

# Uso de las técnicas de modulación codificada para el incremento de la capacidad de sistemas de TV digital por satélite

Jorge Matos Gómez

## RESUMEN

En el presente trabajo se hace un análisis comparativo del uso de la modulación codificada TCM-8PSK en sustitución de la modulación QPSK y el código interno convolucional de razón de código variable que se utiliza en la norma DVB-S. Se demuestra que el uso de esta técnica combinada de modulación y codificación permite incrementar la capacidad de transmisión en términos de programas (o contenidos digitales) sin modificar el ancho de banda de transmisión y la codificación de fuente MPEG-2. También se analiza el impacto del uso de esta técnica en el terminal terreno receptor.

**Palabras clave:** TCM, satélite, TV digital

## Abstract

This paper shown the comparative analysis between the use of TCM-8PSK instead of QPSK and a variable code-rate convolutional inner code that is used in DVB-S standard. It is shown that the use of the former technique allows for a higher capacity in terms of number of programs (or digital contents) without modify the transmission bandwidth and MPEG-2's source coding. It is also analyzed the impact on the terminal ground receiver.

**Key words:** TCM, satellite, digital TV

## I. INTRODUCCIÓN

Los algoritmos de compresión de señales audiovisuales utilizados en la norma MPEG-2 han llegado prácticamente a su límite en la posibilidad de incrementar el número de programas por ancho de banda de transmisión. A pesar de las investigaciones que se llevan a cabo para implementar nuevos algoritmos de compresión a partir del uso de wavelets y fractals [1], estos resultados no prometen desplazar comercialmente a la norma MPEG-2 en un plazo corto de tiempo.

Una de las vías para incrementar la capacidad de enlaces satelitales para la transmisión de TV digital y multimedia (Internet) es mediante el uso de técnicas de modulación y codificación eficientes en el uso del ancho de banda. Particularmente,

las técnicas TCM (Trellis Coded Modulation) [2], resultarían muy beneficiosas para este propósito. Como es conocido, la norma DVB-S [3] utiliza técnicas independientes de modulación y codificación de canal. En este trabajo se lleva a cabo un análisis comparativo del incremento de la capacidad entre modulación codificada TCM-8PSK, la norma DVB-S y la modulación 8-PSK. Se toma como referencia la transmisión digital del satélite de radiodifusión EchoStar I (119° W) que utiliza una velocidad de 20 Msimb./s y una razón de código (3/4) en un transponder de 24 MHz de ancho de banda [4] Se analiza también el impacto que tiene este tipo de técnica de modulación codificada sobre los receptores digitales domésticos.

## II. USO DEL TCM-8PSK EN LA NORMA DVB-S

La modulación codificada TCM-8 PSK presenta un conjunto de ventajas propias de este tipo de técnica y además, se encuentra disponible en circuitos electrónicos integrados lo que facilitaría su introducción en productos dirigidos al mercado de la electrónica de consumo.

El uso de códigos concatenados del tipo Reed-Solomon (código externo) y convolucional (código interno con razón de código  $r_c$  variable), así como de técnicas de entrelazado de bits (interleaver), permiten ganancias de codificación, como las mostradas en la Tabla I, para la norma DVB-S y una tasa de error de bit de  $10^{-11}$  (QEF) [5].

TABLA I. GANANCIA DE CODIFICACIÓN ( $G_c$ ) DE LA NORMA DVB-S

$r_c$	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
$G_c$	9	8,5	8	7,5	7,1

En la Tabla II se muestran los valores requeridos de ( $E_b/N_0$ ) para diferentes tipos de modulación y donde se han incorporado los resultados reportados en [6]. Se toma una tasa de error de bit de  $10^{-11}$  a la salida del decodificador Reed-Solomon. Se supone que el canal satelital esta afectado por AWGN.

La modulación codificada presenta un conjunto de ventajas propias y además, se encuentra disponible en circuitos electrónicos integrados lo que facilitaría su introducción en productos dirigidos al mercado de la electrónica de consumo.

**TABLA II. REQUISITOS DE (DB)  
A LA ENTRADA DEL DEMODULADOR**

$r_c$	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
QPSK	4,5	5	5,5	6	6,4
8-PSK	8	8,5	9	9,5	9,9
TCM8-PSK	-	6,1	-	-	-

Se puede demostrar [6] que la capacidad del enlace descendente (downlink)  $R_b$ , (Mbit/s) para un transponder de ancho de banda  $B_T$ , (MHz), que utilice el código concatenado de la norma DVB-S y un factor de caída (roll-off)  $\alpha$  del filtro conformador de pulsos es:

$$R_b = 0,92 \cdot \frac{\log_2 M}{1 + \alpha} \cdot r_c \cdot B_T$$

donde  $M$  representa el total de símbolos de canal asociados a un tipo específico de modulación digital. Utilizando los parámetros de transmisión digital correspondiente al EchoStar I, se obtiene los resultados mostrados en la Tabla III ( $\alpha = 0,2$ )

