



Evaluación de modos de trabajo de DTMB en el diseño de receptores de DTV en Cuba

David Rodríguez Mollined, Irina Siles Siles, Miguel A. Mendoza Reyes, Carlos A. Bazán Prieto,

Alain Martínez Laguardia

RESUMEN / ABSTRACT

Una de las actuales limitantes del avance del programa de televisión digital en Cuba es la capacidad de compra que tiene el país para adquirir los equipos receptores. La anterior aseveración, aunada a la necesidad de implementar el apagón analógico en el territorio nacional, ha llevado a buscar soluciones autónomas. En consecuencia, en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV) se propone un prototipo de caja decodificadora (STB, *set-top box*). Este dispositivo de alta integración, para señales digitales televisivas terrestres, incluye un módulo de sintonía y demodulación (NIM, *Network Interface Module*), una computadora monoplaca de propósito general (SBC, *Single Board Computer*) con un sistema operativo de código abierto que permite una independencia tecnológica y brinda facilidades para la implementación de nuevos servicios con un alto valor agregado. Esta solución se basa en el diseño y desarrollo de un circuito electrónico y su placa de circuito impreso (PCB, *Printed Circuit Board*) que sirve de interfaz entre la SBC y el NIM, para su futura fabricación y comercialización en el país. Para validar la factibilidad técnica de la propuesta se debe corroborar experimentalmente la estructura de las tramas de datos, para luego diseñar el procedimiento de software dedicado al procesamiento en tiempo real de la señal. También es necesario cumplir con los requisitos de temporización de las señales de control, configuración y monitoreo presentes en los diferentes modos de trabajos del estándar Televisión Digital Terrestre para la Difusión de Multimédias (DTMB, *Digital Terrestrial Multimedia Broadcast*) recogidos en el GB 20600-2006.

Palabras claves: STB, tramas de datos, modos de trabajo DTMB.

One of the current limitations to the progress of the digital television program in Cuba is the lack of funds that the country has to acquire the receiving equipment. The above statement, along with the need to implement the analog switch-off in the national territory, has led to seek autonomous solutions. Consequently, at the Central University "Marta Abreu" of Las Villas (UCLV), a prototype of a set-top box (STB) is proposed. This highly integrated device, for digital terrestrial television signals, includes a tuning and demodulation module (NIM, Network Interface Module), a general-purpose single board computer (SBC) with an open-source operating system that allows technological independence and provides facilities for the implementation of new services with high added value. This solution is based on the design and development of an electronic circuit and its Printed Circuit Board (PCB) that serves as an interface between the SBC and the NIM, for future manufacture and commercialization in the country. To validate the technical feasibility of the proposal, the structure of the data frames must be experimentally corroborated, to latter design the software procedure dedicated to the real-time processing of the signal. It is also necessary to fulfill the timing requirements of the control, configuration and monitoring signals present in the different working modes of the Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting (DTMB) standard, which are included in GB 20600-2006.

Keywords: STB, Transports Streams, modes of DTMB.

Evaluation of the working modes of the DTMB standard in the design of DTV receivers in Cuba.

1.- INTRODUCCIÓN

Una caja decodificadora (STB, *set-top box*) es un dispositivo (conjunto de *hardware* y *software*) que recibe las señales de televisión digital, las convierte en señales de televisión analógica, y las envía al televisor convencional (televisor analógico) para ser reproducidas (1–8) o sencillamente las entrega por salida digital. En Cuba hay dos entidades que se encargan de certificar los STB a comercializar: el Laboratorio de Ensayos de Tropicalización (LABET) y la Empresa de Servicios Profesionales y Técnicos (ESAC). Cada una desde sus perspectivas y objetos sociales tienen la función de determinar si la muestra de STB es capaz de funcionar satisfactoriamente bajo determinadas condiciones (climáticas o paramétricas) de acuerdo a directivas establecidas [9].

En consecuencia y ante la elaboración de una propuesta nacional por parte del equipo de desarrollo de la UCLV de un prototipo de STB, surge la necesidad de probar y validar el mismo ante la ESAC. La validación consta de pruebas asociadas al análisis de: (a) Demodulación DTMB, (b) Especificaciones generales, (c) Especificaciones obligatorias adicionales para los formatos de imagen, video y audio en definición estándar y en alta definición e interfaces de salida para todo tipo de tele-receptores y (d) Características adicionales. En esta investigación, y por la relevancia que tiene, se hará un análisis del cumplimiento de las pruebas asociadas a la demodulación DTMB en función de los principales modos de trabajo del estándar tras la obtención de la correcta representación de los mismos en el hardware implementado para la recepción de la señal digital de televisión. Las contribuciones científicas fundamentales que se hacen en este trabajo lo constituye la correlación de los resultados medidos experimentalmente para la estructura de trama DTMB y lo establecido por el estándar DTMB vigente en el país (GB20600-2006) [10]; estos son además imprescindibles para realizar la certificación técnica del prototipo de STB diseñado.

1.1.-ESTRUCTURA BÁSICA DE UN STB. ETAPA DE SINTONÍA Y DEMODULACIÓN

La evolución de los STB ha sido paulatina y condicionada por los avances tecnológicos del momento. Los STB permiten a los espectadores acceder a múltiples métodos de transmisión de TV (incluidos terrestre, cable, Internet y satélite). Se identifican tres perfiles de STB. La señal se modula digitalmente utilizando la modulación por desplazamiento de fase (QPSK, *Quadrature Phase-Shift Keying*) para aplicaciones de satélite, modulación de amplitud en cuadratura (QAM, *Quadrature Amplitude Modulation*) para cable y multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM, *Orthogonal frequency division multiplexing*) para terrestre. Para el caso que nos ocupa (STB terrestre) el STB ha de seleccionar la información de transmisión de TV adecuada al sintonizar uno de los muchos canales de entrada. La información en el canal de RF seleccionado por el sintonizador (*tuner*) es entonces procesada por el demodulador para producir un flujo de transporte MPEG-2 (MPEG_TS) que contiene el audio, vídeo y otras informaciones. Un receptor consta de tres posibilidades de implementación desde el punto de vista de sintonía: (i)-usar un módulo con sintonizador y demodulador encapsulados (*Full NIM*); (ii)- usar un módulo con sólo el sintonizador encapsulado (*1/2 NIM* o *half NIM*), mientras que el demodulador está en la placa base; (iii)- no se dispone de módulo encapsulado independiente y tanto el sintonizador como el demodulador están incorporados en la placa base común junto a los demás componentes del STB.

Al abordar un proyecto de desarrollo de STB, se debe seleccionar cuidadosamente la combinación más adecuada de los circuitos sintonizadores, demoduladores y decodificadores de MPEG_TS en función de las particularidades de la aplicación a desarrollar. La Tabla 1 muestra los ICs/SoC más representativos para la norma DTMB; en [11–16] se pueden consultar ICs/SoC representativos para varias soluciones DTV. El conocimiento de las especificaciones técnicas, la existencia de servicios de soporte y la consultoría técnica sobre los componentes internos de los dispositivos es imprescindible para la toma de decisiones y la evaluación de compensaciones.

Para la realización del presente proyecto se desestimó el uso de la solución de $\frac{1}{2}$ NIM pues, aunque ofrece una mejor gestión térmica y la posibilidad de control del AGC, impone la necesidad de gestionar el complejo proceso de demodulación por software. Esto último se evita con el uso del *full NIM*, la solución elegida para este proyecto. Esta decisión limita las posibilidades de cambios y configuraciones a lo ofrecido por el fabricante, lo cual ha sido tenido en cuenta en la selección del módulo apropiado. Esta elección se basa en desempeño, precio, requerimientos de parámetros básicos (rango de frecuencia de entrada, salida de IF, interfaz de control, rango de control de AGC, Figura de Ruido) y requerimientos de recepción.

+
 Tabla 1

ICs/SoC representativos para la norma DTMB.

