

## Modelo de referencia de un modulador de la norma DTMB de Televisión Digital

**Reinier Díaz Hernández<sup>1</sup>, Ernesto Fontes Pupo<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>LACETEL, Instituto de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones. reinier@lacetel.cu

<sup>2</sup>LACETEL, Instituto de Investigación y Desarrollo de Telecomunicaciones. fontes@lacetel.cu

### RESUMEN

El presente trabajo describe el proceso de diseño y verificación de un modelo de sistema desarrollado en Simulink para un modulador conforme a la norma DTMB de Televisión Digital Terrestre. El diseño realizado permite leer un fichero .ts compatible con el estándar ISO/IEC 13818-1 y produce como salida un fichero de señales I, Q de la señal codificada y modulada para la norma DTMB. La funcionalidad de todo el modelado se comprueba pasando el fichero de salida a un Generador de Forma de Onda Arbitraria, que realiza la función de traslación de frecuencias y ajuste del nivel de señal para ser aplicada a instrumentos de laboratorios y un receptor comercial, con lo cual se comprueba prácticamente que el modelo implementado cumple con el estándar.

**PALABRAS CLAVES:** Modulador DTMB, modelación con Simulink, Televisión Digital Terrestre

### ABSTRACT

The present paper describes the process of design and practical verification of a system model in Simulink for a DTMB digital television modulator. This model took a transport stream file (.ts) according to ISO/IEC 13818-1 standard and generates the In-Phase and Quadrature samples of the signal encoded and modulated in DTMB. The resulted output file is downloaded onto an Arbitrary Waveform Generator which performs frequency up conversion and level adjustment of the signal in order to be tested against a commercial receiver and a DTMB signal analyzer.

## INTRODUCCIÓN

La introducción de la televisión digital permite un mayor aprovechamiento del ancho de banda de un canal de frecuencias anteriormente destinado a la televisión analógica. Esto se traduce en la posibilidad de transmitir en el mismo ancho de banda: señales de alta definición, varios programas simultáneos de definición estándar y/o la posibilidad de incluir otros tipos de informaciones y servicios de datos como la guía electrónica de programas, informaciones de texto e imágenes, entre otras formas de interactividad.

La cadena de generación de la señal de los sistemas de televisión digital comprende varios sub-sistemas. En la etapa inicial se realiza la codificación de la fuente, es decir, compresión de la señal de audio y video. Le sigue la multiplexación de los diferentes flujos de datos y el encapsulamiento en las tramas de transporte. Finalmente se realiza el proceso de codificación de canal y modulación con lo que se logra adaptar la señal al medio de transmisión [1].

Una de las normas empleadas en la transmisión de señales de televisión es la GB20600-2006, más conocida como DTMB por las siglas en inglés de “Digital Television Terrestrial Multimedia Broadcast”. Esta norma fue desarrollada en colaboración entre diferentes universidades y centros de investigación Chinos y es una de las normas internacionales reconocidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) [2]. Además de ser la norma obligatoria en la R.P.China, ha sido adoptada oficialmente por diferentes países entre los que se encuentra Cuba.

La norma DTMB sólo especifica los procesos de Codificación de Canal y Modulación introducidos anteriormente. Además regula que su interfaz de entrada debe cumplir con el estándar ISO/IEC 13818-1:1996 [3], es decir, que acepta un flujo de transporte MPEG2; y deja la libertad de seleccionar para el resto del sistema de televisión digital diferentes estándares, ya sea de compresión de audio, video, y los servicios de datos que puedan ser implementados [4].

