



ESTANDAR DTMB-A Y EL DESPLIEGUE DE LA TVD EN CUBA STANDARD DTMB-A AND THE UNFOLD OF THE TDT IN CUBA

Felipe Juglar Tamayo Suárez ¹

¹Radiocuba Guantánamo, Agramonte Esq. Aguilera
¹e-mail: juglar@gtmo.radiocuba.cu

RESUMEN

En el presente artículo se brinda una perspectiva de la situación actual del despliegue de la televisión digital en Cuba y se exponen las especificaciones técnicas del estándar de transmisión de segunda generación de TDT: DTMB-A, enfatizando en el método de construcción de los esquemas de modulación APSK lo que resulta ser la tecnología clave del estándar. Se comparan además los modos disponibles en los estándares DTMB y DTMB-A, observándose que se pueden emplear las mejoras técnicas que incorpora DTMB-A en cuanto a aprovechamiento de espectro electromagnético para garantizar la continuidad del proceso de despliegue de la TVD, cuando se debe transmitir el servicio de HDTV con la necesidad de mantener el servicio SDTV en convergencia con las transmisiones de televisión analógica, logrando un menor consumo de los portadores energéticos y la disminución del espacio en torres, aspectos que están frenando la continuidad de este proceso en el país. Con lo que se demuestra que la obsolescencia del estándar DTMB se opone a la continuidad del despliegue de la televisión digital en Cuba. Se logra una perspectiva interesante de las implicaciones prácticas del segundo teorema de Shannon en el desarrollo de los sistemas de TVD enfocándose en el estándar Chino de segunda generación: DTMB-A.

PALABRAS CLAVE: Convergencia, DTMB, DTMB-A, HDTV, SDTV.

ABSTRACT

In this article has been offered a perspective of the current situation of the unfolding of the TDT in Cuba and the technical specifications are exposed of the standard of transmission of second generation of TDT: DTMB-A, emphasizing in the method of construction of the modulation schemes APSK that turn out to be the key technology of the standard. Also are compared the available mode in the standards DTMB and DTMB-A, being observed that the technical improvements that DTMB incorporates as for use of electromagnetic spectrum to guarantee the continuity of the process of unfold of the TDT, when it should be transmitted, the service of HDTV with the necessity of maintaining the service SDTV in convergence with the transmissions of analogical television, and to achieve a smaller consumption of the energy payees and the decrease of the space in towers, aspects that are braking the continuity of this process in the country. With what is demonstrated that also, the obsolescence of the standard DTMB opposes itself to the continuity of the unfolding of terrestrial digital television in Cuba. It is achieved an interesting perspective of the practical implications of the second theorem of Shannon in the development of the systems of TDT being focused in the Chinese standard of second generation: DTMB-A.

KEY WORDS: Convergence, DTMB, DTMB-A, HDTV, SDTV

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de radiodifusión han encontrado, en la era digital, una manera más cómoda de ganar en calidad, una mejor manera, más eficiente, pues se desarrollan métodos de compresión, codificación, decodificación, que le permiten alcanzar niveles menores de probabilidad de error.

Hoy, ya existe un elevado por ciento de la población mundial que depende exclusivamente de la radiodifusión de la televisión digital terrestre, pues ya se ha apagado la televisión analógica en esas localidades. Muchas ventajas, que propone la televisión digital sobre la analógica se anulan con la coexistencia de ambos sistemas. Una mayor utilización del espectro electromagnético, el consumo creciente de los portadores energéticos y la



disminución del espacio en torres, son solo algunas de las desventajas que sugiere esta situación. No obstante, países como el nuestro se ven limitados a realizar el apagón analógico inmediatamente. Se vive en Cuba un momento de simultaneidad analógico-digital a toda capacidad, la situación social, económica, cultural y tecnológica del país impide incluso, la continuación del despliegue de la televisión digital terrestre.

Hoy, ya es un deber de la empresa Radiocuba ofrecer el servicio de HDTV a toda la población. Esta misión se ve limitada por la coexistencia con las transmisiones de TV analógica y el servicio de SDTV, prácticamente tres sistemas. No es posible definir la fecha exacta de apagón analógico en Cuba, se comienzan a realizar a pequeña escala apagones analógicos parciales en localidades con poca densidad poblacional pero resulta imposible realizar apagones analógicos a mayor magnitud. Lejos de realizar hoy el apagón analógico, se dificulta continuar el despliegue de la TDT, ya que en muchos centros del país la infraestructura energética y en torres no está creada.

Son varios los motivos que llevan a tomar serias consideraciones acerca de la utilización cada vez más eficiente de los portadores energéticos, la emisión de gases a la atmósfera que finalmente resultan perjudiciales al desarrollo de la vida en la tierra es la situación más lamentable producto de su descontrolada utilización en el afán de producir energía. En los sistemas de comunicaciones específicamente, además de tal perjuicio también se dificulta en ciertas situaciones mantener el servicio, debido a que en muchos centros el servicio eléctrico nacional a través de la red industrial con frecuencia se interrumpe de forma prolongada por las condiciones climatológicas de lugares montañosos en los que se encuentran enclavados, en los que además las condiciones de acceso impiden en muchas ocasiones, el abastecimiento oportuno de los grupos electrógenos. Situación que hace tan importante disminuir la utilización de los portadores energéticos (en este caso combustible diesel), para mantener el servicio mayor tiempo en un periodo dado.

Hoy, los sistemas de radiación de las transmisiones de TV analógicas de los que depende la gran mayoría de la población ocupan en muchos de los centros principales del país la mejor ubicación en torres. Lo cual evita utilizar en la TVD la altura efectiva adecuada para la ubicación del sistema de radiación, lo que se refleja en situaciones de cobertura desfavorables. Reflejándose en la práctica por valores medianos de intensidad de campo inadecuados dentro de una zona de servicio que se esperaba ampliar con la TVD.

La era digital impone constantes cambios tecnológicos, debido a que el avance en este campo hoy es indetenible, a lo que la sociedad definitivamente tendrá que adaptarse si desea disfrutar de los diferentes servicios que esta tecnología ofrezca. Definitivamente el desarrollo de la era digital será en busca de sistemas con más calidad y con mayor flujo de datos. Lo que no se podrá negar.

