

Sistema de Transmisión ISDB-T

ISDB-T Transmission System

Rafael Sotelo ¹, Diego Durán ², José Joskowicz ³

Recibido: Junio 2011

Aceptado: Septiembre 2011

Resumen.- Meses atrás Uruguay revisó su adopción de la norma de Televisión Digital Terrestre Abierta, resultando elegido el ISDB-T. La norma DVB-T había sido adoptada previamente en 2007 y desde entonces se realizaron transmisiones experimentales que generaron experiencia y *know how* en dicha norma. Resulta entonces oportuno actualizar un artículo previo publicado en *Memoria de trabajos de difusión científica y técnica* sobre Modulación en Televisión Digital en que se analizaba precisamente el DVB-T. El presente artículo es de naturaleza introductoria por su extensión y se propone fundamentalmente presentar ISDB-T tomando como base el conocimiento de DVB-T. Se exponen los fundamentos de la norma ISDB-T, la codificación de canal, su esquema de modulación, las tasas de bits obtenidas. Se mencionan también las directivas para establecer la cobertura de una estación así como las diferencias entre el estándar ISDB-T y el ISDB-Tb. Finalmente, se muestran resultados de pruebas de transmisión llevadas a cabo en otros países.

Palabras claves: Modulación Digital, Televisión, ISDB-T, ISDB-Tb, SBTVD (Sistema Brasileiro de TV Digital)

Summary.- *Some months ago Uruguay revised its adoption of digital terrestrial television standard. As a result, ISDB-T was elected. DVB-T had been previously adopted in 2007. Since then experimental transmissions were performed that generated experience and know-how in that standard. It is therefore appropriate to update a previous article published in Memoria de trabajos de difusión científica y técnica about Modulation in Digital TV is which the DVB-T was analyzed. This article is introductory because of its size and aims primarily to present ISDB-T based on the knowledge of DVB-T. We describe the basics of ISDB-T channel coding, the modulation scheme and bit rates obtained. The guidelines for establishing station coverage and the differences between the standard ISDB-T and ISDB-Tb are also mentioned. Finally, we show results of transmission tests conducted in other countries.*

Key words: Digital Modulation, TV, ISDB-T, ISDB-Tb, SBTVD (Sistema Brasileiro de TV Digital)

¹ Dr. Ing. Departamento de Telemática e Informática. Facultad de Ingeniería (Universidad de Montevideo). rsotelo@um.edu.uy

² Ingeniero. Departamento de Telemática - Facultad de Ingeniería (Universidad de Montevideo)

³ Ingeniero. ISBEL.- Facultad de Ingeniería (Universidad de la República)

1. Introducción.- Este el presente artículo se actualiza uno anterior de Sotelo et al. [1] (2008) en que describíamos los estándares de televisión utilizados en Uruguay en diferentes medios: satélite (DVB-S), cable (DVB-C) y terrestre (DVB-T). Este último resultaba particularmente relevante ya que poco tiempo antes, Uruguay había adoptado dicha norma de origen europeo para la transmisión de televisión abierta. Sin embargo, el 17 de febrero de 2011 mediante el Decreto N° 77/011 se seleccionó la norma ISDB-T para la implementación de la televisión terrestre en Uruguay, revocando el Decreto N° 315/007 por el que se había optado por la norma DVB-T⁴.

La norma ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial) es de origen japonés. Ha sido desarrollada por el consorcio ARIB (Association of Radio Industries and Business) [2]. Se encuentra documentada en el estándar ARIB STD-B31 [3] referente al sistema de transmisión y en el ARIB STD-B32 [4] respecto a la codificación de video y audio y multiplexado de datos.

En 1997 se conformó el DiBEG (Digital Broadcasting Expert Group) [5] para promover la difusión del ISDB-T en el mundo. Los países que han adoptado esta norma son Japón (transmisiones iniciadas en 2003), Brasil (adoptado en 2006), Perú (2009), Argentina (2009), Chile (2009), Venezuela (2009), Ecuador (2010), Costa Rica (2010), Paraguay (2010), Filipinas (2010), Bolivia (2010) y Uruguay (2011). Tal como puede apreciarse, esta norma es la de mayor difusión en América del Sur. Es oportuno aclarar que en Argentina se implementa con 50 campos por segundo, por ser un país en que la norma analógica tiene dicha frecuencia, y hay una importante cantidad de material histórico con esa tasa de campos. Tanto Japón como Brasil son países de 60 campos por segundo.⁵ De hecho la norma brasilera [13] contempla solamente codificación de 60 campos por segundo ya sea entrelazado o progresivo.