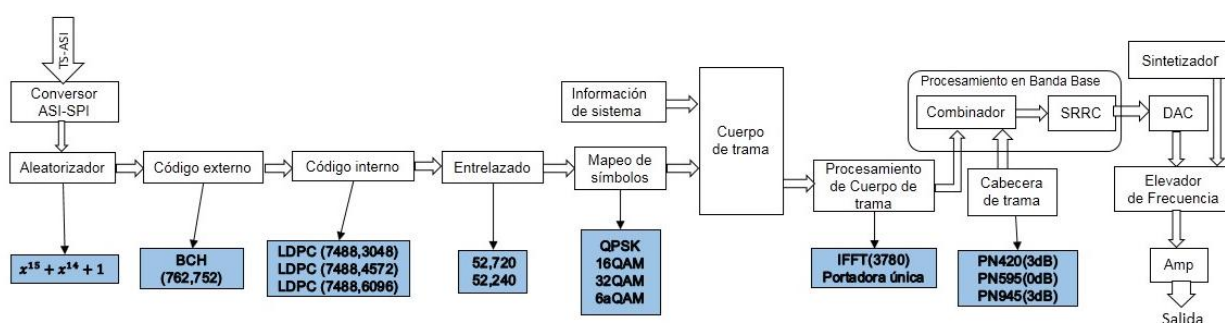
En el país existen diferentes centros de investigación y universidades que han trabajado en algunos de los módulos que integran un modulador DTMB [10][11][12]. En general, los trabajos consultados emplean una metodología de diseño ascendente (*bottom-up*), en la cual definen, con gran nivel de detalles, los bloques funcionales básicos para luego, mediante su interconexión, obtener estructuras cada vez más complejas. Esta metodología de diseño es útil para diseños medianamente pequeños y en etapas iniciales de la asimilación de una tecnología [16]. Sin embargo, para diseños mayores ésta metodología resulta poco práctica, debido a que el funcionamiento adecuado del producto final no está garantizado luego de unir decenas de componentes que fueron concebidos de forma independiente. Los trabajos consultados fueron realizados por diferentes autores, en momentos diferentes y con poca o ninguna coordinación entre ellos para definir interfaces comunes que faciliten la interconexión directa de un bloque con el siguiente, por lo que de forma general sus interfaces no son compatibles entre sí.

En el marco de esta situación, surge la necesidad del presente trabajo en el cual se propone la primera etapa de un diseño descendente para un modulador de la norma DTMB. Se trata de definir un sistema modulador totalmente funcional que pueda ser validado objetivamente, no solo a nivel de simulación, sino mediante el empleo de equipos de laboratorio y la reproducción de la señal generada por receptores comerciales. El objetivo fundamental en esta etapa es diseñar un modelo con el mayor nivel de abstracción posible garantizando la funcionalidad deseada sin atarse inicialmente a ninguna

tecnología de implementación específica. De esta forma se puede contar con un sistema validado que cumple con los requerimientos de la norma y puede servir de referencia para la implementación más detallada de cada uno de los bloques funcionales necesarios por separado, permitiendo evaluar e integrar los diferentes diseños previos consultados o incluso realizar modificaciones para evaluar diferentes arquitecturas y tecnologías de implementación.

#### a) Esquema general de un modulador de la norma DTMB

Como se muestra en la figura 1, en el esquema de un modulador DTMB, existen varios bloques que tienen dos o más configuraciones. Al combinarse las distintas opciones se obtiene un total de 330 modos de trabajo que pueden ser seleccionados por el operador en función de la razón de transferencia y la robustez del esquema de modulación que se necesite en cada aplicación.



**Figura 1. Esquema general de un Modulador de la norma DTMB**

#### b) Objetivos

El objetivo del presente trabajo es la obtención de un modelo de referencia para un modulador DTMB, que permita esclarecer todos los detalles específicos de la norma, antes de evaluar diferentes arquitecturas y herramientas de implementación en dispositivos programables FPGA. El sistema propuesto consiste en un modelo desarrollado en Simulink/MATLAB. El mismo recibe como entrada un fichero .ts compatible con el estándar MPEG2-Parte1 y genera a su salida un fichero con las muestras, en cuadratura de fase, de la señal codificada y modulada para la norma DTMB.