Este documento se nutre de un conjunto de literatura que trata por separado, características esenciales de las modificaciones que provocaron el surgimiento de la segunda generación del estándar Chino, basada en la cual se exponen las especificaciones técnicas del estándar DTMB-A. Se realiza una comparación exponiendo los principales modos disponibles en los sistemas DTMB y DTMB-A, observándose que la obsolescencia del estándar DTMB se opone a la continuidad del despliegue de la TVD cuando se deben ofrecer servicios de HDTV y SDTV permitiéndose una mejor convergencia con las transmisiones de TV analógicas. Se observa además que se pueden utilizar las mejoras técnicas que incorpora DTMB-A en cuanto a aprovechamiento de espectro electromagnético, analizadas también según, [1], [2], [3], para garantizar la continuidad del despliegue de la TDT, logrando un menor consumo de los portadores energéticos y la disminución del espacio en torres, aspectos que están frenando la continuidad de este proceso en el país. Una percepción más específica del desempeño de DTMB-A se encuentra en [4], [5] y [6].

2. ESTUDIO DE LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL ESTÁNDAR: DTMB-A

Especificaciones técnicas

Código interno LDPC: Longitud del código 61440 y 15360 bits con razón de código 1/2, 2/3, y 5/6.

Entrelazado de bit, permutación de bit y entrelazado de símbolo.

Múltiples servicios en una supertrama.

Modulación TDS-OFDM: Constelaciones, QPSK, 16APSK, 64APSK y 256APSK

Intervalo de guarda: 1/128, 1/64, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4 (utiliza doble PN [PN-MC]).

Tamaño de la IFFT: 4k, 8k, 32k.

Diversidad de transmisión: SISO, MISO (Técnica modificada de Alamouti).



Codificación

La codificación contra errores en DTMB-A se compone, al igual que en DTMB, por la combinación de un código BCH y uno LDPC, además la longitud del código LDPC puede variarse entre 61440 bit o 15360 bit [7]. Permite una manipulación más amplia que DTMB del flujo de información, ofreciendo más opciones para limitarlo, evitando que el ruido provoque cada vez menos, un límite a la calidad del sistema. Con la utilización de tres diferentes tasa de código para cada uno de los casos, como muestra a continuación la tabla 1 confeccionada por el autor de este documento a partir de la bibliografía consultada [6], [7], [8], [9], [10].

Tabla 1: Parámetros del FEC en DTMB-A.

Tasa de código	Longitud del bloque LDPC (bits)	kLDPC	Bits de entrada	Bits de información	Bloques BCH	TS aleatorizado (188 bytes)
1/2	61440	30720	30480	30080	40	20
2/3	61440	40960	41148	40608	54	27
5/6	61440	51200	51816	51136	68	34
1/2	15360	7680	7620	7520	10	5
2/3	15360	10240	10668	10528	14	7
5/6	15360	12800	12192	12032	16	8

El FEC utiliza tres tasa de código, 1/2, 2/3 y 5/6 dadas por la cantidad de grupos BCH (de 752 bits codificados BCH) que tienen que concatenarse para entrar al codificador LDPC 61440 o 15360 según sea. La tasa de código 1/2 proporciona la máxima protección de error y el mínimo flujo de datos, así como la tasa de código 5/6 asegura la mínima protección y el máximo flujo de datos. Las especificaciones de las modificaciones del estándar DTMB que originan a DTMB-A no incluyen variación en la longitud del bloque BCH, a partir del cual se forma la entrada del código LDPC en definitiva.

Entrelazado

El sistema DTMB-A utiliza en primer lugar, un entrelazado de bit, seguido de una permutación de los mismos, para facilitar el de-mapeo y la decodificación iterativa en el receptor. El primero es del tipo, escribe en fila y lee en columna y la permutación se realiza al dividir y mezclar en grupos los bits a la salida del entre-lazador. También se realiza un entrelazado de símbolos, para combatir la degradación selectiva en el tiempo y la frecuencia, con un desplazamiento cíclico de las filas en las tramas de símbolos. Este proceso se efectúa luego del mapeo de la constelación. El objetivo de las etapas de entrelazado es dispersar la información en los planos temporal y frecuencial, de tal manera que ni el ruido impulsivo (interferencia de la señal OFDM durante un corto periodo de tiempo) ni los desvanecimientos selectivos en frecuencia (interferencia en un rango determinado de frecuencia) puedan eliminar secuencias largas del flujo original de datos [7].

Estructura de la supertrama

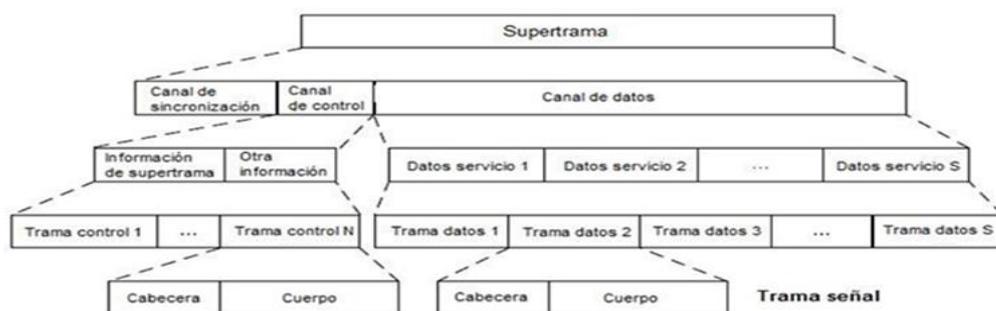


Figura 1: Estructura jerárquica de la Supertrama DTMB-A.

La figura 1 muestra la estructura de la supertrama que como se puede observar se compone por el canal de sincronización, el canal de datos y el canal de control. El canal de sincronización, es usado para la sincronización inicial y para la adquisición de los parámetros del sistema. El canal de datos está conformado por las tramas de datos de los servicios, las cuales pueden variar en cantidad, en dependencia de los parámetros del sistema. El canal de control contiene las tramas de control de cada uno de los servicios, y su principal función es llevar la información de configuración de estos servicios, los parámetros de demodulación y decodificación e información en tiempo real. Las tramas de control y las tramas de datos adoptan una misma estructura: un cuerpo y una cabecera. Cada servicio que compone la supertrama, está formado por un número entero de tramas de datos, las que pueden encontrarse de manera continua o dispersa en la supertrama [7], [10].