Si bien ISDB también tiene versiones para cable (ISDB-C) y para satélite (ISDB-S) no los describiremos aquí por no ser utilizados en el país y por tener una difusión mucho menor a nivel mundial que DVB-C y DVB-S ya descritas en Sotelo (2008) [1].

El estándar de codificación de video así como el flujo de transporte utilizado corresponden a MPEG-2.

La ANATEL (Agencia Nacional de Telecomunicaciones) de Brasil ha incluido ciertas modificaciones. Esta nueva norma resultante ha dado en llamarse ISDB-Tb o ISDB-T International. Las diferencias principales con el ISDB-T original son (i) exige la utilización de codificación de video en MPEG-4, y (ii) la introducción de GINGA como *middleware* para aplicaciones de televisión digital interactiva.

El objetivo del artículo es introducir al lector en el sistema ISDB-T, en sus aspectos generales y en los de planificación, haciendo referencia especial a los cambios respecto a DVB-T en razón de que había sido la adoptada previamente y en la que se había hecho experiencia a través de transmisiones experimentales. En los apartados siguientes se verán las características generales que otorga el sistema, las etapas de la transmisión, las necesarias adaptaciones al flujo de transporte MPEG-2, intensidad de señal requeridas en el receptor y algunos resultados de pruebas de campo.

2. Características generales del sistema ISDB-T.- El sistema otorga capacidad de transmisión de video y audio en alta calidad, así como de datos, a receptores fijos (como en la televisión clásica) y también a dispositivos móviles. [6]

Al igual que DVB-T, utiliza modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que ya ha sido descrita en [1] lo que le otorga robustez, pero en este caso el canal se divide en trece segmentos llamándose Band Segmented Transmission-OFDM (BST-OFDM). Cada uno de estos segmentos es una catorceava parte del ancho de banda del canal, es decir 6/14 MHz, unos 430 kHz. El “catorceavo segmento” o catorceava parte de los 6 MHz no adjudicada a ningún

⁴ El mismo decreto había adoptado DVB-H para transmisión a dispositivos móviles.

⁵ La experiencia en Argentina con los primeros televisores ISDB-T traídos de Japón y que no pudieron reproducir contenido con 50 campos, dejó de manifiesto la atención que debe prestarse al tema.

segmento, no se utiliza, dejando una pequeña banda de guarda en cada extremo del canal radioeléctrico. Esta banda de guarda a su vez, no tiene que estar simétricamente distribuida por mitades a los extremos del paquete de radiofrecuencia sino que se programa dinámicamente de acuerdo generalmente a las posibilidades de menor interferencia de los canales adyacentes.

Posee *interleaving* (entrelazado) en el dominio del tiempo y de la frecuencia, y código de corrección de errores.

Los parámetros de transmisión (esquema de modulación, razón de corrección de errores, longitud de *time interleaving* (entrelazado de tiempo)...) pueden ser configurados de manera independiente para cada uno de los segmentos. Se admite transmisión jerárquica hasta en tres capas (*Layers A, B y C*), un nivel más que el previsto en DVB-T, de solamente dos. Recordemos que la transmisión jerárquica habilita a que se establezcan distintos parámetros de modulación dentro del ancho de banda de transmisión. En particular, puede realizarse transmisión a dispositivos móviles a través del mismo transmisor, con una transmisión dentro de la banda y simultánea a otros programas con mayor definición (y por tanto mayor tasa de bits) destinados a dispositivos fijos. En este caso, se utiliza el segmento central con ciertos parámetros que le otorgan mayor robustez para poder ser recibidos por dispositivos del tipo *handheld*. Los receptores se llaman *1-seg* ya que utilizan un segmento de los trece disponibles, en concreto el central, identificado como segmento número 7. Se dice que este receptor puede realizar una recepción *parcial* ya que logra obtener señal de sólo una parte del ancho de banda total de transmisión, es decir, no necesitan procesar los 6 Mhz de ancho de banda lo que le da una robustez importante a esta aplicación.

Existen tres modos de transmisión (*Mode 1, 2 y 3*) que permiten distintos números de portadoras como se verá en el apartado siguiente. Hay cuatro posibles longitudes del intervalo de guarda del tiempo de símbolo.