Se propone además, un esquema de validación de la funcionalidad del modelo basado en la utilización de un Generador de Forma de Onda Arbitraria para generar una señal de radiofrecuencia partiendo del fichero de salida del modelo diseñado. Esta señal generada se aplica a instrumentos de laboratorios y un receptor comercial. De esta forma se logra comprobar de forma objetiva y precisa el cumplimiento de las especificaciones de la norma DTMB.

#### ESPECIFICACIONES DEL MODELADO

Como el objetivo del modelo a diseñar es que pueda ser empleado como referencia para una futura implementación en hardware reconfigurable, se decidió implementar sólo uno de los 330 modos de transmisión que permite la norma. Esto se justifica teniendo en cuenta que desde el punto de vista de complejidad del diseño no hay muchas diferencias entre los diferentes modos, ya que sólo varían los parámetros de cada uno de los bloques funcionales que lo conforman. No obstante la gran variedad de modos permitidos, para las pruebas de laboratorio, tanto para analizar el desempeño de la norma como de los equipos comerciales que la implementan, se han definido 7 modos típicos [5]. Por tales motivos se decidió escoger uno de estos modos de transmisión típicos, cuyos parámetros principales son:

- Código corrector de errores (FEC): 0.8. [BCH<sup>1</sup>(762,752) y LDPC<sup>2</sup>(7488,6096)]
- Mapeo: QPSK (Siglas en inglés de “Quadrature Phase Shift Keying”, también conocido como 4QAM)
- Entrelazado: (52, 720)
- Modulación: Monoportadora
- Encabezado: PN595

El esquema de transmisión seleccionado logra una tasa de transferencia máxima de: 7.796736 Mbps, siendo uno de los más robustos de la norma.

La principal ventaja que brinda para el modelado en Simulink es que resulta el modo que menos recursos de memoria y tiempo de procesamiento requiere para su simulación funcional en la PC. De esta manera permite obtener un fichero de salida correspondiente a algunos segundos de transmisión en un tiempo de simulación inferior a una hora de ejecución, lo cual ayudó considerablemente en el proceso de depuración y puesta a punto del diseño.

#### a) *Ficheros de entrada y salida*

Se emplearon dos ficheros de entrada, uno que solo contiene paquetes nulos, para facilitar la depuración de errores y la puesta a punto del modelo. El segundo fichero de pruebas contiene un video de definición estándar codificado en MPEG2 con una razón de bits variable de aproximadamente 6 Mbps.

Los resultados de la simulación se guardan en un fichero .mat de MATLAB el cual contiene una matriz de tres columnas. La primera de las columnas contiene los valores del tiempo en los intervalos de muestreo, la segunda contiene los valores de amplitud de la componente en fase (I) de la señal compleja en banda base y la tercera columna contiene la amplitud de la componente en cuadratura (Q). Todos los valores de las muestras se almacenan como valores de punto fijo de 16 bits.

<sup>1</sup> BCH (Bose, Chaudhuri and Hocquenghem): generalización de los códigos de Hamming para la corrección de errores múltiples. Descubiertos en 1959-1960, de forma independiente, por los investigadores cuyos nombres definen sus siglas.

<sup>2</sup> LDPC (Low-Density Parity-Check): código corrector de errores inventado por R. G. Gallager en 1963 (no implementable con la tecnología de la época) y redescubierto en 1996. Por su eficiencia de codificación es adoptado por numerosos estándares desarrollados en los últimos años.

Finalmente se implementó un script de MATLAB para cargar el fichero obtenido hacia un Generador de Funciones Arbitrarias, cuya salida puede modularse en la banda de UHF para ser captada directamente en los receptores comerciales modelo Haier HDMB-2000T.

## DESCRIPCIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN

La estructura básica del modelo diseñado (Fig. 2) sigue un patrón de bloques funcionales muy similar al esquema propuesto por la norma DTMB, donde la interfaz entre cada uno de los bloques se realiza pasando tramas o vectores.

