde f_{IFFT} es la frecuencia de muestreo de la IFFT, cuyo valor es igual a 8,1269 MHz.

Considerando ahora la totalidad de los bytes transportados por cada TSP y haciendo que b_F sea igual a la cantidad total de bits aportados por una serie de M paquetes del BTS, se tiene:

$$(10) \quad b_F = (204 \times 8) M$$

Reemplazando (9) en (8) y luego igualado esta última con (10) se puede obtener el valor de la relación que debe existir entre la frecuencia de reloj del BTS y la frecuencia de muestreo de la IFFT:

$$(11) \quad \frac{f_R}{f_{IFFT}} = \frac{8 M}{2^p (1 + \Delta)}$$

Independientemente de la configuración elegida, la cantidad M de paquetes TSP aportados por el BTS debe ser igual a la suma de los TSP destinados a cada una de las capas jerárquicas más los TSP nulos, más el paquete IIP, es decir:

$$(12) \quad M = N_A + N_B + N_C + (\sum TSP_{NULOS} + IIP)$$

Esto significa que, luego de que el modulador separe el IIP y descarte los TSP nulos (que no se transmiten), la ecuación (12) se transformará en la siguiente desigualdad:

$$(13) \quad M > N_A + N_B + N_C$$

Sin pérdida de generalidad, se puede asumir una configuración sencilla del sistema, en la cual se destinan los 13 segmentos a una sola capa jerárquica (cuando se utiliza una sola capa, siempre será la "A"). En este caso también se cumplirá que $M > N_A$ y en consecuencia, la ecuación (11) se puede transformar en una desigualdad:

$$(14) \quad \frac{f_R}{f_{\text{IFFT}}} > \frac{8 N_A}{2^p (1 + \Delta)}$$

Para asegurar el cumplimiento de la desigualdad (14), deben analizarse las condiciones bajo las cuales el segundo miembro adquiere su mayor valor, esto es, el máximo para el numerador y el mínimo para el denominador. Para el primero, con ayuda de la Tabla III pueden calcularse los valores de $N_A = 13 \times N$ para los tres modos, siendo evidente que los valores más grandes de este producto se presentan cuando se utiliza un esquema de modulación 64-QAM y relación de codificación convolucional $K_1 = 7/8$. Los resultados se muestran en la Tabla IV:

Modo	64-QAM - $K_1 = 7/8$	
	N	N_A
1	63	819
2	126	1638
3	252	3276

Tabla IV.- Valores de N para 13 segmentos

En cuanto al denominador, el mínimo se presenta con el intervalo de guarda más pequeño, es decir cuando la relación $\Delta = 1/32$.

Puede verse que el segundo miembro de la desigualdad (14) tendrá el mismo valor para cualquiera de los tres modos, ya que la relación entre N_A y 2^p se mantiene constante. Para el Modo 1, $p = 11$ y $N_A = 819$, obteniéndose:

$$(15) \quad \frac{f_R}{f_{\text{IFFT}}} > \frac{8 \times 819}{2048 \left(1 + \frac{1}{32}\right)}$$

Es decir que:

$$(16) \quad f_R > 3,10 f_{\text{IFFT}}$$

La frecuencia de reloj que se adopta para sincronizar el flujo BTS es igual a $4 f_{\text{IFFT}}$, es decir 32,5079 MHz.

6.2. Determinación del número M de paquetes que conforman el Cuadro Múltiplex.- Volviendo a la ecuación (11), se reemplaza f_R por su valor y se simplifican las potencias de 2, para obtener finalmente [2] [6]:

$$(17) \quad M = 2^{p-1} (1 + \Delta)$$

La Tabla V muestra el número M de paquetes TSP que conforman el “Cuadro Múltiplex”.

Modo	p	Relación Δ			
		1/4	1/8	1/16	1/32
1	11	1280	1152	1088	1056
2	12	2560	2304	2176	2112
3	13	5120	4608	4352	4224

Tabla V.- Número M de paquetes TSP que conforman el Cuadro Múltiplex

Se aprecia que el número de TSP transportados por el BTS durante el Cuadro Múltiplex, es sensiblemente mayor que cualquiera de los valores de la Tabla III, cuando estos se aplican a los 13 segmentos. La diferencia entre ambos valores la constituyen los TSP nulos y el IIP [2]:

$$(18) \quad (\sum TSP_{NULOS} + IIP) = M - (N_A + N_B + N_C)$$

6.3. Patrón de ordenamiento de los TSP en el flujo BTS.- [2] [8] [9] Para que el receptor pueda regenerar el flujo BTS original, los TSP de cada capa jerárquica deben ser recuperados en el orden correcto. Además, independientemente de la configuración adoptada para el sistema, la frecuencia de reloj del BTS debe mantenerse constante, tanto en el transmisor como en el receptor.