Como puede observarse tiene una amplia gama de parámetros configurables, lo que lo convierte en un sistema flexible y seguro que permite adaptarse a distintas situaciones de transmisión según cómo sea configurado.

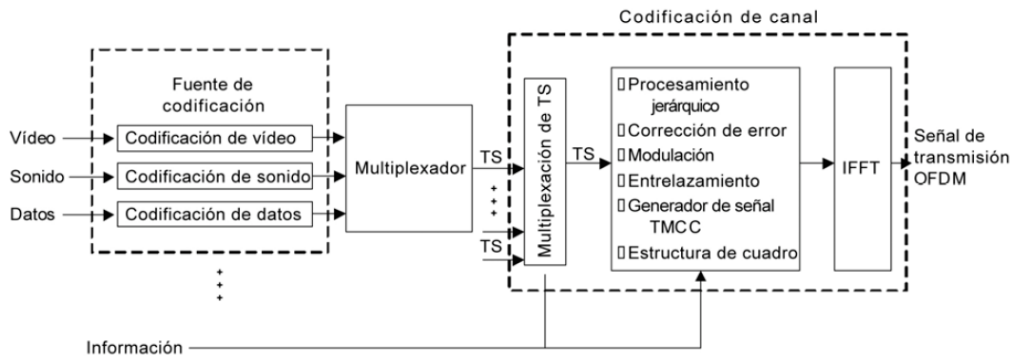


Figura I.- Esquema de bloques del sistema ISDB-T

En la Figura I se muestra una visión de conjunto del sistema. Nótese que al modulador OFDM ingresa un único flujo de transporte MPEG-2 (*Transport Stream, TS*), contrariamente a lo que sucede en un modulador DVB-T en donde entran dos TSs para realizar la modulación jerárquica, uno para cada nivel. En este caso, los múltiples TSs que transportan los distintos programas o servicios, deben ser remultiplexados obteniéndose sólo uno. En ese flujo de transporte también se envía hacia el receptor información de control de la transmisión, como puede ser la configuración de los segmentos del canal o parámetros de transmisión, a través de la señal *transmission multiplexing configuration control* (TMCC). Este flujo de transporte ya no es llamado TS sino BTS. Sus paquetes son de 204 bytes en lugar de 188. En el apartado (4) será descrito más en detalle. El módulo IFFT es una Inverse Fast Fourier Transform.

La Figura II muestra dos ejemplos de configuración de la transmisión.

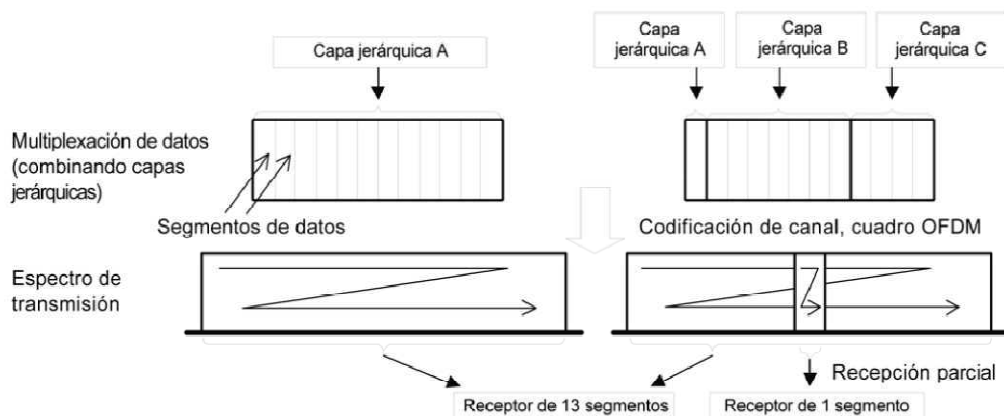


Figura II.- Ejemplos de configuración de la transmisión

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 (1/6), 54,621 ms (1/16),		128,52 ms (1/4), 115,668 ms (1/6), 109,242 ms (1/16),		257,04 ms (1/4), 231,336 ms (1/6), 218,464 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)					
^a SP y CP son usados por el receptor para fines de sincronización y demodulación. ^b MCC es información de control. ^c AC se usa para transmitir información adicional. AC1 está disponible en igual número en todos los segmentos, mientras que AC2 está disponible solamente en segmento de modulación diferencial.							