El primer bloque del modelo de simulación: MPEG-2 TS es el encargado de leer el fichero .ts y produce a su salida un vector de 6016 bits correspondientes a 4 paquetes de 188 bytes que es exactamente la carga útil en una trama de señal DTMB para el esquema de modulación seleccionado.

A continuación le sigue el bloque aleatorizador que genera a su salida un vector de la misma longitud al de su entrada. Está basado en un bloque “PN Sequence Generator” del “Communications System Toolbox” de Simulink [6]. Inicialmente se comprobó comparando su salida con los valores especificados en los apéndices D y E de la norma.

El bloque “FEC 0.8” se encarga de la codificación de canal o código corrector de errores, en este caso a la salida se obtiene un vector de 7488 bits compuesto por los bits de su entrada y los bits de redundancia correspondiente a los códigos BCH(762,752)[7] y LDPC(6096,7488)[8].

Posteriormente se encuentra el bloque que agrupa los bits por símbolos, para la constelación QPSK seleccionada, cada símbolo corresponde a dos bits, por lo que se obtiene a la salida del bloque un vector de 3744 símbolos. Un vector de esta misma longitud es producido a continuación por el bloque encargado del entrelazado convolucional de razón (52,240).

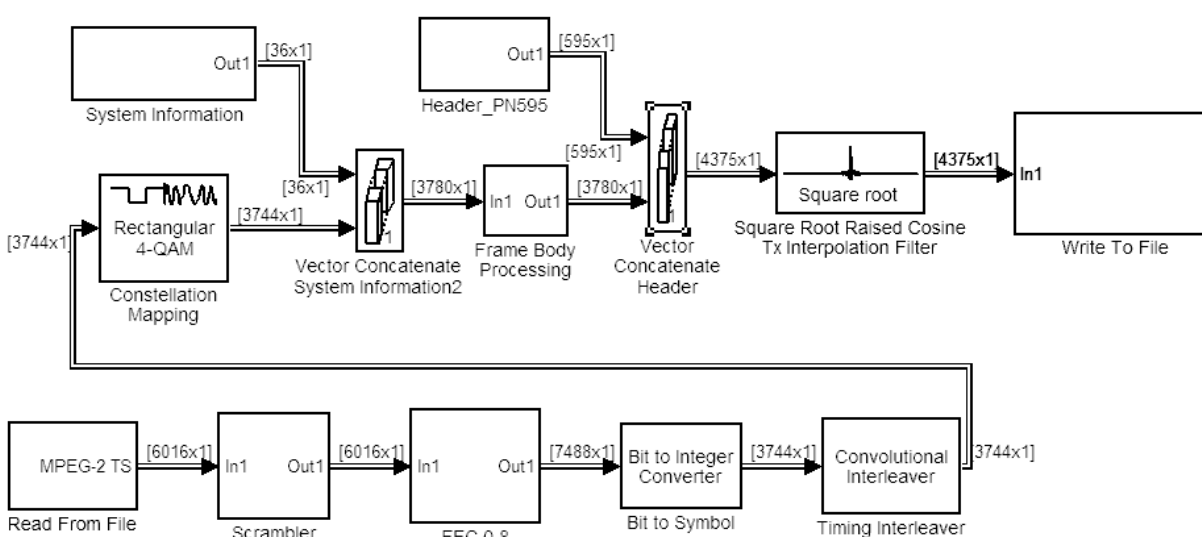


Figura 2. Diagrama en bloques del modelo diseñado

En el bloque de mapeo a la constelación se realiza la traducción de cada símbolo a un número complejo cuyas partes real e imaginaria corresponden a la amplitud de las componentes I y Q del símbolo QPSK correspondiente. Al vector resultante se le anteceden los 36 símbolos de información de sistema que han sido generados y mapeados anteriormente.

Finalmente se le agregan los 595 símbolos de la cabecera PN595 para obtener un vector final de 4375 símbolos que pasan por el filtro de interpolación de tipo raíz de coseno alzado (SRRC) con un factor de sobre-muestreo igual a 2.