Soluciones DTV	Solución		
	Sintonizador + Demodulador (Full NIM Tuner)	Sintonizador simple Half NIM Tuner –Silicon Tuner	Demodulador simple
DTMB	MXL608+AVL6381, NIM120AA	MxL603, MxL608, Mxl661,R836, LGx845, ATMB2030, CDX2871A, Si215x,Si2176	CMX970Q7, CMX972Q5, ATBM88xx, AVL6762, ATMB 8880, AVL6381

El módulo seleccionado, está basado en los dispositivos MXL608 y AVL6381, Figura 1. El sintonizador MLX608 recibe una señal de entrada de RF, previamente filtrada por un filtro paso alto. Nótese, que los ICs se han de energizar con voltajes de 3.3V, 1.8V y 1.2V y que requiere de la presencia de un cristal de 24MHz o 30MHz. Entre el MXL608 y el AVL6381 existen señales de señalización y control (SDAT y SCLT), señales (LIFP y LIFN), así como la señal de retroalimentación para la implementación del control automático de ganancia (AGC). Se observa que desde un procesador externo que actúa como maestro, mientras el *Full NIM* actúa como esclavo, se establece la comunicación por I2C: la manipulación del estado del bus SDA para la transmisión de datos series (bidireccional) en el momento adecuado y la señal de reloj SCL desde el micro. La salida entregada por el AVL se presenta como una trama de datos demodulada presente en 12 pines que portan la información de banderas para tramas de error o tramas válidas, señales de reloj/sincronismo/datos.

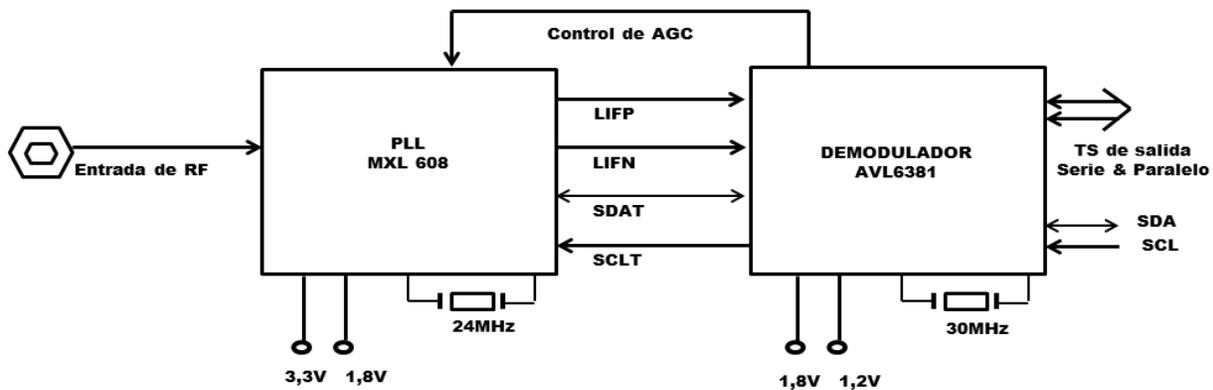


Figura 1

Representación esquemática del elemento de sintonía y demodulación del *full NIM* elegido como solución

1.2.-CONCEPTOS Y CARACTERÍSTICAS DE LA TRAMA TS

El flujo de transporte de datos (TS, *Transport Stream*) se obtiene del demodulador, ya sea en serie o paralelo, Figura 1. El TS contiene varios programas multiplexados en un único flujo binario de datos, y el control se realiza por I2C para que la señal demultiplexada sea decodificada correctamente. De acuerdo con el estándar ISO 13818 [17] un flujo de transporte es una concatenación de paquetes de tamaño constante (188 bytes = 1504 bits), cada uno de los cuales comienza con un encabezado de paquete de transporte seguido por bytes de carga útil, Figura 2. Cada encabezado de paquete de transporte consta de una parte fija y otra variable. La parte fija contiene cuatro bytes y comienza con un byte de sincronización que tiene el valor fijo 0x47. La parte variable se denomina campo de adaptación y su presencia o ausencia se señala en la parte fija. El valor del byte de sincronización se seleccionó desde la perspectiva de la tolerancia para la transmisión de errores; para su uso como byte de sincronización, el patrón de bits "0100 0111", correspondiente al valor hexadecimal 0x47, presenta una buena opción [18]. De acuerdo con [19] y Bylanski e Ingram dentro de la carga útil, es muy poco probable encontrar 2 bytes con valor 0x47 en una distancia de tamaño de paquete de TS.

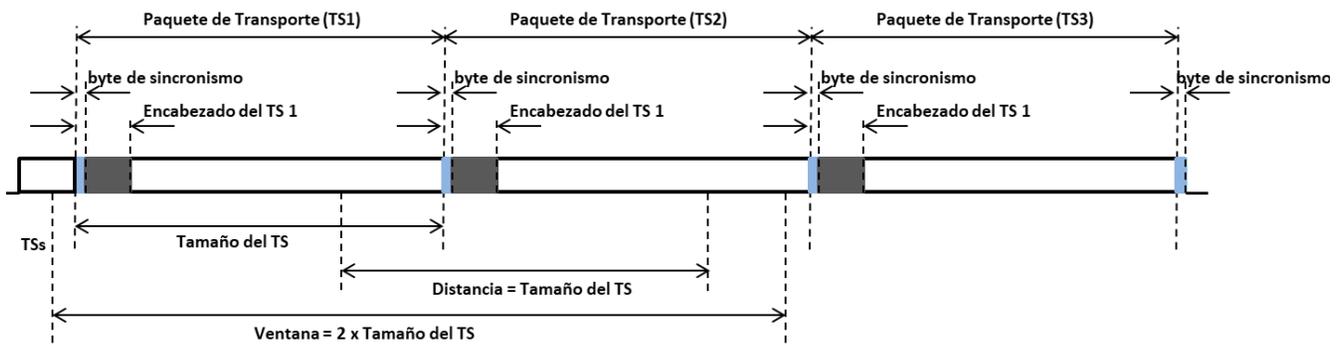


Figura 2
Representación de un flujo de transporte y un paquete de transporte.

El flujo de transporte para ser irradiado en un canal radioeléctrico estará sujeto al estándar adoptado y la norma de DTT (*Digital Terrestrial Television*) establecida en cada país. De acuerdo a lo estipulado por el estándar GB 20600 [10] para insertar los 3780 símbolos en la estructura del Cuerpo de Trama, se ocupan 666.66µs para un ancho de banda de 6MHz. Este espacio se utiliza para los símbolos codificados (3744 símbolos) de conjunto con el campo que acarrea la información del sistema en 36 símbolos, 4 bits indican el modo portadora única (SC, *Single Carrier*) o el modo de múltiples portadoras (MC, *Multiple Carrier*) y 32 bits de vectores Walsh que portan la información del modo de modulación, tasa de códigos correctores de errores (LPDC/BCH, *Low Density Parity Check / Bose-Chaudhuri-Hocquenghem*) y modo de entrelazado empleado. Para obtener la Trama de Señal (*Signal Frame Structure*), se añade un tiempo de encabezado para la inclusión de una secuencia binaria pseudoaleatoria (PN, *Pseudorandom sequence*), Figura 3. La secuencia PN se inserta como intervalo de guarda para incidir en la disminución de la interferencia inter símbolo, utilizar símbolos de entrenamiento, reducir la sobrecarga de transmisión y mejorar tanto la eficiencia espectral del canal como los rendimientos de sincronización y estimación de canal.

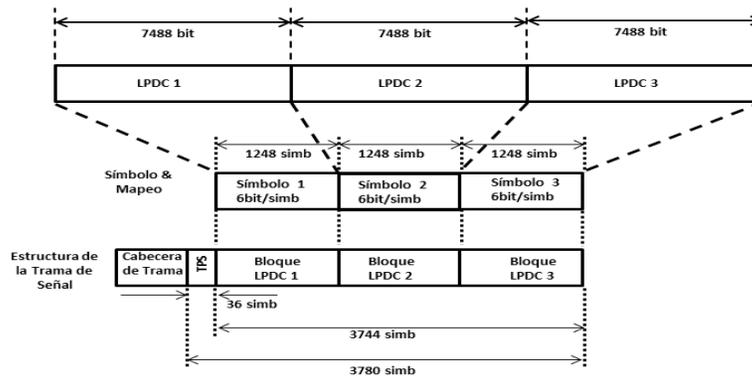


Figura 3
Representación de la trama TS para el esquema 64QAM.

La norma DTMB tiene 26 modos de trabajo diferentes [10]. El despliegue nacional se hace en función del modo 6, + Tabla 1, el cual define el siguiente modo de transmisión: FEC=0.6, Rm = 6, PN=420 y C = 3780. Este modo de transmisión para una constelación de símbolos 64QAM permite una razón de bits máxima de 18.274 Mbps. La razón de trasmisión se puede calcular mediante

$$\text{Razón de Transmisión} = \frac{3744}{PN + C} \times Ri \times Rm \times 5.67 \quad [Mbps] \quad (1)$$

donde:

PN: Longitud de la cabecera [símbolos]. Valores posibles: 420, 545, 945.