El análisis se realizará mediante un ejemplo, en el cual los paquetes del flujo BTS entregado por el Remultiplexor tienen un ordenamiento arbitrario. Por simplicidad se utilizarán dos capas jerárquicas A y B, tal como se muestra en la Figura IV. Para la construcción del ejemplo se han tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- El flujo BTS tiene una tasa R y las capas tienen tasas de valor R_A y R_B, siendo R > R_B > R_A.
- La extensión temporal de los paquetes es mayor a medida que la tasa de transmisión disminuye; esto es, se tarda más tiempo en transmitir la misma cantidad de bits.
- En el receptor, los paquetes demodulados son entregados a la siguiente etapa una vez que han sido completamente procesados. Este detalle se indica con las flechas que vinculan el final de algunos paquetes con el comienzo de los mismos en la próxima etapa.

Una inspección detenida de la Figura IV revela que, una vez finalizado el proceso de recuperación de los paquetes, el flujo BTS regenerado por el receptor es distinto al que entrega el Remultiplexor, ya que el ordenamiento de los TSP no es coincidente. Además, aparecen intervalos de tiempo en donde hay ausencia de paquetes, debido a que en esos instantes el receptor se encuentra procesando algún TSP. Estos espacios vacíos deben ser rellenados con paquetes nulos, una necesidad que fue planteada en la introducción del presente artículo.

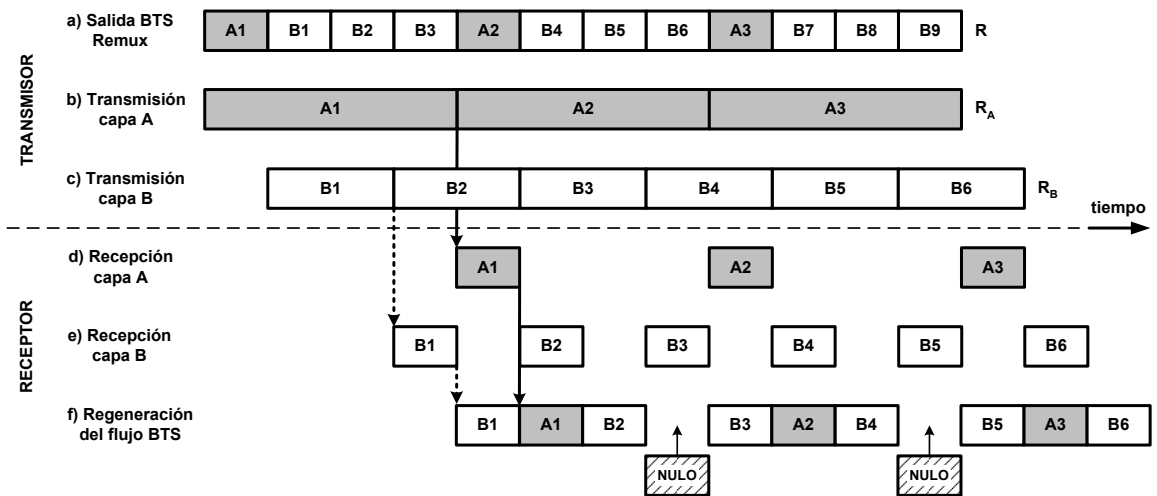


Figura IV.- Transmisión-recepción de un flujo BTS con ordenamiento arbitrario de TSP

Para encontrar el ordenamiento correcto, se puede recurrir al mismo ejemplo anterior, pero esta vez comenzando por los flujos transmitidos en cada capa jerárquica. En la Figura V puede verse que en el lado del transmisor, se aplica al flujo de la capa B un retardo equivalente a la duración de 2 TSP. Esto es necesario para conseguir el correcto ordenamiento de paquetes, de modo que el paquete B1 aparezca a continuación de A1 y no antes.

Se observa que si el ordenamiento del flujo BTS recuperado por el receptor se utiliza como patrón para construir el flujo BTS que debe entregar el Remultiplexor del lado transmisor, ambos flujos serán exactamente iguales, logrando total consistencia entre la entrada del transmisor y la salida del receptor.