Esquemas de modulación

A diferencia de DTMB donde se forman constelaciones 4QAM-NR, 4 QAM, 16 QAM, 32QAM y 64 QAM, en DTMB-A se forman las constelaciones QPSK, 16APSK, 64APSK y 256APSK, todas con codificación Gray, luego del entrelazado de bit. QPSK se usa para todas las cabeceras y para el cuerpo de las tramas de control y de sincronización. El cuerpo de las tramas de datos puede adoptar QPSK, 16APSK, 64APSK Y 256APSK según el servicio a transmitir. La figura 2 muestra a continuación las constelaciones utilizadas en DTMB-A utilizando tasas de código LDPC 1/2, 2/3, 5/6 [11] y [12].

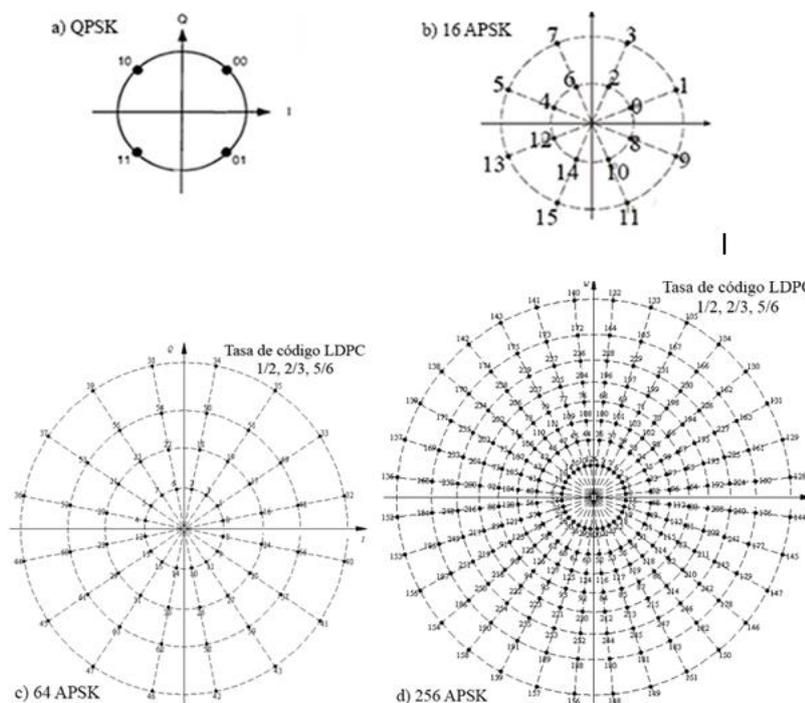


Figura 2: Constelación en a) QPSK, b) 16APSK, c) 64 APSK, d) 256 APSK

El esquema de modulación APSK en DTMB-A es la tecnología clave del estándar y se caracteriza por:

La tecnología APSK mejora notablemente la actuación del receptor.

La construcción del esquema de modulación APSK en DTMB-A se realiza mediante el método de descomposición polar basada en la información mutua lo que reduce grandemente la complejidad.

A continuación, en aras de lograr una perspectiva de la construcción del esquema de modulación APSK utilizando la descomposición polar basada en la información mutua, se detallan los aspectos relacionados partiendo de la regla de la cadena de la información mutua según [11].

Regla de la cadena de la información mutua.



En un canal complejo, la entrada y la salida del canal son señales complejas. La entrada de la señal X , se descompone entonces en 2 partes (parte real y parte imaginaria).

$$X = X_I + jX_Q \quad \text{Donde } j = \sqrt{-1} \quad (1)$$

X_I y X_Q definen su parte real y parte imaginaria, también conocidas como parte de fase (I) y parte de cuadratura (Q) respectivamente. La salida de la señal Y , se descompone como:

$$Y = Y_I + jY_Q \quad (2)$$

Definiendo igualmente Y_I y Y_Q la parte real y la parte imaginaria de Y . Luego la información mutua entre X y Y , se descompone como:

$$I(X; Y) = I(X_I; Y_I) + I(X_Q; Y_Q | X_I, Y_I) + I(X_I; Y_Q | Y_I) + I(X_Q; Y_I | X_I) \quad (3)$$

Basada en la regla de la cadena esta descomposición puede simplificarse como:

$$I(X; Y) = I(X_I; Y_I) + I(X_Q; Y_Q) \quad (4)$$

Siempre que se cumpla las siguientes 2 condiciones:

X_I y X_Q sean independientes una de la otra.

La distorsión introducida por los canales afecte la parte real y la parte imaginaria independientemente.

Vale enfatizar que convencionalmente parece como si QAM fuera la mejor opción para sistemas prácticos. Por lo que en cualquier sistema de comunicaciones contemporáneo de generación avanzada se puede encontrar este tipo de modulación codificada de tipo rectangular. Aunque algunos experimentos recientes muestran que el buen diseño de APSK supera el desempeño que demuestra QAM y mantiene baja complejidad [11], [13], [14]. APSK es una técnica de modulación que se desarrolló hace ya algunos años, en ella el radio es igualmente espaciado para maximizar la distancia mínima euclidiana. Esta constelación se optimiza para transmisiones en las que la potencia pico es optimizada.

El mapeo Gray consiste en que los códigos de los puntos vecinos de la constelación difieren en exactamente un dígito, es decir el cálculo de la distancia de Hamming entre de los puntos vecinos de una constelación tienen resultado igual a 1 [15].

Descomposición polar de información mutua [11].