Rm: Eficiencia del esquema de modulación. Valores posibles: 2, 4, 5, 6.

Ri: Eficiencia del FEC. Valores posibles: 0.4, 0.6, 0.8.

C: Cantidad de portadoras. Valores posibles: 1, 3780, en dependencia del modo SC y MC.

La duración de una Trama de Señal ($T_{Trama_de_señal}$) está compuesta por el tiempo del Cuerpo de la Trama ($T_{Cuerpo_de_trama}$) y el tiempo asociado al encabezado PN ($T_{Secuencia_PN}$). El parámetro $T_{Cuerpo_de_trama}$ (666.667us) considera el tiempo de la trama TS (T_{TS}) y el tiempo de Información del Sistema (T_{TPS}). Como el encabezado PN varía, ($T_{Secuencia_PN420} = 74.133us$, $T_{Secuencia_PN595} = 74.133us$ y $T_{Secuencia_PN945} = 104.933us$) en consecuencia la duración de la Trama de Señal también lo hace ($T_{Trama_de_señal} = 740.8us$, $T_{Trama_de_señal} = 771.6us$ y $T_{Trama_de_señal} = 833.334us$) de manera correspondiente. La relación entre la Trama Señal y la Trama Día queda definida en la Figura 4.

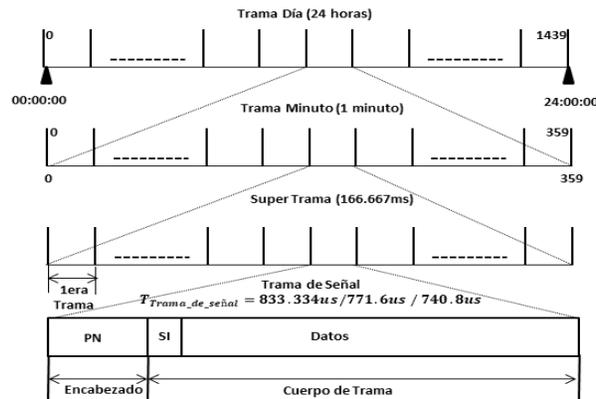


Figura 4
 Representación de la Trama Día en función de la Trama de Señal.

2.-MATERIALES Y MÉTODOS: DEMODULACIÓN DTMB

2.1.-DESCRIPCIÓN GENERAL

En este epígrafe se presentan las técnicas experimentales y la caracterización de algunos de los equipos utilizados. Los resultados son útiles para realizar la certificación técnica del prototipo de STB diseñado en función de la demodulación DTMB y para evaluar la factibilidad de la solución de software que se implemente, que tiene como requisito la operación en tiempo real.

Materiales:

- PC equipada con software Stream Master
- Tarjeta TX/Rx MPEG-TS
- Modulador DTMB T400
- Redes de acople (splitter, atenuador)
- Analizador de TV S7000 Deviser
- Osciloscopio Gratter GA1202 CAL
- STB (Prototipo de prueba diseñado) y televisor.

Método:

El procedimiento diseñado cumple con lo estipulado por la ESAC y se describe a continuación:

1. Transmitir desde la tarjeta MPEG-TS haciendo uso del software Stream Master los TSs de prueba que se corresponden con cada uno de los modos bajo análisis.
2. Ajustar el parámetro de rendimiento de video del codificador a la máxima velocidad de bits permitida para cada modo escogido según los parámetros de modulación configurados.
3. Configurar la frecuencia del modulador DTMB T400 a 587 MHz (Canal 33).
4. Configurar los parámetros de modulación de acuerdo con los 7 modos escogidos del estándar DTMB para un ancho de banda del canal de RF de 6 MHz.
5. Utilizar un splitter para enviar señales tanto al STB como al Analizador de TV S7000 Deviser.
6. Alimentar la entrada de los dispositivos con la señal de DTMB RF, cuya intensidad se ajustará al nivel moderado (-53 dBm) según se especifica en la recomendación de la UIT-R BT.2035-2 haciendo uso de atenuador.
7. Colocar las sondas o puntas de prueba del osciloscopio en los pines identificados como útiles para la medición en el prototipo de prueba diseñado.

2.2.-OBTENCIÓN DE LA REPRESENTACIÓN DE LA TRAMA SEÑAL DE TS PARA MODOS DTMB

La validación de la propuesta de STB diseñada está en función de la representación correcta de la recepción de la señal DTMB para los diferentes modos de trabajo. A partir de la representación y lectura en el osciloscopio de algunas señales etiquetadas como necesarias, se pueden corroborar numéricamente los valores asociados al tiempo de bit, tramas TS por Trama Día, así como el análisis y la modelación matemática de los trenes de TS para modos DTMB. A partir de la definición del formato de entrega de señal por parte del demodulador, serie o paralelo (caso bajo análisis) se determina la duración del tiempo de 1 Byte. Luego se ha de lograr la correcta sincronización de los flujos TSs arribados por RF, para finalmente medir a la salida del dispositivo de demodulación integrado, las características temporales de los trenes de datos que portan la información audiovisual y corroborar las razones y esquemas de modulación implementados en cada caso. La Figura 5 muestra un esquemático de los pasos a seguir para la validación del método.

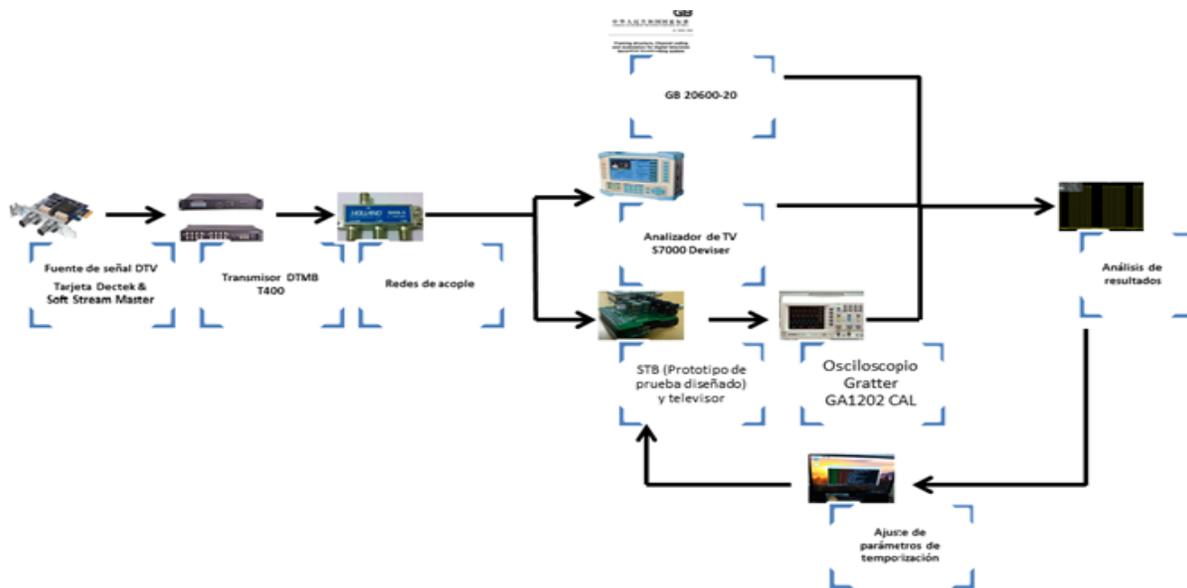


Figura 5
Representación esquemática del procedimiento de obtención de la representación de la trama TS.

2.3.-CARACTERÍSTICAS DE TEMPORIZACIÓN DE LA SEÑAL TS.

Las características de temporización de la señal TS se establecen por el dispositivo AVL6381 [20] que no tiene requisitos de secuenciación de alimentación y solo requiere que todas las fuentes de alimentación mantengan el voltaje operativo. Después de que las fuentes de alimentación alcancen su rango de voltaje operativo, se ajusta el reloj a una frecuencia estable que depende de la fuente del reloj del cliente y del tiempo que tarde la fuente en establecerse después de aplicar la alimentación [20].

2.3.1.-SECUENCIA DE TEMPORIZACIÓN DEL TS DE SALIDA.