El resultado final es un vector de 8750 valores complejos codificados en punto fijo de 16 bits. Cada uno de estos vectores corresponde a las muestras en el tiempo de las señales I y Q de una trama de señal DTMB. El bloque restante del modelo es el encargado de la adaptación de los resultados y su escritura en el fichero de salida en el formato descrito en el epígrafe anterior.

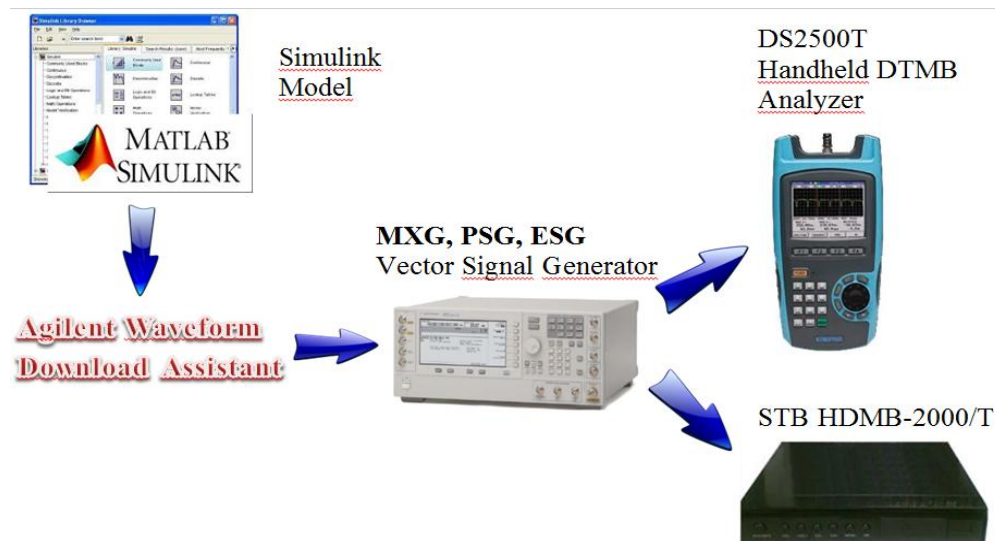
## VERIFICACIÓN Y MEDICIONES

Para la verificación final del modelo se emplearon una serie de herramientas e instrumentos especializados. El objetivo principal fue que la verificación funcional no quedara sólo al nivel de simulaciones, sino que los resultados del modelo se confrontaran con instrumentos especializados y receptores comerciales. De esta forma se logra demostrar el cumplimiento, por el modelo diseñado, de todos los detalles de la norma para el esquema de modulación seleccionado.

Inicialmente se tiene el modelo diseñado en Simulink, el cual, como se expuso anteriormente, genera un fichero de salida con extensión “.mat”. Este fichero contiene una matriz de dos columnas correspondientes a los niveles de amplitud de las componentes en fase (I) y cuadratura (Q) de la señal en banda base modulada en el estándar DTMB. Cada una de las filas de esta matriz se corresponde a las muestras en el tiempo de estas señales, con una frecuencia de muestreo igual al doble de la razón de símbolos para el estándar de 6 MHz, es decir, 11.34 MSps.

A continuación se emplea la herramienta “Agilent Waveform Download Assistant”, la cual consiste en un grupo de scripts de Matlab que posibilitan configurar de forma remota el Generador de señales vectoriales.

En nuestro caso se realizaron modificaciones al script de ejemplo de utilización contenido en esta herramienta, de forma que permita cargar el fichero .mat generado por el modelo diseñado y descargarlo hacia la memoria interna del instrumento en forma de datos fuente para la funcionalidad de generador de forma de onda arbitraria. Posteriormente se configuran el resto de los parámetros del generador, tales como, nivel de la señal de salida, frecuencia de muestreo y frecuencia de portadora, entre otros.