Considerado un canal complejo con entrada X y salida Y (complejas), el cual debe ser expresado en un sistema de coordenadas polares tal que:

$$\begin{aligned} X &= |X| \cdot \exp(jX_\angle), |X| \in [0, +\infty), X_\angle \in [-\pi, \pi), \\ Y &= |Y| \cdot \exp(jY_\angle), |Y| \in [0, +\infty), Y_\angle \in [-\pi, \pi) \end{aligned} \quad (5)$$

Donde $|X|$ y $|Y|$ definen las amplitudes de X y Y , respectivamente, así como X_\angle y Y_\angle definen sus correspondientes fases. Basada en la regla de la cadena de información mutua se tiene entonces:

$$\begin{aligned} I(X; Y) &= I(|X|, X_\angle; |Y|, Y_\angle) \\ &= I(|X|; Y) + I(X_\angle; Y | |X|) \end{aligned} \quad (6)$$

Enfocándose en los casos en los que la amplitud y la fase son independientes una de otra, por ejemplo, tanto en entrada Gaussianas como en entradas para la constelación APSK.

Como $|X|$ es independiente de X_\angle y asumiendo que X_\angle es continua y sin pérdidas se tiene:

$$\begin{aligned} I(X_\angle; Y | |X|) &= h(X_\angle | |X|) - h(X_\angle | |X|, Y) \\ &= h(X_\angle) - h(X_\angle | Y) + h(X_\angle | Y) - h(X_\angle | |X|, Y) \\ &= I(X_\angle; Y) + I(|X|; X_\angle | Y) \end{aligned} \quad (7)$$



Así, al aplicar la ecuación 7 a la ecuación 6 se obtiene la siguiente descomposición.

$$I(X; Y) = I(X||; Y) + I(X_{\perp}; Y) + I(X||; X_{\perp}|Y) \quad (8)$$

Donde:

El término de amplitud es: $I(X||; Y)$

El término de fase es: $I(X_{\perp}; Y)$

El término cruzado es: $I(X||; X_{\perp}|Y)$

Y se cumple que $X||$ y $Y||$ son independientes una de la otra, observando que el término de fase es independiente a la amplitud de la señal de entrada, ofreciéndose de esta forma una excelente expresión simétrica.

La descomposición polar basada en la información mutua ayuda a entender la característica de canales con entrada a la cual la amplitud y la fase son independientes una de otra. Tradicionalmente, para entradas QAM rectangulares se descompone el canal en dos sub-canales independientes de I y Q para simplificar la complejidad de detección cuando se cumplen las dos condiciones mostradas anteriormente en este epígrafe. Sin embargo las entradas APSK violan la condición uno. Aunque el empleo de esta descomposición polar puede descomponer el canal $C: X \rightarrow Y$ en dos sub-canales, un sub-canal de amplitud $C||: X|| \rightarrow Y$, y un sub-canal de fase donde $C_{\perp}: X_{\perp} \rightarrow Y$, despreciando el termino cruzado. Razón por la que la descomposición polar de información mutua reduce grandemente la complejidad desde una perspectiva teórica de la información. Lo que ayuda a simplificar el de-mapeo APSK en esquemas de modulación codificada, mejorando notablemente el desempeño del receptor.

Luego aplicando la descomposición obtenida en la ecuación 8 a un canal AWGN, resulta:

$$Y = X + W \quad (9)$$

Donde Y define la señal de salida, X define la señal de entrada con una potencia de constrictión $E[|X|^2] = E_s$, y W define el ruido gaussiano como $W \sim CN(0, N_0)$. Luego la relación señal ruido se define como:

$$SNR = E_s/N_0 \quad (10)$$

Término de amplitud para entradas Gaussianas:

Para esta descomposición la expresión del término amplitud no es una aproximación sino su límite inferior. Denotado por el termino de amplitud y atendiendo a las consideraciones y análisis realizados en [11], el límite inferior de $I(X||; Y)$ se relaciona en la siguiente ecuación.

$$I(X||; Y) = I(X||; Y||) > \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_0} \right) + \underbrace{\frac{1+Y}{2} \log_2 e - \frac{\log_2 \pi}{2} - 1}_{\approx -0.69} \quad (11)$$

Y se encuentra ajustado a una alta relación señal ruido.

Término de Fase para entradas Gaussianas:

$$I(X_{\perp}; Y) = I(X_{\perp}; Y_{\perp}|Y||) < \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{E_s}{N_0} \right) - \underbrace{\frac{1+Y}{2} \log_2 e + \frac{1}{2} \log_2 \pi + 1}_{\approx 0.69} \quad (12)$$

Este término de fase también se encuentra ajustado a una relación señal ruido alta.

Término cruzado para entradas Gaussianas:

Por argumentos expuestos en [11], el término cruzado es despreciable, debido a su tendencia a cero cuando N_0 (densidad espectral de la potencia del ruido), es cero o infinito. Es importante detallar que lo despreciable que

resulta ser el término cruzado para APSK representa la disminución en complejidad que tiene con respecto a QAM pues se desprecia un pequeño número de puntos. Es válido recordar que del número de puntos en la constelación depende su complejidad para el sistema.

Descomposición polar de información mutua para entradas APSK.

Tener la distribución para las entradas Gaussianas, permite investigar la descomposición para las entradas APSK. En una constelación M-APSK, M se descompone en $(M = 2^{m_z} \times 2^{m_{||}})$ y existen $2^{m_{||}}$ anillos.

Donde cada anillo posee $2m_z$ puntos distribuidos uniformemente. La ecuación 13 describe la señal X dada por la constelación APSK.

$$X = \{r_q \exp(j\varphi_p) : p \in \{0, \dots, 2^{m_z} - 1\}; q \in \{0, \dots, 2^{m_{||}} - 1\}\} \quad (13)$$

Donde:

$$\varphi_p = \frac{\pi}{2^{m_z}} (2p + 1) \quad (14)$$

La ecuación 14 define el p-ésimo cambio de fase, y el radio del q-ésimo anillo r_q se describe en la ecuación 15.

$$r_q = \sqrt{-\log\left[1 - \left(q + \frac{1}{2}\right) \cdot 2^{-m_{||}}\right]} \quad (15)$$

En [11], se demuestra que la amplitud y la fase son independientes una de la otra para entrada APSK y por eso tiene una descomposición polar. Usando la regla de la cadena de información mutua el término de amplitud se denota como lo expresa la ecuación 16:

$$I(X||; Y) = I(X_{||}; Y||) + I(X_{||}; Y_z | Y||) \quad (16)$$

Pero como el término cruzado tiende a ser despreciable queda:

$$I(X_{||}; Y) \approx I(X_{||}; Y||) \approx H(X_{||}) \approx m_{||} \quad (17)$$

Similarmente se obtiene el término de fase, descrito a continuación en la ecuación 18:

$$I(X_z; Y) \approx I(X_z; Y_z | Y||) \approx H(X_z) \approx m_z \quad (18)$$

Ejemplo práctico de Descomposición polar de información mutua para entradas APSK.