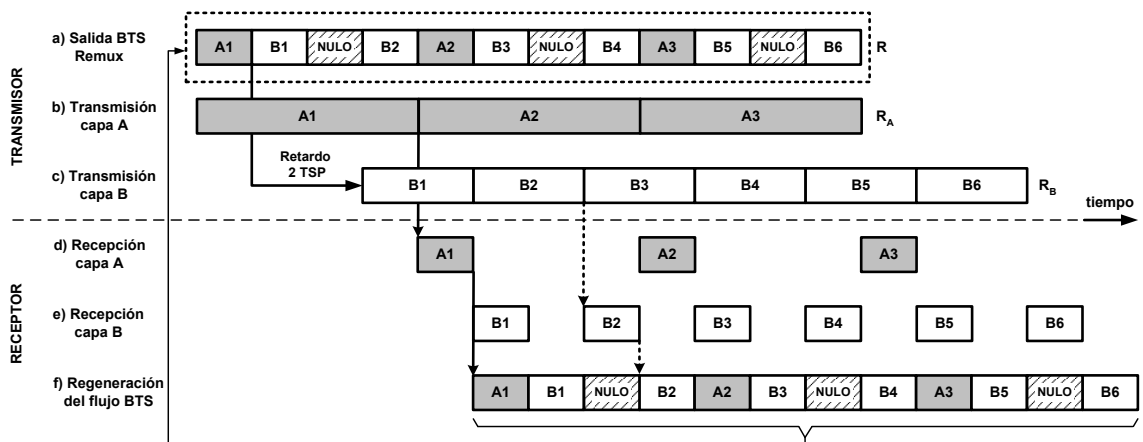


Figura V.- Transmisión-recepción de un flujo BTS con ordenamiento predeterminado de TSP

7. Receptor modelo.- Por último corresponde analizar el funcionamiento del “receptor modelo” [1] [2] [4] [5] [6] definido por la norma ISDB-T_b. El flujo serie de paquetes que este receptor entrega a su salida, tiene una característica fundamental: presenta un ordenamiento específico para los TSP, que depende exclusivamente de la configuración de la señal recibida. Esta manera de ordenar los paquetes es la que el Multiplexor BTS debe replicar para generar el flujo BTS que ingresa al modulador.

La Figura VI muestra los bloques fundamentales del receptor modelo. Luego de la transformada rápida de Fourier (FFT) y la demodulación de las portadoras, el divisor jerárquico separa los datos y los encamina de acuerdo a la capa jerárquica a la que pertenecen.

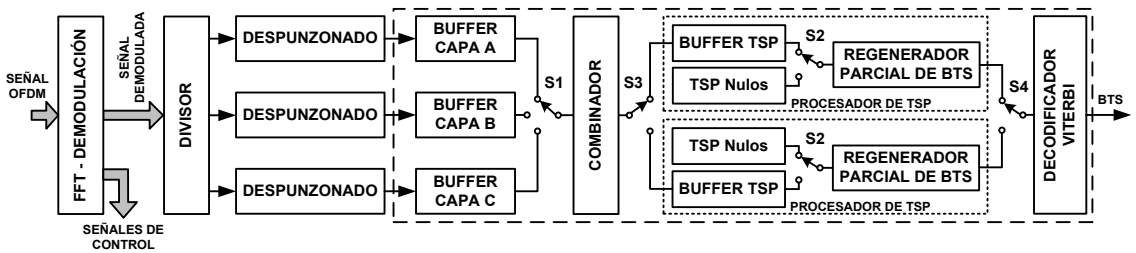


Figura VI.- Receptor modelo del sistema ISDB-T_b

La separación de los datos por capa jerárquica en esta etapa temprana del procesamiento (antes de la decodificación MPEG), solo es posible si el receptor sabe de antemano dónde encontrarlos. La clave se encuentra en la forma en la que el modulador ISDB-T_b construye la señal OFDM que se transmite: en orden ascendente por segmentos y también en orden ascendente por portadoras.

El receptor sigue el mismo criterio para construir la señal demodulada: en orden ascendente por segmentos y en orden ascendente por portadoras, considerando primero las muestras correspondientes a los datos y dejando al final las que han sido asignadas a los canales de control y auxiliares, que siguen un camino independiente para su detección. Precisamente, en el canal TMCC (*Transmission and Multiplexing Configuration Control*) se transmite entre otras, la información de configuración que el divisor jerárquico necesita para completar con éxito el proceso de separación: número de segmentos asignados a cada capa, esquemas de modulación y relación de codificación convolucional.

En la Figura VII se muestra la estructura de la señal demodulada correspondiente a un símbolo OFDM. Esta señal ingresa al divisor jerárquico y a partir del conocimiento de la configuración de capas y de un sencillo proceso de conteo de muestras (pulsos de reloj), el divisor es capaz de encaminar los datos hacia las vías correspondientes.