Tabla I.- Parámetros de los segmentos OFDM

Modo		Modo 1	Modo 2	Modo 3
Número de segmentos OFDM N_s		13		
Ancho de banda		$3000/7 \text{ kHz} \times N_s + 250/63 \text{ kHz}$ = 5,575MHz	$3000/7 \text{ kHz} \times N_s + 125/63 \text{ kHz}$ = 5,573MHz	$3000/7 \text{ kHz} \times N_s + 125/126 \text{ kHz}$ = 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		$250/63 = 3,968 \text{ kHz}$	$125/63 = 1,984 \text{ kHz}$	$125/126 = 0,992 \text{ kHz}$
Número de portadoras	Total	$108 \times N_s + 1 = 1\ 405$	$216 \times N_s + 1 = 2\ 809$	$432 \times N_s + 1 = 5\ 617$
	Datos	$96 \times N_s = 1\ 248$	$192 \times N_s = 2\ 496$	$384 \times N_s = 4\ 992$
	SP	$9 \times n_s$	$18 \times n_s$	$36 \times n_s$
	CP _a	$n_d + 1$	$n_d + 1$	$n_d + 1$
	TMCC	$n_s + 5 \times n_d$	$2 \times n_s + 10 \times n_d$	$4 \times n_s + 20 \times n_d$
	AC1	$2 \times N_s = 26$	$4 \times N_s = 52$	$4 \times N_s = 104$
	AC2	$4 \times n_d$	$9 \times n_d$	$19 \times n_d$
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)
<i>Inner code</i>		Código convolucional (1/2, 2/3, 3/4 5/6, 7/8)		
<i>Outer code</i>		RS (204, 188)		
^a El número de CP representa la suma de los CP en el segmento más un CP agregado a la derecha de la banda total.				

Tabla II.- Parámetros de transmisión de señal

En el ejemplo de la izquierda toda la señal OFDM se utiliza con una sola jerarquía (es la capa A). En el segundo caso, se están utilizando las tres capas A, B y C, cada una de ellas con parámetros de transmisión distintos (tipo de modulación, razón de corrección de error y *time interleaving*). En el segmento central se ubica la capa A, configurada con parámetros más robustos pero que otorgan menor capacidad de transporte, la que, como fue dicho, está destinada a transmisión a dispositivos móviles. Luego la capa B en los segmentos próximos al central y en

los segmentos externos la capa C que tendrá los parámetros que permiten mayor tasa de bits por segundo pero toleran menos ruido o interferencia.

3. Parámetros de transmisión ISDB-T.- La Tabla I muestra los diferentes valores que adoptan los parámetros del segmento OFDM según el modo de funcionamiento. Nótese que los posibles esquemas de modulación utilizados en cada segmento son DQPSK, QPSK, 16QAM y 64QAM. Los posibles valores para los intervalos de guarda para cada símbolo transmitido son 1/4, 1/8, 1/16 y 1/32 (ver una descripción más detallada en [1]) y para la razón de corrección de errores en el *Inner Code*⁶ son 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8. Resultan iguales a los que ofrece DVB-T.

La Tabla II por su parte, exhibe los parámetros de transmisión en cada uno de los modos. Nótese que el ancho de banda utilizado en cualquiera de ellos es de casi 5,6 MHz.

En la Tabla III se observan las tasas de bits que cada segmento puede transmitir según sean los parámetros de transmisión.

Modulación de la portadora	Código convolucional	Número de TSP transmitidos por cuadro	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
DQPSK	1/2	12/24/48	280,85	312,06	330,42	340,43
	2/3	16/32/64	374,47	416,08	440,56	453,91
	3/4	18/36/72	421,28	468,09	495,63	510,65
QPSK	5/6	20/40/80	468,09	520,10	550,70	567,39
	7/8	21/42/84	491,50	546,11	578,23	595,76
16QAM	1/2	24/48/96	561,71	624,13	660,84	680,87
	2/3	32/64/128	748,95	832,17	881,12	907,82
	3/4	36/72/144	842,57	936,19	991,26	1021,30
	5/6	40/80/160	936,19	1 040,21	1 101,40	1 134,78
	7/8	42/84/1 68	983,00	1 092,22	1 156,47	1 191,52
64QAM	1/2	36/72/144	842,57	936,19	991,26	1 021,30
	2/3	48/96/192	1 123,43	1 248,26	1 321,68	1 361,74
	3/4	54/108/216	1 263,86	1 404,29	1 486,90	1 531,95
	5/6	60/120/240	1 404,29	1 560,32	1 652,11	1 702,17
	7/8	63/126/252	1 474,50	1 638,34	1 734,71	1 787,28

^a Esa tasa de datos representa la tasa de datos (bits) por segmento para parámetros de transmisión:
 tasa de datos (bits) = TSP transmitidos x 188 (bytes/TSP) x 8 (bits/byte) x 1/longitud del cuadro.