Si se tiene una constelación 64-APSK, la cual se define como $(16 \times 4 = 64)$ -APSK, en la que el radio está determinado de acuerdo a la ecuación 15, y los resultados de su descomposición se muestran a continuación en la figura 3 [11].

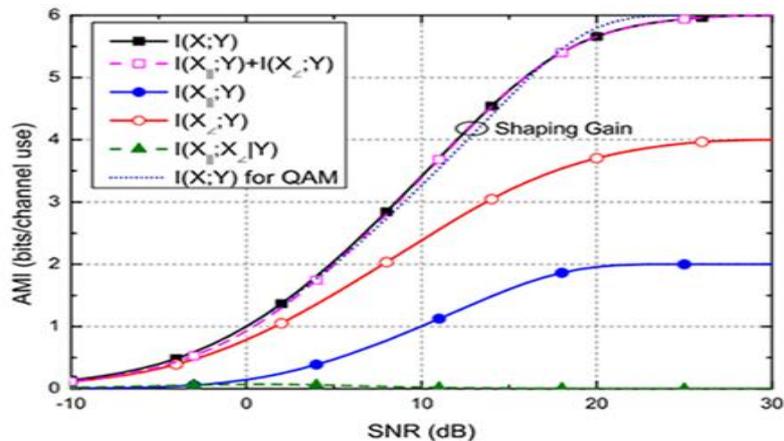


Figura 3: Resultado de la descomposición polar basada en información mutua de 64APSK comparado con 64QAM, en canales AGWN en base a AMI (eficiencia espectral de la constelación) en función de la SNR.

Vale observar que la eficiencia espectral de la constelación depende de la cantidad de bits mapeados a cada símbolo o punto de la constelación y representa su complejidad. La figura 3 muestra la información mutua promedio en función de la relación señal ruido, en ella el término de amplitud representa el límite inferior y el término de fase representa el límite superior, se muestra además el resultado de la descomposición polar para entradas 64APSK que es realmente similar al caso de entradas Gaussianas excepto que el término de amplitud está limitado superiormente por $m_{||}$ (número de puntos en amplitud de la constelación), y el término de fase está limitado superiormente por m_{\perp} (número de puntos en fase de la constelación), para SNRs altas. Siendo el término cruzado despreciable. Para tasa de código mayores que $1/2$, es decir para que la información mutua sea mayor que 3 bits/canal se emplean entradas 64APSK, en las que las pérdidas están sobre los 0,1dB. Se muestra que cuando se emplea la descomposición polar basada en la información mutua para la construcción de la constelación 64APSK esta se desempeña superior a 64QAM con tasas de código similares como $1/2$ o $2/3$. Por ejemplo se puede obtener una ganancia de 0.6 dB utilizando una tasa de código de $2/3$. En la figura 4 que se muestra a continuación, se representan los resultados del término cruzado asociado con tres casos, entradas Gaussianas, entradas 64APSK y entradas 256APSK.

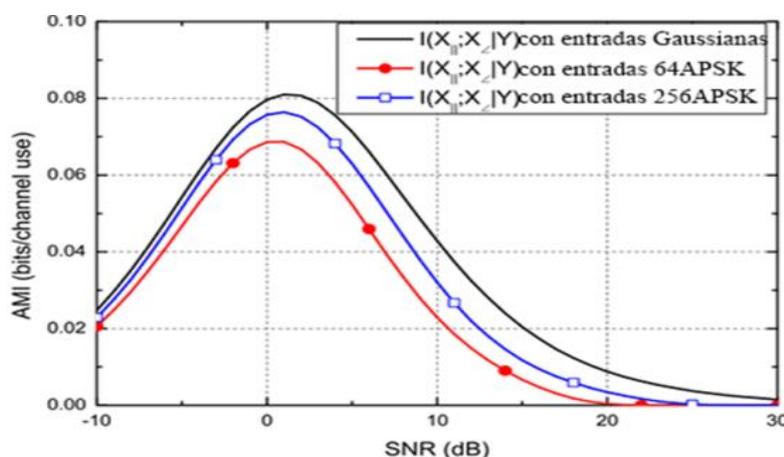


Figura 4: Representación del término cruzado para entradas Gaussianas, 64APSK y 256APSK en base a AMI en función de la SNR.

Es interesante observar en la figura 4 como para los tres casos representados, el término cruzado alcanza su máximo valor de AMI para una $SRN \approx 1$ dB, y tiende a cero para valores de relación señal ruido superiores e inferiores a 1dB. Se observa además que el término cruzado incrementa con el orden de la constelación e intuitivamente la curva asociada a las entradas Gaussianas puede ser el límite para las entradas APSK cuando el orden de la constelación tiende a infinito. El término cruzado puede ser menor que 0.04 bits/usado del canal para SNR sobre 12 dB. En otras palabras para una AMI mayor que 4 bits/usado del canal, la pérdida es menor que 0.1 dB.

TDS – OFDM

En DTMB-A se emplea TDS-OFDM, como técnica de modulación. En esta se inserta una secuencia pseudoaleatoria (PN o Pseudorandom Noise) como intervalo de guarda, para la sincronización del canal. Esto provoca una mayor eficiencia espectral para TDS-OFDM por la eliminación de los pilotos en el dominio de la frecuencia que emplea CP-OFDM para la estimación de canal [7]. DTMB-A tiene la distinción de que agrega una segunda secuencia PN a la cabecera, que sirve igual para la sincronización de la portadora, lo que combate con mayor efectividad la interferencia entre sub-portadoras (ICI o Inter-Carrier-Interference). Esto le permite realizar la estimación de canal con la segunda secuencia PN, si la primera se ve interferida con el bloque de datos anterior. Lo más destacable de DTMB-A es la utilización de una secuencia de bit en la frecuencia, que al aplicarles la transformada inversa de Fourier, forman la secuencia PN en el tiempo, donde luego se duplica como se observa a continuación en la figura 5. Esto aumenta la ecualización en el receptor en el dominio de la frecuencia.