La Figura 6 representa algunas de las señales que permiten la demultiplexación de la señal de televisión en el demodulador AVL6381. El bus TS está formado por un grupo de señales (MPEG_DATA_{7:0}, MPEG_CLK, MPEG_VALID, MPEG_SYNC, MPEG_ERROR) que son enviadas al decodificador MPEG y/o al microcontrolador. La señal (MPEG_DATA_{7:0}) contiene el tren de datos con tamaño fijo de 188 bytes que arriban desde el TS y que ha de ser decodificado por el dispositivo bajo prueba. La señal MPEG_VALID estará activa siempre y cuando exista un nuevo paquete TS y su duración será el equivalente a 188 bytes. La señal MPEG_SYNC está en alto únicamente durante el byte de sincronismo y es necesaria para determinar el inicio de cada TS. La señal de reloj MPEG_CLK marca la duración de cada bit.

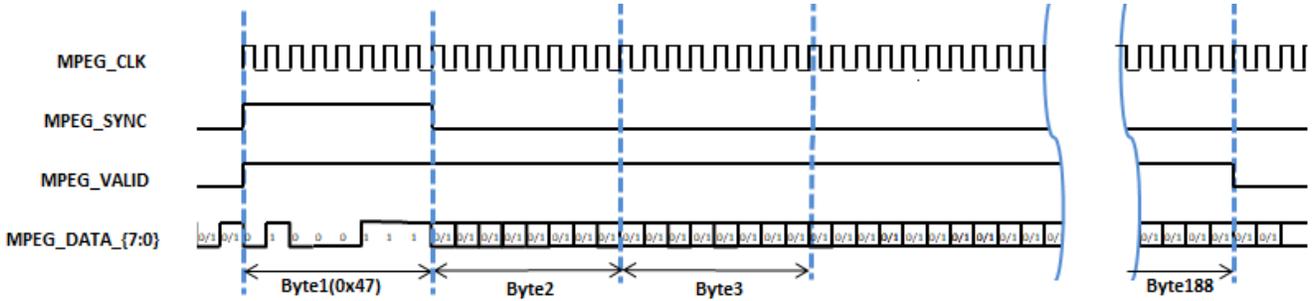


Figura 6
 Representación de las señales MPEG_DATA_{7:0}, MPEG_CLK, MPEG_VALID y MPEG_SYNC.

La interfaz de salida TS transmite los datos en dos modos: modo serie y modo paralelo. En el modo serie, el orden de bits puede ser LSB-MSB o MSB-LSB. El MPEG_SYNC estará activo (alto) al indicar la cabecera de los paquetes TS, y solo dura un ciclo. MPEG_VALID estará activo (alto) cuando los datos de TS de salida sean válidos. Los datos de salida son datos de paquete TS de 188 bytes. El módulo demultiplexor puede realizar el filtrado de secciones, el filtrado de las unidades elementales de programa (ES, *Elementary Stream*) y el filtrado de los paquetes ES (PES, *Packet Elementary Stream*), o generar paquetes TS directamente.

La interfaz de entrada de TSs de trabajo (MPEG_IN) admite 4 modos de transmisión de entradas TS: (i)- Modo Paralelo Sync/Valid, (ii)- Modo Serie Sync/Valid, (iii)- Modo serie Sync/Burst y (iv)- Modo paralelo Sync/Burst. En el modo (i), la interfaz TS_IN utiliza MPEG_SYNC y MPEG_VALID sincronizados con la señal MPEG_CLK para muestrear los datos del paquete TS paralelo de entrada. MPEG_SYNC debe estar activo (alto) junto con MPEG_VALID cuando indica el primer byte válido de un paquete TS, y MPEG_VALID indica los 188 Bytes válidos de un paquete TS. En el modo (ii), la interfaz TS_IN usa MPEG_SYNC y MPEG_VALID sincronizados con la señal MPEG_CLK para muestrear los datos del paquete TS en entrada serie. MPEG_SYNC debe estar activo (alto) junto con MPEG_VALID al indicar el primer bit válido de un paquete TS, y MPEG_VALID indica los 188x8 bits válidos de un paquete TS. MPEG_TS admite el ordenamiento de bits tanto MSB-LSB como LSB-MSB. En el modo (iii), MPEG_TS solo usa MPEG_SYNC para muestrear datos de paquetes TS series de entrada. Cuando está activo en nivel alto, MPEG_SYNC implica el primer byte válido de un paquete TS y los 187 Bytes válidos restantes de un paquete TS están próximos dentro de los siguientes 187 ciclos de reloj sucesivos. Por último en el modo (iv), MPEG_TS solo usa MPEG_VALID para muestrear datos de paquetes TS paralelos de entrada. Cuando está activo (alto), MPEG_VALID implica un byte válido de un paquete TS. En la propuesta se utiliza el modo (iv) que permite la transmisión en paralelo de los datos y opera con menos señales de control de temporización. Con esta elección se hace necesario recrear la señal MPEG_CLK por software.

2.3.2.-TEMPORIZACIÓN MPEG

Los parámetros de las señales MPEG_DATA_{7:0}, MPEG_VALID, MPEG_SYNC se han de mantener estables antes y después del borde de caída de MPEG_CLK durante t_{CKSU} y t_{CKH} respectivamente durante 47 ns como mínimo, Figura 7. Se debe destacar que t_{CKSU} y t_{CKH} deben ser medidos con respecto a la transición de la señal MPEG_CLK (1.5 Volt), con una carga capacitiva de 12 pF. Los parámetros t_{CKPER} asociados a los Tiempos de Modo Paralelo o Serie de Borde a Borde (*Parallel or Serial Mode Edge to Edge Time*) de la señal MPEG_CLK presentan 94 ns. Para el caso de los modos seriales el valor mínimo de t_{CKSU} es de 5.9 ns y t_{CKH} tiene como valor mínimo 11.8 ns.

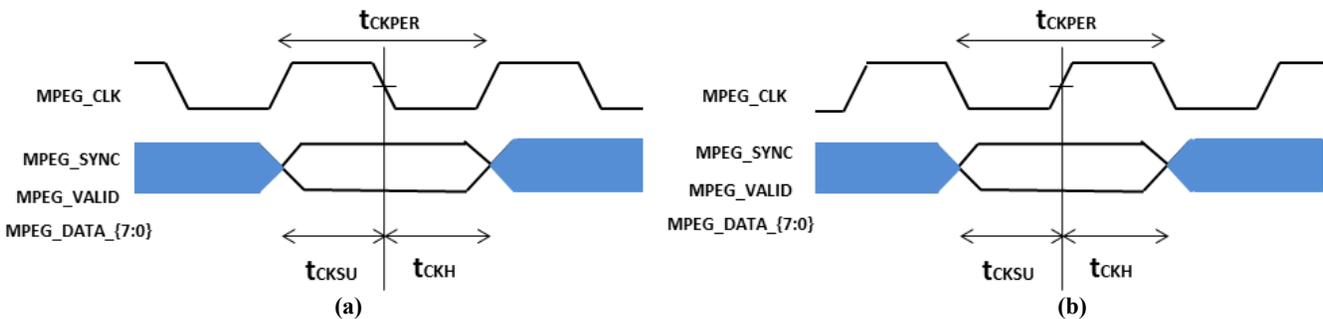


Figura 7
 Representación esquemática de la temporización MPEG en paralelo con el borde de caída de reloj (a) con el borde de subida de reloj (b). Tomado de [20]

2.3.3.-TEMPORIZACIÓN DEL BUS I2C

La señal de reloj del bus I2C, f_{CLK} , tiene una frecuencia máxima de 400 kHz y representa la frecuencia de reloj HOST_SCL, Figura 8 [20]. El tiempo del bus libre o desocupado entre condiciones de inicio y fin (START y STOP) es simbolizado por t_{BUF} y tiene un tope mínimo de 1300 ns. La condición de inicio del tiempo de retención simbolizada por $t_{HD:STA}$ tiene un mínimo de 1300 ns. Los períodos de reloj HOST_SCL de nivel alto (HIGH) o nivel bajo (LOW) son denotados como t_{HIGH} y t_{LOW} y tienen cotas de 600 y 1300 ns respectivamente. La condición de tiempo de Set-up para repetir la condición de inicio $t_{SU:STA}$ tiene como umbral mínimo 600 ns. Por su parte $t_{HD:DAT}$ y $t_{SU:DAT}$ muestran el tiempo de retención de datos. El tiempo de subida, así como el tiempo de bajada de las señales HOST_SCL y HOST_SDA representadas por t_R y t_F dependen del valor de la capacitancia total (C_b) en pF de la línea de datos, el tiempo de subida o bajada depende a su vez también de los resistores externos *pull-up* y la capacitancia del bus.