Tabla III – Tasa de bits de un solo segmento

De la misma forma la Tabla IV lo hace para el caso de que todos los segmentos estén configurados de la misma forma.

Estas tablas resultan especialmente relevantes para el planificador o para el operador ya que la calidad de la recepción y la calidad de imagen (así como la cantidad de servicios que puedan integrar el múltiplex) están relacionadas con los parámetros y con la tasa de bits. Esto puede verse reflejado en la Figura III.

⁶ Habitualmente referido como FEC (Forward Error Code).

Imaginemos que los trece segmentos son utilizados con una única jerarquía (capa A). Utilizaremos por tanto la Tabla IV. Podemos pensar en un primer ejemplo con un operador extremadamente conservador, interesado en que su señal se vea hasta en las peores condiciones posibles. En este caso, el operador utilizará modulación DQPSK o QPSK, *convolutional code 1/2* e intervalo de guarda 1/4, obteniendo una tasa de bits de 3,651 Mbps. Por el contrario un operador que quiera obtener la máxima tasa de bits posible que es 23,234 Mbps deberá transmitir con modulación 64QAM, *convolutional code 7/8* e intervalo de guarda 1/32, estando mucho más expuesto a ruido o interferencia.

Modulación de la portadora	Código convolucional	Número de TSP transmitidos (Modos 1/ 2/ 3)	Tasa de datos Mbps			
			Intervalo de guarda 1/4	Intervalo de guarda 1/8	Intervalo de guarda 1/16	Intervalo de guarda 1/32
DQPSK	1/2	156/312/624	3,651	4,056	4,295	4,425
	2/3	208/416/832	4,868	5,409	5,727	5,900
	3/4	234/468/936	5,476	6,085	6,443	6,638
QPSK	5/6	260/520/1040	6,085	6,761	7,159	7,376
	7/8	273/546/1092	6,389	7,099	7,517	7,744
16QAM	1/2	312/624/1248	7,302	8,113	8,590	8,851
	2/3	416/832/1664	9,736	10,818	11,454	11,801
	3/4	468/936/1872	10,953	12,170	12,886	13,276
	5/6	520/1040/2080	12,170	13,522	14,318	14,752
	7/8	546/1092/2184	12,779	14,198	15,034	15,489
64QAM	1/2	468/936/1872	10,953	12,170	12,886	13,276
	2/3	624/1248/2496	14,604	16,227	17,181	17,702
	3/4	702/1404/2808	16,430	18,255	19,329	19,915
	5/6	780/1560/3120	18,255	20,284	21,477	22,128
	7/8	819/1638/3276	19,168	21,298	22,551	23,234

Tabla IV– Tasa total de bits

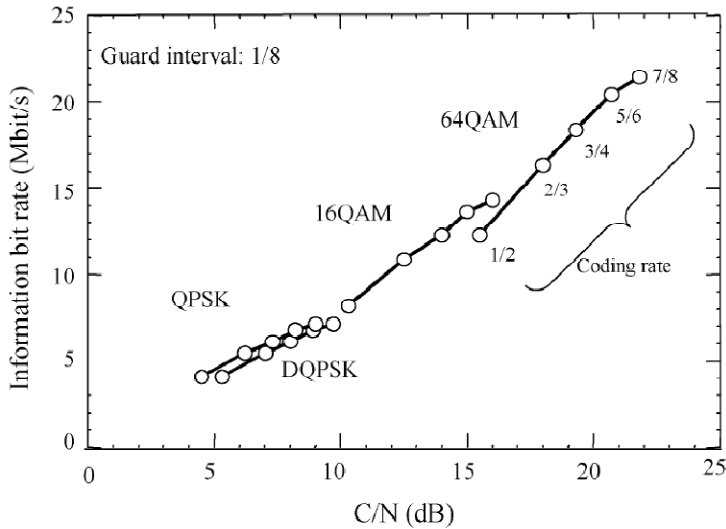


Figura III.- C/N versus capacidad de transmisión determinada por la codificación de canal