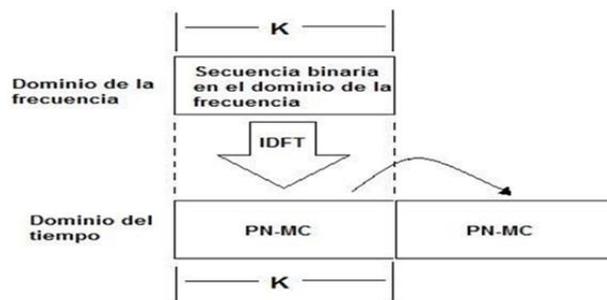


Figura 5: Procedimiento de generación de la PN-MC

Tamaños de la IFFT 4k, 8k y 32k

4K, 8K. Su elección depende de las condiciones de robustez (decreciente a mayor número de portadoras) frente a efecto Doppler.

32 K. Ofrece las tasas de datos más altas en DTMB-A.

Al incluir tamaños de FFT de 8k y 32k se permite la reducción de las interferencias de canal adyacente gracias a que se produce una caída más rápida del espectro fuera de banda, cuyo comportamiento en el espectro se muestra a continuación en la Figura 6 [16].

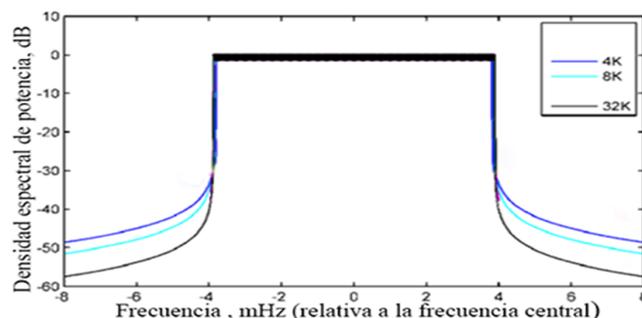


Figura 6: Espectro de la señal OFDM con distintos números de portadoras.

Incrementar el tamaño de la FFT lleva a un espacio entre portadoras más estrecho, pero una duración de símbolo mayor. Un espacio entre portadoras más estrecho conlleva grandes dificultades por la interferencia entre portadoras, (DTMB-A mejora esta situación con la utilización de doble PN (secuencia pseudoaleatoria de ruido), como intervalo de guarda). Sin embargo, el segundo atributo, mayor duración de símbolo, se traduce en que la fracción del intervalo de guarda es menor para un tiempo de intervalo de guarda dado. La figura 7 muestra a continuación la reducción de la sobrecarga del intervalo de guarda con un mayor tamaño de FFT. Esta reducción en sobrecarga conlleva un incremento en el flujo de datos de salida [16].



Figura 7: Reducción de la sobrecarga del intervalo de guarda con un mayor tamaño de FFT.

Una ventaja de los modos de transmisión más altos, son una mayor robustez ante el ruido impulsivo y una atenuación del espectro casi rectangular. Los requerimientos de memoria para la interpolación en el receptor



son del mismo orden para 32k que para 8k. Para estos casos la complejidad del cálculo de la FFT sólo se incrementa ligeramente.

Diversidad de transmisión

En DTMB-A se aplica la diversidad en transmisión, pues se hace uso de múltiples antenas en el transmisor. Tener diversidad en estos sistemas no implica que se tenga que tener conocimiento del canal en el transmisor. No obstante, se necesita un diseño adecuado de la señal transmitida para obtener diversidad. Los códigos espacio-frecuenciales representan una poderosa técnica de diversidad en transmisión que se basa en codificar a través del espacio y el tiempo (distintas antenas) para obtener diversidad.

MISO basado en Alamouti

Ya que DTMB soporta redes de frecuencia única (SFNs), la presencia de señales con potencia similar de dos transmisores en una red causa una pérdida significativa de margen debido a que el canal resultante tiene desvanecimientos profundos. Existe la evidencia de campo de que la recepción portátil puede sufrir desvanecimientos como resultado de esto y requiere una mayor potencia de transmisión para compensar. Para superar estos problemas, DTMB-A permite usar la codificación de Alamouti. Esta codificación es un ejemplo de sistema de entrada múltiple y salida única (Multiple Input, single output, MISO) [17], como se muestra a continuación en la figura 8, sistema en el cual, cada punto de la constelación es transmitido por cada uno de los transmisores, pero el segundo transmisor transmite una versión conjugada de cada par de la constelación y en orden inverso en frecuencia [15].

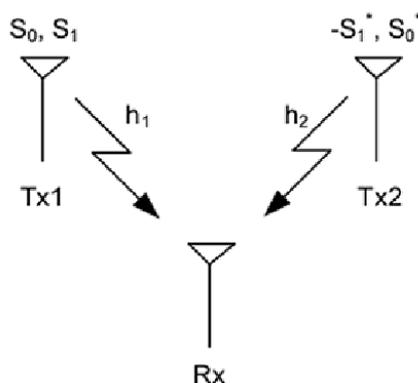


Figura 8: Esquema MISO basado en Alamouti.

La técnica ofrece unas prestaciones equivalentes a las ofrecidas por la diversidad en recepción en el sentido de que las operaciones que se llevan a cabo por el receptor resultan en una óptima combinación de las dos señales. La SNR efectiva se incrementa como resultado de la recombinación en el receptor de las dos señales transmitidas. La complejidad que se requiere, dada por la utilización de algunos multiplicadores extras, no es significativa [16], [18].