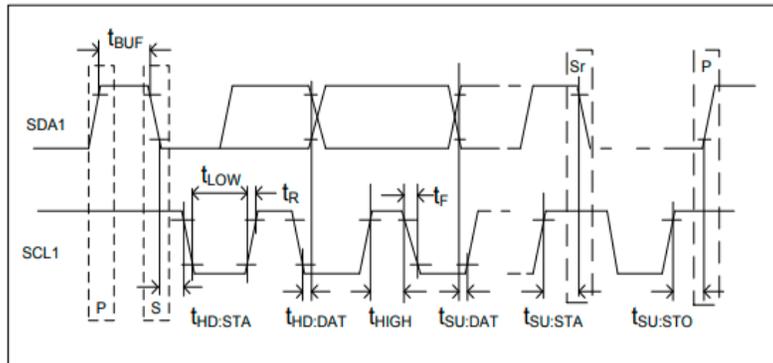


Figura 8
Temporización del bus I2C. Tomado de [20]

2.4.-MEDICIONES REALIZADAS

La evaluación de la duración y el tiempo de subida de los pulsos de las señales es imprescindible para verificar la factibilidad de la propuesta. La decodificación por software de las señales entregadas por el demodulador precisa implementar soluciones de programación que permitan interpretar de manera adecuada las señales entregadas. Como se implementa una solución análoga al modo (iv) descrita en 2.3.1 se reducen las interrupciones a manejar al descartar señales de control. Para decodificar las señales MPEG_DATA_{7:0} se implementan por software las señales MPEG_SYNC para muestrear datos de paquetes TS paralelos y la señal MPEG_CLK (idéntica a la MPEG_CLK del AVL) para el sincronismo a nivel de bit.

Para la comprobación de la factibilidad de las soluciones implementadas por software se realizaron los experimentos siguientes:

- Demultiplexación de TS para los modos de trabajo DTMB; se torna necesario realizar mediciones para corroborar el desempeño de la propuesta de STB para los modos establecidos, así como el análisis y la representación de los parámetros de trasmisión.
- Detección correcta del bit de sincronismo; se analizaron algunos parámetros de comportamiento de MPEG-2 TS y se midió experimentalmente el tiempo de bit imprescindible para el procesamiento de la información.
- Medición del Tiempo de la trama TS; se computan los tiempos para el procesamiento y *buffering* de la información.

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 MODOS DE TRABAJO DTMB, PARÁMETROS DE TRANSMISIÓN.

Los principales modos de trabajo de DTMB de acuerdo con la ESAC se muestran en la Tabla 2, se indican además los parámetros C/FEC/PN/QAM correspondientes a cada modo; el modo 7 ha sido excluido del estudio. Nótese que de acuerdo con (1) las razones varían entre 7.220 Mbps y 19.492 Mbps. Del mismo modo que la razón binaria, la cantidad de tramas arribadas depende del modo de trabajo.

Tabla 2
Modos Principales DTMB

Modo	Número de Portadoras	FEC	Modulación	Encabezado de la trama	Intercalado de datos en el Tiempo	Throughput (Mbps)	Número de Tramas/s a procesar
1	3780	0.4	16QAM	PN945	720	7.220	335
2	1	0.8	4QAM	PN595	720	7.797	365
3	3780	0.6	16QAM	PN945	720	10.829	245
4	1	0.8	16QAM	PN595	720	15.593	265
5	3780	0.8	16QAM	PN420	720	16.244	215
6	3780	0.6	64QAM	PN420	720	18.274	220

Se realizaron mediciones para corroborar el desempeño de la propuesta para los modos establecidos. Se midieron a además las tasas de errores de modulación y de bit, MER (*Modulation Error Ratio*) y BER (*Bit error Rate*) respectivamente. En todos los casos hubo correspondencia con los parámetros descritos en la Tabla 2 y las constelaciones correspondientes a cada modo. Los valores de errores de modulación y de bit fueron satisfactorios en todos los casos: MER > 27.6 dB y BER < 10⁻⁵ para todos los modos. Los resultados se muestran en la Figura 9. El dispositivo bajo prueba devuelve un conjunto de valores que son entregados directamente por el MXL608 y el AVL6381; se enuncian como SNR (*Signal to Noise Ratio*) SSI (*Signal Strength Indication*), SQI (*Signal Quality Indication*) y PER (*Packet Error Rate*). En la interfaz de diálogo de cara al usuario consumidor, no se muestran dichos valores pero se utilizan para mostrar los indicadores de calidad e intensidad de la señal. Estos valores (MER, BER, SNR, SSI, SQI y PER) en su totalidad se han tomado como referencia para realizar el ajuste de curva del dispositivo bajo prueba.

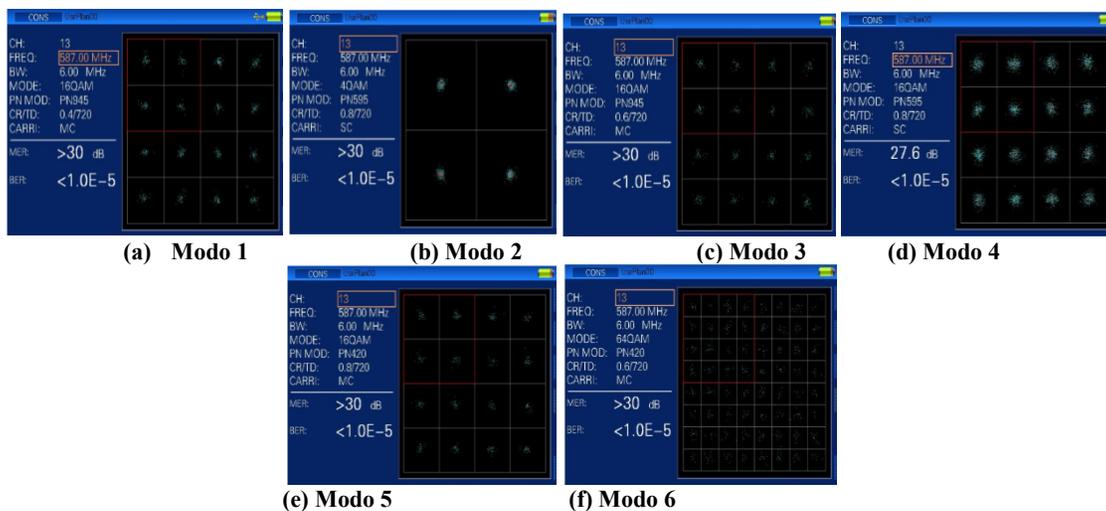


Figura 9

Representación de modos principales DTMB para los parámetros C/FEC/PN/QAM.

3.2.-ANÁLISIS DE PARÁMETROS MPEG-2 TS

Conforme a lo que estipula el estándar ETSI 101290 [21] se chequearon los parámetros de comportamiento de MPEG-2 TS que resultan prioritarios: pérdida de sincronización con consideración de parámetros de histeresis (TS_sync_loss), ausencia de bit de sincronía 0x47 (Sync_byte_error), aparición cada al menos 0.5s del PID (*Program Identifier*) 0x0000 con la información de la tabla de acceso a programa (PAT, *Program Access Table*) (PAT_error), orden incorrecto en los paquetes recibidos (Continuity_count_error) y aparición cada al menos 0.5s de secciones con el indicador de table_id = 0x02 con la información de las tablas de mapa de programas (PMT, *Program Map Table*) (PMT_error). El principal análisis estuvo dirigido a la correcta detección del byte de sincronismo.

La garantía de la existencia del sincronismo para el caso de los TS depende del número de bytes de sincronismo correctos para que el dispositivo de prueba se sincronice. En [17] se establece en la cláusula G.1 que son necesarios cinco bytes de

sincronismo continuos correctos y dos o más bytes para indicar la pérdida del sincronismo. La comprobación de la anterior aseveración en el dispositivo bajo prueba se logra (i) con la inspección visual o (ii) accediendo directamente a la información que devuelve el NIM. Mediante la inspección visual se comprueba la presencia/ausencia de la señal de video irradiada de manera ininterrumpida, ante la pérdida se sincronismo aparece en la pantalla superior derecha el siguiente mensaje: “Tvheadend HTTPS Client Sin adaptador libre disponible” y además, el desarrollador puede acceder mediante un *script* que devuelve la lectura del byte 1(0x47) de la información de la señal MPEG_DATA_{7:0} leída en el instante que la señal MPEG_SYNC está en alto. En la Figura 10, el sincronismo se muestra por la salida MPEG_SYNC puesta en alto (trazo superior) al inicio de cada trama TS por 117.648ns con lo que corresponde a la duración del primer byte de los 188 mostrados por la salida MPEG_VALID (trazo inferior). Para el modo 6, se observa que para nueve pulsos de MPEG_SYNC (presencia de nueve bytes 0x47 en la señal MPEG_DATA_{7:0} no representada en la Figura 10) la señal MPEG_VALID está activa en cada nuevo paquete TS y su duración es el equivalente a 188 bytes. Solo después de sincronizado el dispositivo de prueba en recepción se pueden comenzar a chequear los parámetros Sync_byte_error, PAT_error, Continuity_count_error y PMT_error.