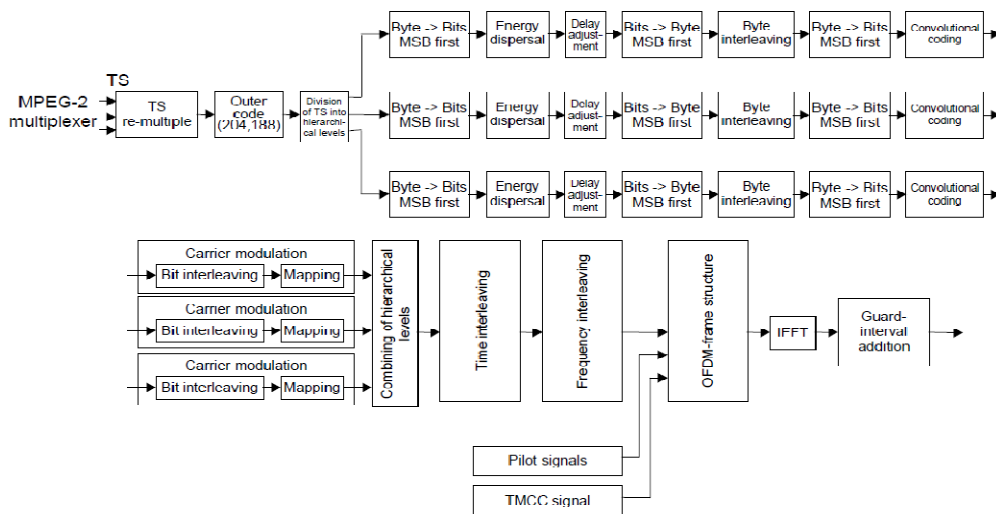


Figura IV.- Diagrama de bloques del codificador de canal

Supongamos ahora un caso en que el operador transmite simultáneamente para dispositivos fijos y móviles con dos jerarquías (capas A y B). El segmento central (capa A) estará configurado de manera “conservadora” y los otros doce (capa B) con parámetros más “audaces” destinados a un receptor con antena fija y que permitan una mayor tasa de bits. Debemos remitirnos a la Tabla III para hacer el cálculo segmento a segmento. El segmento central podría configurarse con QPSK, 2/3 y 1/4 lo que otorga una tasa de bits de 374,47 kbps. La capa B podría establecerse con parámetros 64QAM, 3/4 y 1/16 con lo que cada segmento transmite 1486,9 kbps, que multiplicándolo por los 12 segmentos, se obtiene un total de 17,84 Mbps.

En la Figura IV se ilustra un diagrama de bloques del codificador de canal. Puede observarse que a partir de un único flujo de transporte, generado en el *TS re-multiplexer*, y luego del módulo que suma el código de corrección Reed-Solomon (*Outer code*), se separan los flujos de transporte

hasta en tres caminos iguales, uno para cada capa o jerarquía. Destacamos que la información sobre los parámetros para el modulador y el codificador de canal para cada capa deben estar incluidos en el flujo de transporte saliente del *TS re-multiplexer*, lo que constituye una diferencia importante respecto a DVB-T. Cada una de las etapas siguientes es similar a lo descrito para DVB-T. Debido al alcance y extensión del presente artículo remitimos al lector interesado a la norma [3] o Takada y Saito [6].

4. Adaptaciones del flujo de transporte MPEG-2.- El flujo de transporte MPEG-2 (TS) no ha sido diseñado para transmisión jerárquica ni para recepción parcial (el caso de que no se reciba toda la señal modulada). Por tanto, ha debido modificarse el TS a fin de adaptarlo a estos requisitos, buscando que la carga de procesamiento en el receptor sea mínima.

Estas modificaciones están descritas en [7] y consisten en: (1) un método para permitir la transmisión jerárquica y la recepción parcial de un TS, (2) un método que relaciona un paquete TS a un segmento de la señal OFDM, (3) un método para realizar la interfaz entre el remultiplexor con un modulador a una frecuencia de reloj única y constante, (4) un método para reconstruir un TS serial en los receptores a partir de señales de transmisión jerárquica asignadas a capas paralelas por una modulación multiportadora OFDM, y (5) un método para recuperar correctamente la señal del *program clock reference* (PCR) en un receptor con recepción parcial (que toma una de las capas jerárquicas), incluso si la tasa del TS del receptor es diferente de la del lado del transmisor.