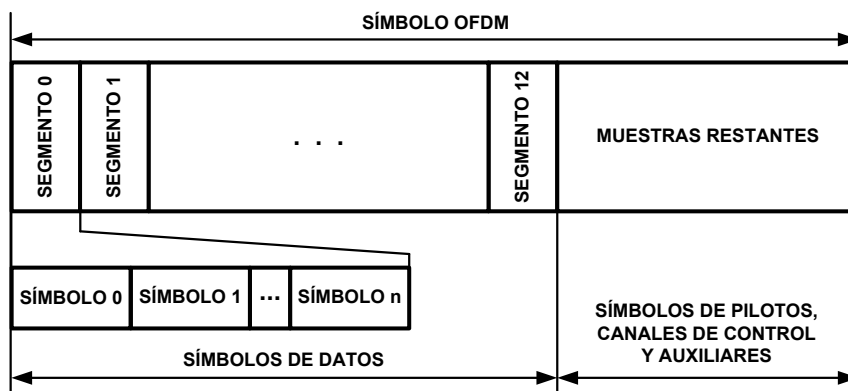


Figura VII.- Estructura de la señal demodulada por el receptor

En el análisis que sigue, se supone que los tiempos de retardo introducidos por el procesamiento son iguales en cada capa y por lo tanto, no será necesario tenerlos en cuenta.

Una vez que los bits de datos son encaminados por el divisor, las secuencias son sometidas al despunzonado, donde se revierte el proceso realizado en el transmisor (punzonado). La Figura VIII ayuda a comprender el concepto de punzonado: el codificador convolucional genera en su salida dos bits codificados (x y y) por cada bit de datos (b_i) que ingresa, es decir una relación fija 1 a 2. Sin embargo, para poder tener cierto margen de control sobre la tasa de transmisión de datos, el bloque de punzonado permite modificar dicha relación, eliminando entre uno y seis de los bits generados por el codificador.

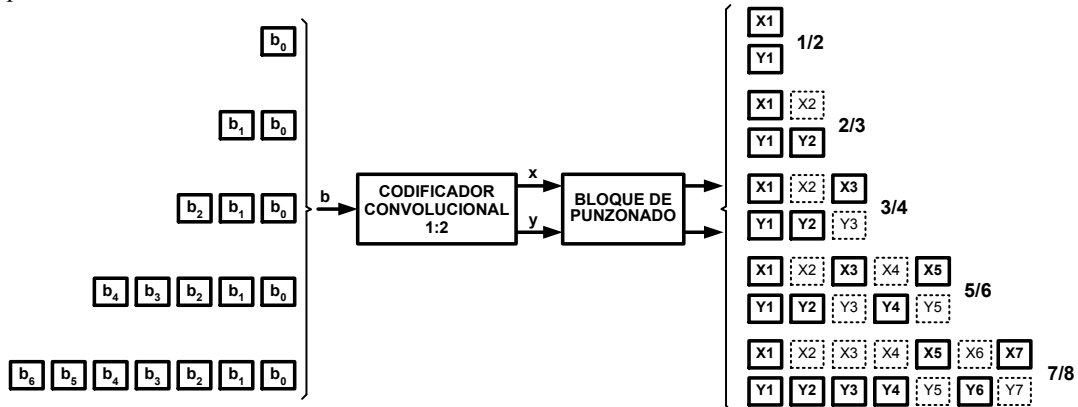


Figura VIII.- Punzonado de los bits entregados por el codificador convolucional

Volviendo al receptor modelo, durante el despunzonado se completan las secuencias binarias, rellenando⁶ los espacios correspondientes a los bits que fueron eliminados en la transmisión. Por lo tanto, al retornar a la relación original 1/2, se deduce que si un TSP sin codificar contiene 1632 bits, luego de la codificación convolucional un TSP codificado tendrá 3264 bits.

Precisamente, la llave S1 selecciona un buffer jerárquico cada vez que la cantidad de bits almacenados en alguno de ellos alcanza los 3264 bits, siendo transferidos de manera instantánea, a través de la llave S3, al buffer de TSP. Esto pone en evidencia que los TSP son entregados a las siguientes etapas una vez que han sido completamente procesados, premisa bajo la cual se construyeron las secuencias de paquetes mostradas en las Figuras IV y V.

El regenerador parcial de BTS comprueba la existencia de datos en el buffer de TSP. Si encuentra almacenado un paquete de datos, la llave S2 selecciona el buffer y encamina el TSP hacia el regenerador parcial de BTS. En caso de no encontrar información almacenada o bien si esta aún no alcanzó los 3264 bits, el regenerador conmuta S2 a la posición de paquete nulo, creándose de este modo una sucesión de paquetes consecutivos en donde no existirán intervalos de tiempo vacíos.