Arquitectura y diagrama del sistema

El modulador DTMB-A está diseñado para ofrecer uno o varios servicios por el mismo canal de transmisión. Para lograrlo el sistema contiene una supertrama compuesta por el canal de sincronización, canal de datos y canal de control. Las tramas de datos y control se forman después de ser codificadas y moduladas; las cabeceras de las mismas se componen de una secuencia PN-MC (Multicarrier Pseudorandom Noise) en el dominio de la frecuencia que al aplicarle la IFFT se duplica y forma una doble PN en el dominio del tiempo. Una vez conformada la supertrama es procesada en banda base y convertida a una señal de RF para su transmisión de forma discreta. Este proceso se puede observar si se analiza el diagrama en bloques del sub-sistema de transmisión del estándar DTMB-A representado a continuación en la figura 9 [7], [10].

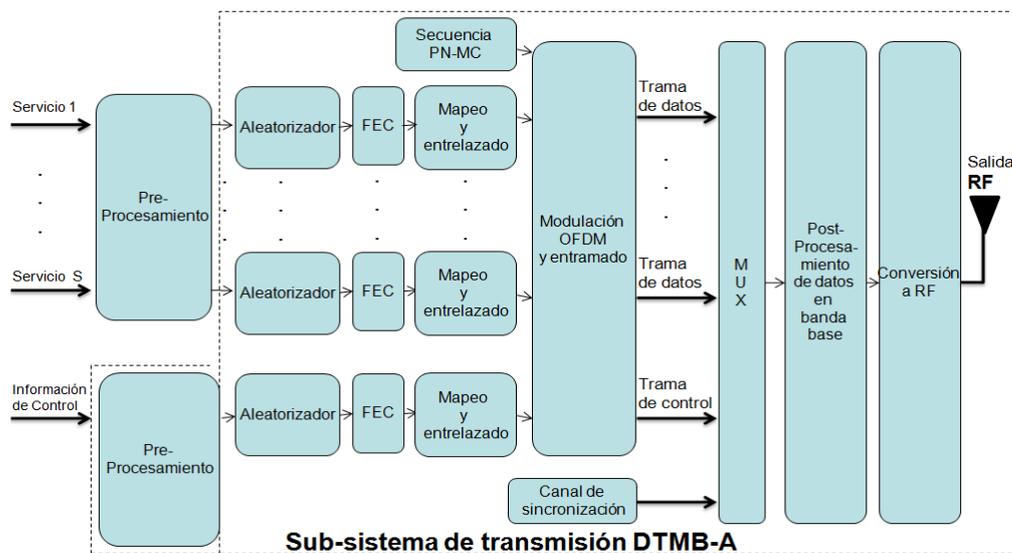


Figura 9: Diagrama en bloques del sub-sistema de transmisión del estándar DTMB-A.

3. COMPARACIÓN ENTRE DTMB Y DTMB-A

La Tabla 2 muestra a continuación las principales diferencias entre DTMB y DTMB-A en relación a las tecnologías y configuración soportadas.

Tabla 2: Comparación entre modos disponibles en DTMB y DTMB-A

Sistema	DTMB	DTMB-A
Multi-servicios	-----	Múltiples servicios en una supertrama
Código externo	BCH	BCH
Código interno	LDPC: longitud de código 7488 bits con tasa de código 2/5, 3/5 y 4/5 (0.4, 0.6, 0.8)	LDPC: longitud de código 61440 o 15360 bits con tasa de código 1/2, 2/3 y 5/6
Entrelazado	Entrelazado de bits y entrelazado de símbolos	Entrelazado de bits, permutación de bits y entrelazado de símbolos.
Modulación	TDS OFDM: Constelaciones QPSK, 4 QAM-NR, 4 QAM , 16 QAM, 32 QAM, 64 QAM	TDS OFDM: Constelaciones QPSK, 16 APSK , 64 APSK, 256 APSK
Intervalo de guarda	1/9 (420/3780), 1/6 (595/3780), 1/4 (945/3780)	1/128 (256/32768), 1/64 (512/32768), 1/32 [(256/8192) y (1024/32768)], 1/16 [(256/4096) y (512/8192)], 1/8 [(512/4096) y (1024/8192)], 1/4 (1024/4096)
Tamaño de la IFFT (modo de portadora extendida)	4k (C=3780) , Única portadora (C=1)	4k(C=4096), 8k(C=8192), 32k(C=32768)
Diversidad de transmisión	-----	SISO, MISO (Técnica modificada de Alamouti)

4. SEGUNDO TEOREMA DE SHANNON Y DTMB-A

Las observaciones de Shannon en su segundo teorema han logrado que el desarrollo de la transmisión de la señal de televisión digital terrestre en el mundo, también dirija sus esfuerzos a la búsqueda de códigos más



poderosos para la detección y corrección de errores, así como mejores métodos de modulación. El estándar de segunda generación DTMB-A, presenta mejoras en estos términos. En el ámbito de la corrección de errores, DTMB-A brinda la posibilidad de seleccionar una de 2 longitudes del código LDPC, garantizando un excelente rendimiento en presencia de altos niveles de ruido e interferencia, lo que resulta en una señal muy sólida. En el ámbito de la modulación, DTMB-A utiliza TDS – OFDM pero ahora con esquemas de modulación APSK de orden superior a los esquemas de modulación QAM empleados en DTMB, con un mayor número subportadoras y generando una señal más robusta. La mayor tasa de bits que ofrece, con respecto a DTMB hace que sea un sistema más adecuado para transmitir señales de televisión de alta definición HD. Varias opciones están disponibles en parámetros tales como el número de portadoras, tamaño del intervalo de guarda, de modo que la sobrecarga puede ser minimizada para cualquier canal. DTMB-A también especifica un método de transmisión con diversidad, conocido como codificación de Alamouti, lo que mejora la cobertura en redes de pequeña escala de frecuencia única.

5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo al estudiar las especificaciones técnicas del estándar de transmisión de segunda generación de TDT: DTMB-A, se evidenció la obsolescencia que ya representa DTMB, observándose entre otras mejoras que la estructura de la supertrama DTMB-A permite ofrecer los servicios en HDTV y SDTV simultáneamente, incrementando el aprovechamiento del espectro electromagnético donde juega un papel muy importante el empleo de las constelaciones APSK pues permiten procesar mayor cantidad de información mejorando el desempeño del receptor, situación que influye en mejoras en cuanto a consumo de los portadores energéticos y utilización del espacio en torre aspectos que están frenando hoy el despliegue de la TVD en Cuba. Aunque por supuesto es recomendable evaluar el desempeño en pruebas de campo comparativas entre DTMB y DTMB-A. Se recomienda además, analizar los siguientes puntos.