**TABLA III CAPACIDAD DEL ENLACE SATELITAL  
DESCENDENTE,  $R_b$ , EN MBIT/S.**

$r_c$	1/2	2/3	3/4	5/6	7/8
QPSK	18,4	24,6	27,6	30,7	32,2
8-PSK	27,6	36,9	41,5	46	48,4
TCM8-PSK	-	36,9	-	-	-

El uso de la modulación codificada TCM 8-PSK implicaría la posibilidad de incrementar la capacidad en un 34% con relación a la capacidad nominal de transmisión del EchoStar I (27,6 Mbits). Suponiendo que el costo de transmisión de un transponder de banda Ku de 24 MHz de ancho de banda es de 200000 dólares por mes [7] y que cada programa comprimido digitalmente requiere de un promedio de 5 Mbit/s [8], entonces el incremento de capacidad implicaría un ahorro anual de más de 100000 dólares por cada suministrador de programa.

### III. IMPACTO DE LA MODULACIÓN CODIFICADA TCM 8-PSK EN EL SISTEMA DE RECEPCIÓN TERRENO

Tomando la huella (footprint) del EchoStar I [4], se puede estimar el diámetro mínimo de la parábola del sistema de recepción terreno. En la Tabla IV se muestran los resultados para tres ciudades donde llega la huella del citado satélite y diferentes condiciones de lluvia.

**TABLA IV. DIÁMETROS REQUERIDOS PARA RECIBIR  
TRANSMISIONES DEL ECHOSTAR I**

Localidad	DVB-S ( $r_c = 3/4$ )	TCM8-PSK ( $r_c = 2/3$ )
A (220N; 800W)	75,2 cm	93,3 cm
B (260N; 800W)	60 cm	74,4 cm
C (390N; 770W)	44 cm	54,6 cm

Los resultados anteriores fueron obtenidos utilizando el procedimiento descrito en [9] y el método del UIT-R (1992-94) para el cálculo de la atenuación

por lluvia para un 99,7 % promedio anual de disponibilidad del servicio. Tanto en las localidades A y B se utilizó una temperatura de ruido de antena de 35 K para condiciones de cielo despejado, mientras que para C se utilizó 50 K producto de un menor ángulo de elevación (27,6°) que en el caso de las dos anteriores (A: 39,4°; B:37,4°). En todos los casos se consideró un LNBF de 1 dB de cifra de ruido y 70 % de eficiencia para la antena receptora. Se tomó un valor de 2,5 dB para la pérdida adicional y 0,2 dB para el aporte de ruido del enlace ascendente. El margen utilizado fue de 9 dB para las localidades A y B y de 5,5 dB para la localidad C.

El incremento del 24 % en el valor del diámetro de la antena receptora para modulación TCM 8-PSK con relación al diámetro requerido usando la norma DVB-S, es debido a un incremento total de 1,87 dB (0,6 dB por un incremento en  $(E_b/N_0)$  y 1,27 dB por una mayor velocidad de transmisión). Lo anterior implica un incremento en el costo de producción y posiblemente del precio del equipamiento de recepción.

## CONCLUSIONES

Se presenta un análisis comparativo entre la norma DVB-S particularizando para los parámetros de transmisión del bouquet digital del EchoStar I con relación a la modulación codificada TCM 8-PSK. Se concluye que esta última técnica incrementa significativamente la capacidad del enlace por satélite disminuyendo significativamente los costos de transmisión. Por otra parte, la utilización de esta técnica tiene como aspecto negativo el incremento requerido del diámetro de la antena del sistema de recepción doméstico. Debe realizarse un balance económico entre estos dos aspectos para concluir su posible viabilidad económica.

## REFERENCIAS

- [1] J.Careless, "Going Digital", Via Satellite, March, 1998, pp 12-16
- [2] G.Ungerboeck, "Trellis coded modulation with redundant signal sets: Part I and III, IEEE Commun. Magazine, Feb. 1987.
- [3] ETSI, "Digital Video Broadcasting(DVB), framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services", EN. 300 421 V1.1.2 August 1997.
- [4] M. Long, "The Digital Satellite TV Handbook", Newnes, 1999
- [5] J. Matos, "Direct Satellite Broadcasting Systems Engineering" (monografía), Decom-FEEC, Unicamp, Nov. 2000.
- [6] H. Katoh et al., "A flexible transmission technique for the satellite ISDB system", IEEE Trans. On Broadcasting, vol. 42, no.3, Sept. 1996, pp 159-166.
- [7] N. Abramson, "Internet access using VSATs" IEEE Commun. Magazine, July.
- [8] G.W. Durling and C. Cuevas, "Lower power Ku-band direct to home video broadcasting in rainy regions", Space Communications 12 (1994) pp 175-184.
- [9] J. Matos "Evaluación del desempeño de sistemas de TV digital directa por satélite", Telec 2000, Univ. de Oriente, Sgto. de Cuba, Julio 2000 (memorias del congreso).

### Jorge Matos Gómez

Profesor titular, Ph. D. en Telecomunicaciones Facultad de Ingeniería Eléctrica, UCLV, Cuba. jmatos@uclv.edu.co