La salida del remultiplexor son paquetes de transporte de 204 bytes. Esta señal también es llamada *Broadcast TS* (BTS). Está estructurada en un *multiplex frame* en el que el número de paquetes de transporte (TSP) en un *frame* y su longitud depende del Modo e intervalo de guarda utilizados en la transmisión. Como se muestra en la Figura V, cada uno de los TSP en un *multiplex frame* se transmite por una capa jerárquica (A, B o C) o pertenece a un paquete nulo (*null packet*) que no se transmite en la señal OFDM. El resto de los paquetes del *frame* serán transmitidos en un *OFDM frame*.

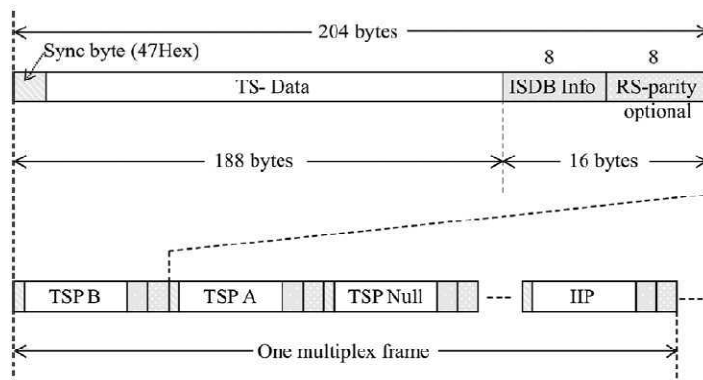


Figura V- El multiplex frame

Es necesario agregar estos paquetes nulos para que las señales de capa A y B que obtenga un receptor completo, estén sincronizados con las de capa A que decodifique un receptor que haga recepción parcial (sólo capa A).

También se observa en la Figura V cómo están compuestos los paquetes de transporte. A los 188 bytes del TS MPEG-2 se le agregan 8 bytes de “Información ISDB”, que indican información sobre la capa, el contador de TSP, encabezamientos, datos auxiliares y demás, y 8 bytes de paridad.

Por otro lado, el paquete IIP que se ve en la Figura V es el *ISDB-T Information Packet* que cierra el *multiplex frame*. El IIP tiene dos descriptores llamados *Modulation Control Configuration Information Packets* (MCCI) y *Network Synchronization Information* (NSI). El MCCI configura para cada una de las capas parámetros de modulación y de codificación de canal tales como el tamaño de la IFFT, el intervalo de guarda, el esquema de modulación, el número de segmentos, la razón de corrección de errores. La NSI es utilizada con información temporal para sincronización cuando se utilizan redes de frecuencia única.

Al tener que incluir paquetes nulos el BTS (de ISDB-T) tiene una sobrecarga sobre el TS (de MPEG-2 utilizado en DVB-T). En [8] se muestra una aplicación donde es crítico eliminar estos bits innecesarios: la distribución del múltiplex a través de satélite para alimentar transmisores ISDB-T y generar una red de frecuencia única. Al tener paquetes de relleno, BTS tiene una mayor tasa de bits que es deseable eliminar en la transmisión al satélite, para luego reconstruirla. El artículo muestra el método para remultiplexar BTS de ISDB-T en TS de DVB-T.

5. Consideraciones básicas sobre cobertura.- En la norma [3] se especifica para el área de cobertura de la estación de televisión una intensidad de campo de $60 \text{ dB}\mu\text{V/m}$ a recibirse con una antena Yagi de 14 elementos (7 dB de ganancia). Recordemos que en televisión analógica se requieren $70 \text{ dB}\mu\text{V/m}$. Debido a ello es que, para tener la misma cobertura que un transmisor analógico, una primera aproximación de la potencia de transmisión ISDB-T es que sea 10 dB menor. Sin embargo la propia norma sostiene que son valores que deberán ser revisados luego de obtener los resultados dados en la práctica. Hay que tener en cuenta la existencia de multicaminos en la señal debidos a rebotes en edificios o vehículos e interferencias originadas por ruido de distintos dispositivos industriales o domésticos, o por transmisiones analógicas o digitales en el mismo canal o en adyacentes.

Estudios experimentales han permitido verificar que el sistema es robusto incluso frente a intensas interferencias de ruido impulsivo u ocasionados por caminos múltiples (*multipath*) [9]. Esto también fue verificado ya en 2000 comparándolo teóricamente frente a estándares de transmisiones de televisión digital con otras modulaciones [10].