La llave S3 se utiliza para seleccionar alternativamente cada una de las unidades regeneradoras de TSP, introduciendo la señal entregada por el combinador y, finalmente la llave S4 permite encaminar los flujos regenerados hacia el decodificador Viterbi, donde los paquetes recuperan la carga binaria original de 1632 bits, luego de realizada la corrección de errores, siendo la velocidad de lectura en este punto de 32,5079 MHz, es decir igual a la frecuencia del reloj del BTS, lo que permite reconstruir correctamente el flujo recibido.

La deducción completa del algoritmo que permite simular el funcionamiento del receptor modelo es una tarea compleja y escapa al alcance de este trabajo. Algunos autores afirman que la

⁶ Los valores con los cuales se rellenan estos espacios carecen de importancia, ya que son considerados como “errores de transmisión” por el decodificador Viterbi, que corrige dichos errores y reconstruye las secuencias correctas.

implementación práctica del algoritmo representa un serio desafío, razón por la cual se han propuesto algunos desarrollos alternativos [10].

8. Conclusiones.- La principal ventaja de la transmisión jerárquica del sistema ISDB-T_b reside en las posibilidades que ofrece la recepción parcial, donde una parte de la señal transmitida está destinada a los receptores móviles de banda angosta. Este tipo de transmisión solo resulta posible si se introducen algunas modificaciones en el flujo TS MPEG-2. Dado que además se debe mantener la compatibilidad con los sistemas existentes, dichas modificaciones no deben alterar la información esencial contenida dentro de los paquetes TS de 188 bytes. Teniendo en cuenta este requisito, el Remultiplexor realiza la adaptación del flujo TS MPEG-2 que se envía al modulador, transformándolo en uno nuevo, el BTS, en el cual los paquetes (llamados TSP) tienen 204 bytes. La secuencia de TSP entregada por el Remultiplexor se encuentra ordenada de acuerdo al patrón prescrito por el funcionamiento del receptor modelo. Este patrón, depende de la configuración adoptada para el sistema de transmisión: modo e intervalo de guarda, además de la cantidad de segmentos, tasas de transmisión, esquemas de modulación y relaciones de codificación convolucional seleccionados para cada capa jerárquica. En definitiva, para transmitir en la Norma ISDB-T_b, además del modulador, las estaciones de televisión deben contar con otro dispositivo diseñado específicamente para este sistema: el Remultiplexor.

9. Referencias

- [1] M. Uehara, "Application of MPEG-2 Systems to Terrestrial ISDB (ISDB-T)," in Proc. of the IEEE, 2006, Vol. 94, N° 1, pp 261-268.
- [2] N. Pisciotta, C. Liendo, and R. Lauro "Transmisión de televisión digital terrestre en la norma ISDB-T_b," in Tratado fundamental para estudiantes avanzados, técnicos y profesionales. Buenos Aires: Cengage Learning, 2013.
- [3] M. Uehara, M. Takada and T. Kuroda "Transmission scheme for the terrestrial ISDB system," IEEE transactions on consumer electronics, vol. 45, n° 1, pp. 101-106, 1999.
- [4] Asociación Brasileña de Normas Técnicas; Televisión Digital Terrestre - Sistema de Transmisión, Norma ABNT NBR 15601, 2008.
- [5] Association of Radio Industries and Businesses; Transmission System for Digital Terrestrial Television Broadcasting, ARIB Standard STD-B31 v1.6, 2005.
- [6] International Telecommunication Union, Radiocommunication Study Groups; Proposed Draft New Recommendation. Channel Coding, Frame Structure and Modulation Scheme for Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting (ISDB-T), ITU Document 11A/Jxx-E, 1999.
- [7] C. Akamine, Y. Iano, G. de Melo Valeira and G. Bedicks, "Remultiplexing ISDB-T BTS into DVB TS for SFN," IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 55, n° 4, pp. 802-809, 2009.
- [8] Y. Takahashi, "ISDB-T Sección 3: Sistema de Transmisión, Seminarios Técnicos en Argentina, Digital Broadcasting Expert Group, 2007.
- [9] Y. Takahashi, "ISDB-T Sección 4: Antecedentes Técnicos de la Recepción Parcial de Un Segmento (one-seg) in Seminarios Técnicos en Argentina. Digital Broadcasting Expert Group, 2007.
- [10] Y. Gu and J. Ma, "Look up table based approach for layer combining in ISDB-T and ISDB-TSB receivers," Newport Media Inc, Patent US 7.822.039 B2, 2010.