Figura 10

Representación de las señales MPEG_SYNC y MPEG_VALID para el modo de trabajo 6 de DTMB

Por medio del byte de sincronización, el decodificador de prueba se sincroniza con la estructura de datos. Al acceder a un flujo de transporte, el receptor puede buscar dos bytes coincidentes, cada uno con el valor del byte de sincronización, a una distancia igual al tamaño de un paquete de transporte. El valor del byte de sincronización (0x47) no es único en el flujo de transporte, otros bytes en el TS puede tener el mismo valor. Si en una ventana de tamaño igual al doble del tamaño de un paquete ($2 \times 22.12 \mu s$) existen un par de bytes de valor 0x47 coincidentes separados a una distancia del tamaño de un TS ($22.12 \mu s$), estos bytes son los de sincronización y cada uno indica el inicio de un TS. En la Figura 11 se muestran los resultados de las pruebas realizadas. En (a) el decodificador no encuentra de manera correcta el byte de sincronismo y en (b) se encuentran correctamente los dos bytes contiguos de sincronización de modo correcto. Los resultados mostrados en dicha figura fueron obtenidos tras la lectura cada $22.12 \mu s$ de la señal MPEG_DATA_{7:0}. En el caso de (a) inciden varios factores para la pérdida del sincronismo y la no visualización de la señal de audio y video en pantalla: (i) se experimenta un retardo “acumulativo” de la señal MPEG_CLK recreada en el dispositivo bajo prueba y (ii) pudo haber leído de manera errónea en instantes donde no hay presencia de TSs (intervalos de en los que la señal MPEG_VALID está en bajo). En (b) se registran todos los primeros bytes de sincronismo de la señal MPEG_DATA_{7:0} tras una adecuada representación de la señal MPEG_CLK implementada por software y la lectura de la información siempre y cuando la señal MPEG_VALID este en alto. Estas imágenes se han incluido para mostrar de manera ilustrativa que el no respetar lo enunciado por la secuencia de temporización del TS de salida enunciado por [20] o ante la existencia de pérdidas en el byte de sincronismo (por el motivo que fuere) se traduce en la pérdida de la señal a decodificar.



(a)

(b)

Figura 11

Representación del incorrecto (a) y correcto (b) sincronismo a nivel de TS

3.3 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE LA TRAMA TS.

La cantidad de paquetes de TS por trama de señal queda definida por el modo de operación que se muestra en la Tabla 2. La duración de un TS (T_{TS}) se define por la cantidad de bytes que conforman el TS ($N_{Byte/TS}$) 188 bytes en DTMB según:

$$T_{TS} = T_{bit} \times No_{Byte/TS} \quad (2)$$

Lo anterior se corresponde con la duración de bit, T_{bit} , medida experimentalmente que es de 117.648 ns. Para este caso el T_{TS} toma un valor de 22.12 μ s en banda base, Figura 12. La elección de la representación en la Figura 12 del Modo 1 particularmente no tiene ninguna significación, entiéndase que se constata que para los 6 modos bajo análisis el T_{TS} no difiere, solo se experimentan variaciones para los tiempos entre TSs contiguos o entre ráfagas de TSs para modos diferentes. Nótese que en los dispositivos paralelos se procesa 1 byte de información cada 117.648 ns siempre que la señal MPEG_VALID esté en alto, un estado lógico que coincide con la presencia de los 188 Bytes de TS.

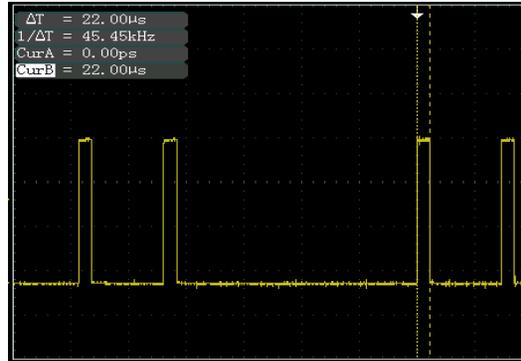


Figura 12
 Medición de la duración de un TS para (a) Modo 1 y (b) Modo 3.

Al representar las tramas de TSs para cada uno de los modos de trabajo DTMB la cantidad de TSs que conforman la trama de señal, $No_{TS/Trama_señal_modoDTMB}$, varía de un modo a otro, según:

$$No_{TS/Trama_señal_modoDTMB} = \begin{cases} 4 & \text{para el Modo 1} \\ 4 & \text{para el Modo 2} \\ 6 & \text{para el Modo 3} \\ 6 & \text{para el Modo 4} \\ 8 & \text{para el Modo 5} \\ 9 & \text{para el Modo 6} \end{cases} \quad (3)$$

De acuerdo al estándar GB20600 [10], la duración de una trama de señal varía de un modo a otro en función del esquema de modulación y la razón de codificación. La separación entre TSs contiguos de una misma ráfaga se mantiene constante para cada modo de trabajo. Sin embargo, la separación entre paquetes TSs sí puede variar de un modo de trabajo DTMB a otro para lograr la razón de transmisión fijada por cada modo. El valor de la duración de una Trama de Datos (T_{Trama_Datos}) obtenido mediante:

$$T_{Trama_Datos} = No_{TS/Trama_señal_modoDTMB} \times T_{TS} + T_{entre\ TSs_contiguos} \times (No_{TS/Trama_señal_modoDTMB} - 1) + T_{TS_válid} \quad (4)$$

tiene que correlacionarse con los tiempos que plantea el estándar DTMB para las diferentes secuencias PN utilizadas por los diferentes modos: 740.8 μ s para PN420, 771.6 μ s para PN595 y 833.334 para PN945 μ s solo para los modos simétricos. La representación gráfica de la medición de este parámetro se muestra en la Figura 13.

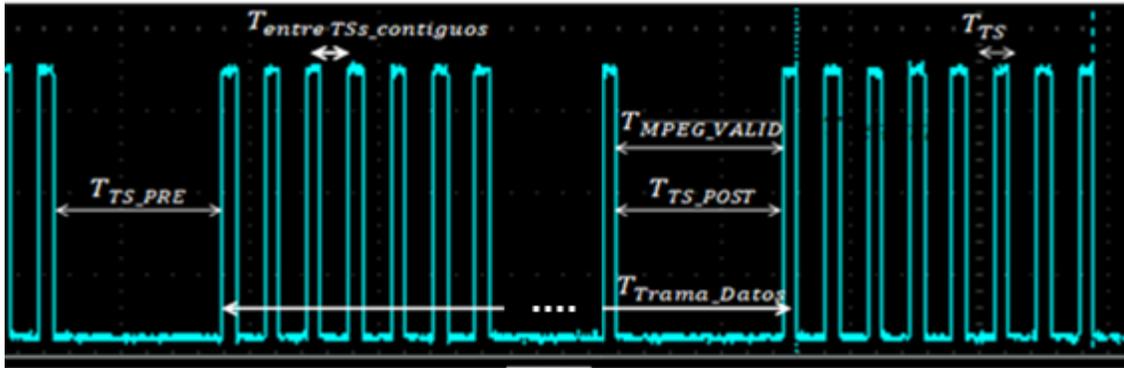


Figura 13
 Representación de los parámetros de temporización genéricos para los modos DTMB.

De acuerdo al estándar GB20600 [10], la estructura de las tramas es jerárquica y se reconocen cuatro niveles de dicha estructura. La tasa de símbolos en banda base del encabezado y cuerpo de la trama es 5.67Msps en un canal de 6Mhz. En el nivel superior de la trama TDS-OFDM se encuentra la Trama Día con una duración de 24h y compuesta por 1440 Tramas Minuto o Hiper Trama. Estas últimas a su vez están constituidas por 360 Súper Tramas de 166.667 ms cada una. Cada Súper Trama porta Tramas de Señal de uno de los 3 posibles tamaños diferentes en función del tamaño de la cabecera PN (T_{PN}) y la cantidad de las mismas (N_{Trama_senal}) queda definida por el modo. La duración de una Trama de Datos (T_{Trama_Datos}) está compuesto por el tiempo del Cuerpo de la Trama ($T_{Cuerpo\ de\ Trama}$) y el tiempo asociado al encabezado PN. Hay 36 símbolos de información de sistema (modulados BPSK) y 3744 símbolos (modulados OFMD) de datos en un cuerpo de trama.