**Figura. 3. Esquema general de verificaciones**

La salida del generador se conecta de forma indistinta al analizador de señales DTMB (DS2500T) y a un receptor comercial (STB HDMB-2000/T).

El analizador permite realizar análisis espectrales, análisis de la constelación y medición de otros parámetros de la modulación tales como Potencia, Tasa de Errores de la modulación (MER), la razón de bits erróneos (BER), entre otros. Además el instrumento detecta cada uno de los parámetros de la modulación, entiéndase Tipo de constelación, Entrelazado, Código corrector de errores (FEC), Cabecera, entre otros.

Por su parte el receptor comercial seleccionado, además de utilizarse para comprobar la correcta recepción y decodificación de la señal de video, tiene un menú de configuración en el cual se reportan una serie de parámetros e indicaciones de calidad de la señal recibida. Se debe destacar que aunque este equipo no es un instrumento de medición calibrado, permite tener una referencia más de la correcta recepción de la señal generada por el modelo diseñado. Además, mediante una comparación con lo que reporta el mismo receptor para una señal similar generada por un modulador comercial se puede tener una idea relativa de la calidad de la señal generada por el modelo.

#### *a) Resultados obtenidos en las mediciones realizadas*

A continuación se exponen los resultados de las mediciones realizadas a la señal generada por el modelo de Simulink y reproducida desde el Generador de señales Vectoriales con el instrumento DS2500T. Las señales se configuraron para un nivel moderado de -53dBm y en una frecuencia de portadora de 479 MHz, correspondiente a la frecuencia central del canal 15 de UHF para una canalización de 6 MHz. La señal de entrada en todos los casos está conformada por un flujo de transporte que sólo contiene paquetes nulos.

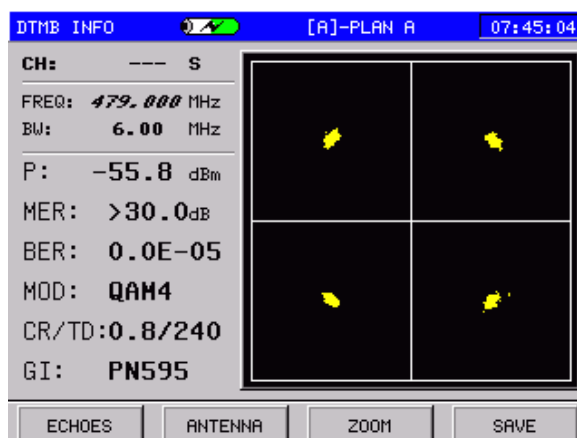


Figura 4. Parámetros de la señal generada por el modelo

Según se muestra en la figura 4, la señal generada por el modelo en Simulink es correctamente identificada y detectada por el instrumento:

- Modulación: 4QAM
- Razón de código de FEC: 0.8
- Entrelazado: 240
- Cabecera: PN595

El instrumento además muestra la constelación y mide los niveles de intensidad de la señal, la MER y el BER. Como se puede apreciar, la dispersión de los puntos en la constelación es pequeña, siendo el MER superior a los 30dB que es el nivel máximo que detecta el instrumento. De igual forma, se reporta una proporción de bits erróneos de 0.

En la figura 5 se muestra el análisis espectral de la señal. En el mismo, se puede apreciar el ancho de banda ocupado de 6 MHz y se observan las mediciones de nivel para diferentes frecuencias, comprobándose que la señal generada cumple con la máscara espectral de transmisión definida en la recomendación BT.1206-2 de la UIT-R [9].

#### b) *Comprobación de la visualización de la señal de video con un receptor comercial*

Como se expuso con anterioridad la señal generada por el modelo de Simulink fue aplicada a un receptor comercial (Haier STB HDMB-2000/T). Con el mismo se pudo comprobar la correcta recepción y presentación en la pantalla de la señal de video.