Realizar pruebas de campo en las que se verifique, que con una combinación razonable de los métodos de diversidad de transmisión soportados en DTMB-A (SISO y MISO) con las redes de difusión digital (MFN y SFN) y con la utilización de estaciones “Gap Filler” (estaciones rellena huecos) sea posible lograr mejor desempeño del sistema dentro de la zona cobertura, principalmente en zonas montañosas.

Realizar pruebas de campo en las que se verifique, que disponer a la entrada del sub-sistema de transmisión de varios flujos de tasa bits diferentes con los mismos datos de entrada, permita modificar convenientemente la robustez de la codificación de canal, obteniendo beneficios en cuanto a cobertura principalmente en zonas montañosas (Tanto para DTMB como para DTMB-A).

RECONOCIMIENTOS

“El autor desea agradecer a MSc. Ing. Daniel Iván Garrido Rodríguez, por la dedicación, orientación, por su talento para organizar ideas y la ayuda precisa en la realización de este trabajo, al departamento de desarrollo de la empresa Radiocuba, especialmente a Rafael y a Yons por su ayuda incondicional. A mi esposa y a mi suegra por colarme café para mantenerme despierto. . . y por todo lo demás. A mi Madre.

REFERENCIAS

1. Optimization of a Coded-Modulation System with Shaped Constellation. [en línea]. Disponible en Web: <http://community.wvu.edu/~mcvalenti/documents/XiangDissertation.pdf>
2. A Bi-Directional Visible Light Communication System Based on DTMB-A. [en línea]. Disponible en Web: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7504055/>
3. A MIMO-ANN system for increasing data rates in organic visible light communications systems P. A. Haigh et al., 2013 IEEE International Conference on Communications (ICC), Budapest, 2013, pp. 5322-5327. DOI: 10.1109/ICC.2013.6655433. [en línea]. Disponible en Web: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6655433&isnumber=6654691>
4. Song and C. Zhang, "Technical Review on DTMB-Advanced (DTMB-A) Standard," 2016 International Conference on Engineering and Telecommunication, Moscow, 2016, pp. 128-133. DOI: 10.1109/EnT.2016.036. [en línea]. Disponible en Web: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7810770&isnumber=7810735>



5. (2016, 11/2/2017). Field Test Report of Evolution System for DTMB [en línea]. Disponible en Web: http://www.ofca.gov.hk/filemanager/ofca/en/content_669/tr201307_01.pdf
6. Hong Kong E-DTMB, PN420, 3D y DTMB A-prueba de la tecnología de transmisión. [en línea]. Disponible en Web: <http://www.hkepc.com/forum/archiver/?fid-116-tid-1860580.html>
7. Ojeda N., Rodríguez O. "Comparación entre los Estándares de Transmisión de Segunda Generación de Televisión Digital Terrestre: DTMB-A y DVB-T2," Telem@tica, vol. 15. No. 3, pp. 39-55 pages, septiembre – diciembre, 2016. ISSN: 1729-3804 [en línea]. Disponible en Web: http://www.lacotel.cu/Foro4/4to_FITVD2016_CUJAE_Comparaci%C3%B3n_entre_los_Est%C3%A1ndares_de_Transmisi%C3%B3n_de_Segunda_Generaci%C3%B3n.pdf
8. Fischer W., Digital Video and Audio Broadcasting Technology, 3ra ed. English, 2009 [en línea]. Disponible en Web: DOI 10.1007/978-3-642-11612-4.
9. Técnicas de protección frente a errores. [en línea]. Disponible en Web: http://www.tsc.uc3m.es/~fernando/Codificacion_canal.pdf
10. Comparison of Key Technologies in DVB-T2 and DTMB-A. [en línea]. Disponible en Web: <http://top10.lieku.tv/Upload/2015-08-25/DVB-T2%20%E4%B8%8EDTMB-A%20%E5%85%B3%E9%94%AE%E6%8A%80%E6%9C%AF%E5%AF%B9%E6%AF%941-101.pdf>
11. Polar Decomposition of Mutual Information over Complex-Valued Channels. [en línea]. Disponible en Web: <https://arxiv.org/abs/1304.0260>
12. Estudio de un sistema CDMA-OFDM [en línea]. Disponible en Web: http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11244/fichero/Volumen+1%252F5_MODULACION_OFDM.pdf
13. A Novel Compressed Sensing Based Model for Reconstructing Sparse Signals Using Phase Sparse Character. [en línea]. Disponible en Web: <https://arxiv.org/abs/1501.00151>
14. Amplitude Phase Shift Keying Constellation Design and its Applications to Satellite Digital Video Broadcasting. [en línea]. Disponible en Web: http://www.dtic.upf.edu/~aguillen/home_upf/Publications_files/psk_chapter.pdf
15. Pérez-Calderón D. "Codificación MIMO para DVB-NGH" [en línea]. Disponible en Web: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/70234/fichero/CodificacionMIMOParaNGH.pdf>
16. Study and Capacity Evaluation of SISO, MISO and MIMO RF Wireless Communication Systems, [en línea]. Disponible en Web: <http://ijettjournal.org/volume-9/number-9/IJETT-V9P283.pdf>
17. Evaluación de prestaciones (rendimiento e interferencias) del estándar de Televisión Digital Terrestre ISDB-Tb, mediante simulaciones y mediciones. [en línea]. Disponible en Web: <https://riunet.upv.es/handle/10251/33245?show=full>
18. "A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications Siavash M. Alamouti" [en línea]. Disponible en Web: <http://calin.comm.pub.ro/Didactice/Proiect3/Materiale2010/MIMO/00730453.pdf>

SOBRE LOS AUTORES

El autor, Ing. Felipe Juglar Tamayo Suárez, Radiocuba Guantánamo, área "Cueva arriba", especialista principal en tecnología de las comunicaciones, la automática y los servicios técnicos, maestrante del departamento de telecomunicaciones y electrónica de la Universidad de Oriente.