En [11] se muestran resultados de pruebas de recepción de HDTV en receptores móviles en San Pablo, Brasil y alrededores (zonas urbanas, suburbanas, rurales y autopistas) que muestran que utilizando recepción diversificada (*diversity reception*) con cuatro antenas receptoras, es posible tener muy buena recepción hasta 90 km/h. Se configura el transmisor en dos capas. Capa A destinada a móviles, un segmento QPSK 2/3 1/16. Capa B destinada a HDTV, un segmento 64QAM 3/4 1/16. En dicho trabajo se ensayan dos receptores, uno con una sola entrada de antena y otro con cuatro entradas de antena ubicadas en el exterior del vehículo. Se comprueba que este último tiene recepción correcta de HDTV (Capa B) muy similar a la que tiene el primero (receptor estándar) para la transmisión “robusta” de Capa A.

6. Conclusiones.- En este artículo se han presentado las características del sistema ISDB-T de reciente adopción en Uruguay. Como el país había optado inicialmente por la norma DVB-T y las pruebas experimentales se habían centrado en ese estándar, la descripción de ISDB-T hace referencia especialmente a las diferencias con este.

El sistema se muestra especialmente seguro y flexible. Esta flexibilidad se manifiesta en que puede ser configurado con distintos parámetros de codificación de canal y de modulación, incluso hasta tres distintos niveles jerárquicos en el mismo ancho de banda de transmisión. Esto le permite adaptarse a distintas situaciones como la de transmisión en alta definición a dispositivos fijos o con menor calidad, aunque con mayor robustez, a dispositivos móviles, pudiendo hacerlo incluso simultáneamente.

En el artículo se han dado ejemplos sobre cómo puede configurarse y sobre cómo se comporta en esos casos. Asimismo, se han referenciado artículos con resultados de pruebas de campo.

7. Referencias

- [1] Sotelo Bovino, Rafael, Durán, Diego; *Modulación Digital. Aplicación a la Televisión Digital en DVB. Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, 2008.
- [2] <http://www.arib.or.jp/english/>
- [3] ARIB STD-B31 Version 1.6, *Transmission system for digital terrestrial television broadcasting*
- [4] ARIB STD-B32 Version 2.1, *Video coding, audio coding, and multiplexing specifications for digital broadcasting*.
- [5] <http://www.dibeg.org/>
- [6] Takada, M. and Saito, S.; *Transmission System for ISDB-T*; Proceedings of the IEEE, vol. 94, N° 1, January 2006
- [7] Uehara, M.; *Application of MPEG-2 systems to terrestrial ISDB (ISDB-T)*, Proceedings of the IEEE, vol. 94, no. 1, pp. 261–268, Jan. 2006.
- [8] Akamine, C. and Iano, Y. and de Melo Valeira, G. and Bedicks, G.; *Re-Multiplexing ISDB-T BTS Into DVB TS for SFN*; Broadcasting, IEEE transactions on; vol. 55, n 4, pp 802-809; 2009
- [9] Bedicks et al; *Results of the ISDB-T System Tests, as Part of Digital TV Study Carried Out in Brazil*; IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 52, N° 1, March 2006
- [10] Yiyuan Wu; Pliszka, E.; Caron, B.; Bouchard, P.; Chouinard, G.; *Comparison of terrestrial DTV transmission systems: the ATSC 8-VSB, the DVB-T COFDM, and the ISDB-TBST-OFDM*; Broadcasting, IEEE transactions on Volume: 46, Issue: 2; June 2000.
- [11] Akamine, C.; Yamada, F.; Bedicks, G.; da Silva Dantas, C.E.; Sukys, F.; Motoyama, R.E.; de Mendonca Maroja, R.; de Melo Valeira, G.; Horta, E.L.; *Field trial for Brazilian DTV using space diversity; Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB)*, 2010 IEEE International Symposium on.
- [12] ABNT NBR 15601 - NORMA BRASILEÑA (traducción al español) - *Televisión digital terrestre — Sistema de transmisión — 2007*
- [13] ABNT NBR 15608-2 – NORMA BRASILEIRA - *Televisão digital terrestre — Guia de operação Parte 2: Codificação de vídeo, áudio e multiplexação – Guia para implementação da ABNT NBR 15602:2007*