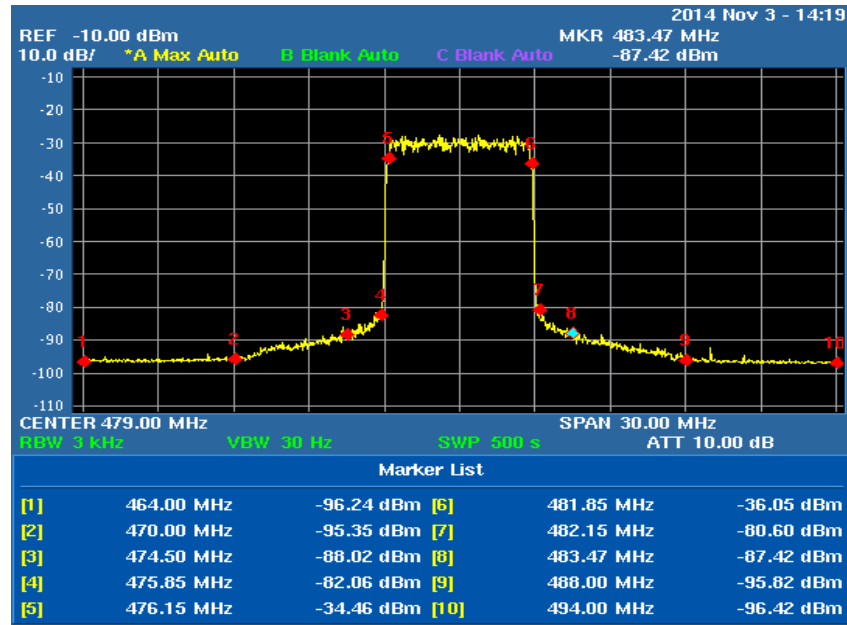


Figura 5. Análisis espectral de la señal generada.

En este caso, como entrada al modelo se escogió un fichero .TS con un fragmento de video de definición estándar de duración 2 segundos, codificado en MPEG2 con una razón de bits aproximada de 6 MHz. Como se aprecia en la figura 6, en una de las opciones de la interfaz de usuario de este receptor se reportan diferentes parámetros e indicaciones de la señal detectada, en todos los casos se corresponden con las mediciones del epígrafe anterior.

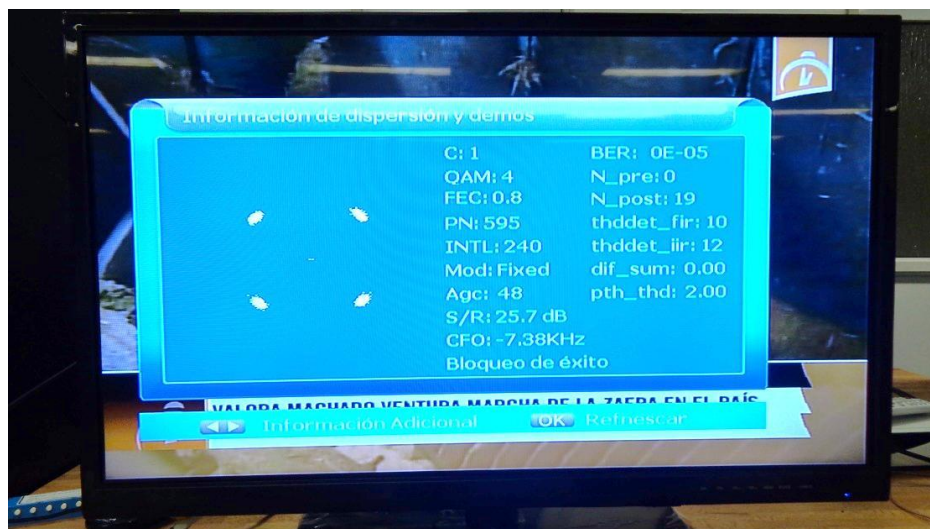


Figura 6. Visualización de la señal de video y parámetros de la señal en un receptor comercial.