Las mediciones experimentales realizadas muestran que no todos los modos tienen simetría en cuanto a la duración temporal entre tramas, expresada mediante la relación entre los parámetros T_{TS_PRE} (intervalo entre ráfagas de TSs corto) y T_{TS_POST} (intervalo entre ráfagas de TSs largo). Los modos 2, 5 y 6 resultan simétricos ya que $T_{TS_PRE} = T_{TS_POST}$. Los modos restantes 1, 3, 4 y 7 no son simétricos pues no cumplen la condición anterior. Las mediciones realizadas están representadas gráficamente desde la Figura 14 hasta la Figura 16. Los resultados experimentales están indicados en la Tabla 3. Las mediciones se realizaron a la señal demodulada por el AVL y para establecer la analogía con los modos de trabajo DTMB en las figuras se han indicado los respectivos PN y tiempos de trama de señal asociados.

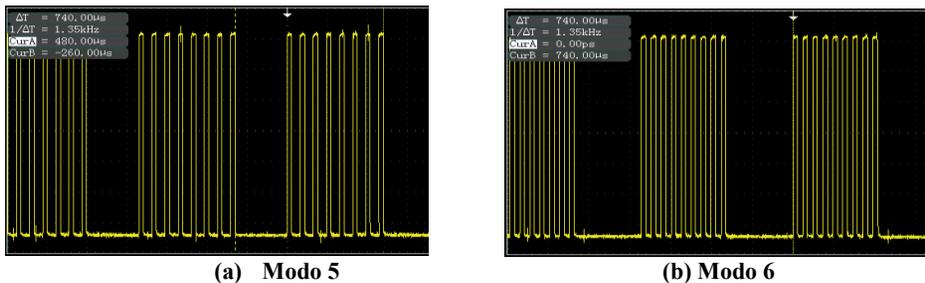


Figura 14
 Modos que tienen PN420 y Trama de Señal 740us.

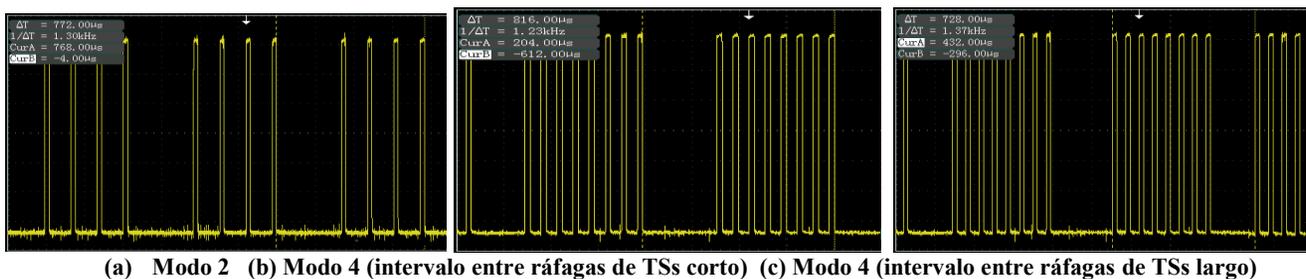


Figura 155
 Modos que tienen PNS75 y Trama de Señal de 771us.

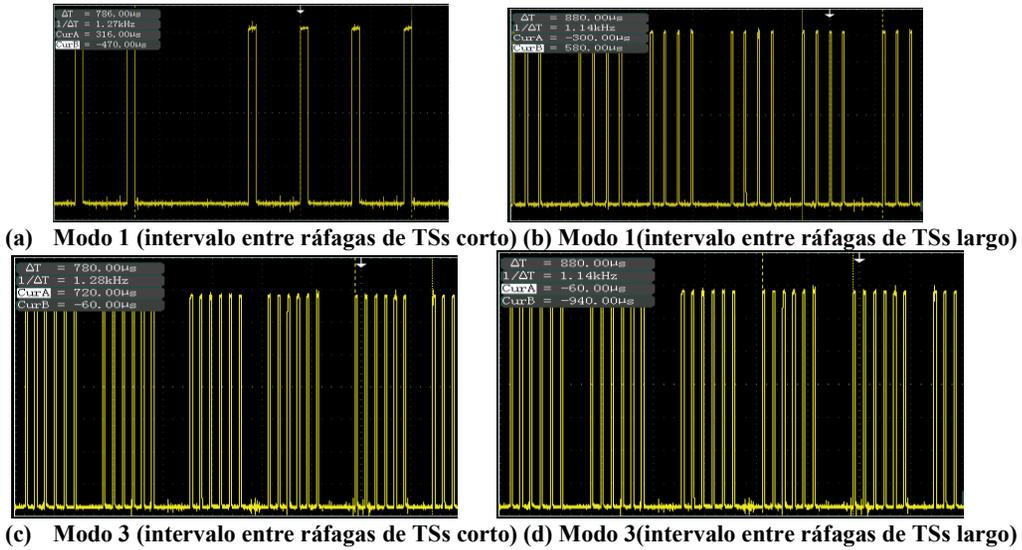


Figura 166
 Modos que tienen PN945 y Trama de Señal de 833us.

Los resultados experimentales permitieron constatar el cumplimiento de lo enunciado en [(3)]. Para los modos 1 y 2 existen 4 $TS/Trama_señal_modoDTMB$, en el modo 3 existen 6 $TS/Trama_señal_modoDTMB$, en los modos 4 y 5 existen 8 $TS/Trama_señal_modoDTMB$, en el modo 6 existen 9 $TS/Trama_señal_modoDTMB$ y en el modo 7 existen indistintamente 8 o 12 $TS/Trama_señal_modoDTMB$.

Tabla 3
 Resultados de la medición de los tiempos asociados a los TSs para los modos evaluados

Modo	T_{TS_PRE} (μs)	$T_{entre\ TSs_contiguos}$ (μs)	T_{TS_POST} (μs)	T_{TSs} (μs)
1	420 ± 2	125.5 ± 0.5	320 ± 2	464 ± 2
2	345 ± 3	116 ± 2	345 ± 3	426 ± 3
3	369 ± 2	77.5 ± 0.5	272 ± 2	510 ± 2
4	229 ± 1	49 ± 1	318 ± 2	500 ± 2
5	261 ± 2	43 ± 1	261 ± 2	480 ± 2
6	327 ± 0.5	26.4 ± 0.1	327 ± 0.5	412
7	284 ± 4	36 ± 4	238 ± 2	624/404

4.- CONCLUSIONES

La elección de los dispositivos full NIM basado en los dispositivos MXL608 y AVL6762 para la realización del receptor de DTMB es una solución que cumple con los requisitos básicos evaluados de acuerdo a lo establecido por las normas vigentes a la vez que ofrece ventajas en cuanto a desempeño y precio.

La propuesta de utilizar el modo paralelo Sync/Burst prescindiendo de señales de control de temporización disponibles en las salidas del AVL, hace necesario recrearlas por software para obtener la decodificación correcta de los flujos de datos.

La medición de las características de temporización de las señales de flujo de datos, TS, y de control, I2C, son esenciales para la definición de los procedimientos de procesamiento y control del dispositivo. A partir de los valores experimentales obtenidos se pueden establecer claramente los requisitos del software que se diseñe para realizar las funciones necesarias en tiempo real.

El procedimiento diseñado para la evaluación de los principales modos de trabajo de DTMB de la solución propuesta responde a las exigencias establecidas por los organismos rectores en el país. Los valores de errores de modulación y de bit fueron satisfactorios en todos los casos: MER > 27.5 dB y BER < 10^{-5} para todos los modos bajos análisis. Las mediciones experimentales realizadas muestran que no todos los modos tienen simetría en cuanto a la duración temporal entre tramas

Las pruebas realizadas al diseño, que abarcan los modos principales de operación de un equipo receptor de DTMB, arrojaron resultados positivos que validan la factibilidad de la solución propuesta para receptor de DTMB.

Se analizaron, en laboratorio equipado con dispositivos especializados, los diferentes modos DTMB y sus características, a partir del desarrollo de las pruebas paramétricas establecidas por las entidades de certificación técnica de dispositivos STB en el país. Se corroboró que la propuesta de STB diseñada en la UCLV demodula adecuadamente la señal de RF en los 6 modos principales del estándar GB 20600-2006.