## CONCLUSIONES.

En el presente trabajo se describió el diseño de un modelo de referencia para un modulador de la norma DTMB. Se evidenciaron las facilidades que brinda la herramienta Simulink de MATLAB para la modelación y simulación de componentes y sistemas de comunicaciones.

Se implementó un esquema de validación funcional mediante la utilización de un generador de funciones arbitrarias, instrumentos de medición y receptores comerciales para comprobar de forma precisa la validez del diseño propuesto.

El modelo propuesto puede ser utilizado como modulador y generador de señales DTMB para pruebas de laboratorio.

## REFERENCIAS.

1. **ADVANCED TELEVISION SYSTEMS COMMITTEE:** "ATSC Digital Television Standard: Part 1 – Digital Television System". Std. A/53 Part 1:2009. August 2009.
2. **INTERNATIONAL TELECOMUNICACION UNION:** "Error-correction, data framing, modulation and emission methods for digital terrestrial television broadcasting". Rec. ITU-R BT.1306-6. 2011.
3. **ISO/IEC.** "Information Technology – Generic coding of moving pictures and associated audio information: Systems". Std. ISO/IEC 13818-1. 2000.
4. **STANDARDIZATION ADMINISTRATION OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA:** "Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Digital Television Terrestrial Broadcasting System", Chinese National Standard Std. GB20600-2006, 2006.
5. **STANDARDIZATION ADMINISTRATION OF THE PEOPLE'S REPUBLIC OF CHINA:** "General Specification for Digital Terrestrial Television Receiver", Chinese National Standard Std. GB/T 26683-2011, 2011.
6. **WANG, W:** "Communications Toolbox User's Guide", The MathWorks, Inc. 1997
7. **RYAN, W. E. Y LIN, S.:** Channel Codes Classical and Modern, Cambridge University Press, 2009, pp. 111-121.
8. **GALLAGER, R. G.:** Low-Density Parity-Check Codes. Cambridge, MA: MIT Press, 1963
9. **INTERNATIONAL TELECOMUNICACION UNION:** "Spectrum limit masks for digital terrestrial television broadcasting". Rec. ITU-R BT.1206-2. June 2014
10. **REY, ADDIS y RAYMOND LUIS G.:** "Diseño del Aleatorizador, la Codificación de Canal, Mapeo y Entrelazado de un modulador DTMB". Tesis de Diploma. Facultad de Eléctrica. CUJAE, 2011.

11. **GARCÍA, NELSON:** “Diseño de la Transformada de Fourier para el estándar Digital Television Multimedia Broadcast”. Tesis de Maestría en Diseño de Sistemas Electrónicos. Facultad de Eléctrica. CUJAE, 2012.
12. **CRUZ, LEANDRO y FONTES, ERNESTO:** “Diseño e implementación de un Módulo IP para un equipo Modulador conforme a la norma DTMB”. Tesis de Diploma. Facultad de Eléctrica. CUJAE. 2014.
13. **ROJAS, LEIRENY; FRANCO M, ZULAY E Y PATETI M, ANTONIO S.** “Diseños de circuitos electrónicos digitales utilizando la tecnología FPGA”. *uct[online]*. 2009, vol.13, n.52, pp. 250-258. ISSN 1316-4821.
14. **COLLINS, GERARD W.:** “Fundamentals of Digital Television Transmission”, John Wiley & Sons. Inc., 2001.
15. **ARTHUR A. GIORDANO & ALLEN H. LEVESQUE:** “Modeling Of Digital Communication Systems Using Simulink”. John Wiley & Sons. Inc., 2014.
16. **AL-HADITHI, BASIL M. & SUARDÍAZ, JUAN:** “Nuevas tendencias en el Diseño Electrónico Digital: Codiseño Hardware/Software”. *Revista Tecnológ@ y desarrollo*. ISSN 1696-8085. Vol.II. 2004.