AGRADECIMIENTOS

“La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales bajo el código PN223LH006-005”.

Se confiere un agradecimiento especial al grupo de colegas de la EIE, de la ESAC, de LACETEL y de la OSDE de la incubadora de proyectos que han trabajado en paralelo para obtener como resultado un prototipo de STB.

Se han listado únicamente como autores los que han trabajado directamente en esta tarea técnica concreta, pero el resultado obtenido está en función del trabajo arduo conjunto de los restantes integrantes del equipo de desarrollo: Roberto Vicente (rvicenter@uclv.cu), Carlos Morell (cmorellp@uclv.edu.cu), Alberto. Bazán Guillén (abguillen@uclv.cu), Juan Pablo Barrios (barrios@uclv.edu.cu) y Yanet Rodríguez Sarabia (yrsarabia@uclv.edu.cu).

REFERENCIAS

1. Miranda M, Casas S, Marcos C. Análisis de Desarrollo de Software Orientado a Feature - Línea de Producto de Software para Aplicaciones de TVDI. Inf Científicos Téc - UNPA. 2015;7(2):167-95.
2. Informe Preliminar: Estado del Arte de Receptores Set-Top-Box Aplicaciones - PDF Descargar libre [Internet]. [citado 4 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/2787627-Informe-preliminar-estado-del-arte-de-receptores-set-top-box-aplicaciones.html>
3. READING 4/27/2016 NWFL. Evolution Digital Charts Success of Hybrid STB [Internet]. Light Reading. [citado 4 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.lightreading.com/cable/set-top-boxes/evolution-digital-charts-success-of-hybrid-stb/d/id/722966>
4. laura. The Android STB: A logical step in the evolution of TV [Internet]. Beenius. 2013 [citado 4 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.beenius.tv/news/the-android-stb-a-logical-step-in-the-evolution-of-tv>
5. Custom STB Design (Software and Firmware) [Internet]. [citado 4 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://promwad.com/industries/video-streaming/stb-software>
6. Testing Hercules OTT Realtek RTD1395 4K Android STB Development Board - CNX Software [Internet]. [citado 4 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.cnx-software.com/2020/08/27/hercules-ott-realtek-rtd1395-4k-android-stb-development-board/>
7. Hilarion. HD SET-TOP BOX (STB) Mercado 2022 Aspectos Clave de la Industria por Segmentos a 2031 [Internet]. Yo Amo el Fútbol. 2022 [citado 4 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.yoamoelfutbol.center/global-hd-set-top-box-stb-mercado-limitaciones/>
8. David. 4K Set Top Box (STB) Mercado Tendencia [PDF] Panorama competitivo y pronósticos para 2031 [Internet]. ChilangoTimes. 2022 [citado 4 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://chilangotimes.com/global-4k-set-top-box-stb-mercado-industria/>
9. Especificaciones técnicas y de operación que tienen que cumplir los receptores empleados para la televisión digital terrestre en Cuba. Resolución No.79/2018 abr, 2018.
10. GB 20600-2006_English: PDF (GB20600-2006) [Internet]. [citado 4 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/GB20600-2006>
11. Si2151 Worldwide Digital and Analog TV Tuner [Internet]. Disponible en: Si2151 Worldwide Digital and Analog TV Tuner (skyworksinc.com)
12. MT9100 MediaTek [Internet]. 2020. Disponible en: <https://muygs2x2vhb2pjk6g160f1s8-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2020/11/MT9100.pdf>

13. Philips Semiconductors. NXP_Semiconductors-TDA8274AHN_C1,551-datasheet. 2003.
14. Rafael Microelectronics launches full band hybrid silicon tuners [Internet]. 2010. Disponible en: <https://www.digitimes.com/news/a20100715PR200.html&chid=9>
15. STB Selection Guid. Tuner Products DVBS/DVBS2/ABSS/ MMDS [Internet]. Disponible en: STB Selection Guid. Tuner Products DVBS/DVBS2/ABSS/ MMDS - PDF Free Download (docplayer.net)
16. TV Tuners. Si21xx hybrid TV tuners and digital set-top box (STB) tuners support global terrestrial and cable TV standards with ultra-high linearity and low noise. [Internet]. Disponible en: <https://www.skyworksinc.com/en/Products/TV-and-Video-TV-Tuners>
17. Information technology — Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems. ISO/IEC 13818-1:2000(2000).
18. Bylanski P, Ingram DG. Digital Transmission Systems. Inst of Engineering & Technology; Revised edición (1 Junio 1980);
19. Transport Stream - an overview | ScienceDirect Topics [Internet]. [citado 4 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/transport-stream>
20. Availink Inc. Proprietary and Confidential. AVL6381 Datasheet. 2014.
21. Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems [Internet]. ETSI TR 101 290 V1.3.1 2014. Disponible en: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/101200_101299/101290/01.03.01_60/tr_101290v010301p.pdf

CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno de los autores manifestó la existencia de posibles conflictos de intereses que debieran ser declarados en relación con este artículo.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

David Rodríguez Mollineda, Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Metodología, Software, Visualización y Redacción - revisión y edición.

Irina Siles Siles, Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Recursos, Software, Supervisión, Validación, Visualización, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición.

Miguel A. Mendoza Reyes, Conceptualización, Curación de datos, Análisis formal, Investigación, Metodología, Validación, Visualización, Redacción - revisión y edición.

Carlos A. Bazán Prieto, Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Recursos, Validación, Visualización, Redacción - revisión y edición.

Alain Martínez Laguardia, Conceptualización, Análisis formal, Investigación, Metodología, Recursos, Validación, Visualización, Redacción - revisión y edición.

AUTORES

David Rodríguez Mollineda, <https://orcid.org/0000-0001-9044-6724>. Graduado de Licenciatura en Ciencia de la Computación, UCLV, 2017, profesor del Departamento de Computación. Sus intereses de investigación se centran en Sistemas Operativos, IoT, Tecnologías Web. Email: darmollineda@uclv.cu

Irina Siles Siles, <https://orcid.org/0000-0002-9478-2597>. Graduada de Ingeniería en Telecomunicaciones y Electrónica en el 2007 en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas de Las Villas, Villa Clara, Cuba, perteneciente al claustro de profesores del Departamento de Telecomunicaciones, profesor auxiliar del colectivo de Radiocomunicaciones, Máster en Telemática (UCLV, 2016). Sus intereses de investigación se centran en: codificación de fuente y canal, asignación dinámica del espectro, televisión digital, nueva generación de redes de comunicaciones. Email: irinass@uclv.edu.cu

Miguel Arturo Mendoza Reyes, <https://orcid.org/0000-0003-2454-8700>. Ingeniero en Electrónica (UCLV, 1985) Máster en Electrónica (UCLV, 1998) y Doctor en Ciencias Técnicas (UCLV, 2006). Profesor Titular del departamento de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Villa Clara, Cuba, Investiga en temas relacionados con el procesamiento digital de señales y sus aplicaciones y en el desarrollo de redes de sensores inalámbricos basados en dispositivos de bajo costo y hardware/software de código abierto. Email: mmendoza@uclv.edu.cu

Carlos A. Bazán Prieto, <https://orcid.org/0000-0002-2810-9599>. Ingeniero Electrónico (UCLV, 1989) y Doctor en Ciencias Técnicas (UAH/UCLV, 2013). Profesor Titular del departamento de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Villa Clara, Cuba, donde investiga en temas relacionados con el diseño de sistemas embebidos, procesamiento digital de señales y redes de sensores. Actualmente trabaja en el tema de desarrollo de sistemas para leer el consumo de energía eléctrica utilizando procesadores de recursos restringidos, sensores de bajo costo y hardware/software de código abierto. Email: cabazan@uclv.edu.cu

Alain Sebastián Martínez Laguardia, <https://orcid.org/0000-0002-6873-126X>. Ingeniero en Automática (UCLV, 2001) y Doctor en Ciencias Técnicas (VUB/UCLV, 2015). Profesor Titular del departamento de Control Automático de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Villa Clara, Cuba, amguardia@uclv.edu.cu, donde investiga en temas relacionados con el diseño de sistemas embebidos y el desarrollo de vehículos autónomos, sus aplicaciones y técnicas de navegación. Actualmente trabaja en el tema de desarrollo de sistemas para medir la calidad del aire basados en sensores de bajo costo y hardware/software de código abierto. Email: amguardia@uclv.edu.cu



Esta revista se publica bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Sin Derivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)