

# REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

MARACAIBO - VENEZUELA



Una Revista Internacional Arbitrada  
que está indizada en las publicaciones  
de referencia y comentarios:

- Science Citation Index (SCIExpanded)
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci (online database)
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

# LabVIEW use in modeling and performance test bit error rate of a communication system with high order QAM modulation and coding Reed-Solomon for undergraduate teaching

Farid Meléndez Pertuz <sup>1</sup>, Juan Carlos Vélez Díaz <sup>2</sup>, José Caicedo Ortíz <sup>3</sup>,  
Alfredo Fernández Vélez <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad de la Costa CUC. Calle 58 No. 55-66 Barranquilla. Pbx (5) 3362200. fmelende1@cuc.edu.co;

<sup>2</sup> Universidad del Norte. Km 5 vía Puerto Colombia. Tel. (5) 3509509. Fax. (5) 3598852. jcvelez@uninorte.edu.co ;

<sup>3</sup> Universidad de la Costa CUC. Calle 58 No. 55-66 Barranquilla. Pbx (5) 3362200. jcaicedo1@cuc.edu.co ;

<sup>4</sup> Universidad del Norte. Km 5 vía Puerto Colombia. Tel. (5) 3509509. Fax. (5) 3598852. aefernandezv@gmail.com

## Abstract

To show the ease of use of the programming environment of LabVIEW in the teaching of telecommunications at the undergraduate level, it is implemented and simulates a system of modern communications using QAM modulation of higher order and coding Reed-Solomon shortened version (204,188,  $t = 8$ ), steps used in the transmission of digital terrestrial television DVB-T. The system model is proposed, a brief description of the VI is used and the performance curves of bit error rates are presented in an AWGN channel for each modulation schemes modeled.

**Keywords:** Reed-Solomon; AWGN; LabVIEW; M-QAM; Telecommunications System.

## Modelado y prueba de desempeño en tasa de errores de bits de un sistema de comunicaciones con modulación QAM y codificación Reed-Solomon utilizando LabVIEW para la enseñanza en pregrado

### Resumen

Para mostrar la facilidad de uso del entorno de programación de LabVIEW en la enseñanza de las telecomunicaciones a nivel de pregrado, se implementa y simula un sistema de comunicaciones moderno, utilizando modulación QAM y codificación Reed-Solomon versión acortada (204,188,  $t=8$ ), etapas utilizadas en la transmisión de televisión digital terrestre DVB-T. Se propone el modelo del sistema, se hace una breve descripción de los VI utilizados y se presentan las curvas de desempeño en tasas de errores de bits en un canal AWGN, para cada uno de los esquemas de modulación modelados.

**Palabras clave:** Reed-Solomon; AWGN; LabVIEW; M-QAM; Sistema de Telecomunicaciones.

### Introducción

Debido al constante y rápido cambio que ocurre en las telecomunicaciones en el mundo moderno, se hace necesario introducir en los programas de ingeniería electrónica, los cuales son herramientas que permitan modelar sistemas y realizar pruebas de manera visual,

amigable y ágil; a la vez que faciliten la comprensión de las temáticas y la comprobación de las teorías que las sustentan. La ingeniería electrónica ha sobresalido en las últimas décadas y su progreso ha acelerado el desarrollo industrial fortaleciendo a la ciencia moderna [1], por lo que el estudiante de esta disciplina debe estar a tono con las nuevas tendencias en educación.

En ese panorama, el entorno de programación que ofrece LabVIEW y sus múltiples variantes para el desarrollo, se presenta como una opción para mejorar la transmisión de conceptos complejos, logrando de una manera fácil y didáctica, la manipulación de parámetros y variables que faciliten la generación y detección de señales, a la vez que mantiene el rigor pedagógico para la asimilación de conceptos, y científico para darle validez a los conocimientos impartidos. LabVIEW está estructurado como un software multipropósito capaz de ejecutar procesos en paralelo basado en programación en diagramas a bloques, el cual tiene incidencia en aplicaciones industriales y educativas [2].

Aprovechando las ventajas ofrecidas por esta plataforma, en este trabajo se modela un sistema de comunicaciones utilizando esquemas de modulación QAM de alto orden (16, 32, 64, 128 y 256), transmitiendo con codificación Reed-Solomon en su versión acortada (204, 188,  $t = 8$ ) a través de un canal AWGN; y se trazan las curvas de desempeño en tasa de errores de bits para cada uno de los esquemas de modulación propuestos para mostrar la facilidad con que pueden ser impartidos estos conceptos gracias a la utilización de LabVIEW en cursos de pregrado de programas de ingeniería electrónica y afines. También con ayuda de LabVIEW, se desarrolla y grafica la expresión matemática de probabilidad de error de cada uno de los esquemas de modulación utilizados, buscando mostrar la facilidad de la herramienta para la validación de los modelos implementados, gracias a la utilización de métodos estadísticos semi-analíticos; y apreciar la corrección de errores en un sistema de comunicaciones mediante la utilización de códigos.

## 1. Trabajos relacionados

LabVIEW ha sido aprovechado para enseñar temáticas de pregrado en ingeniería en diversas áreas, dadas las ventajas que presenta como entorno de desarrollo de un lenguaje de programación gráfico. La ingeniería al ser una disciplina práctica requiere experiencia práctica acompañada de la fundamentación teórica que la aleja de ser simplemente un proceso de prueba y error [3]. Buscando aportar en esa dirección, en [4] se desarrolló un curso de *Interfacing and Modern Measurement Techniques* (Interfaz y técnicas modernas de medición) que cubre las temáticas de programación gráfica, instrumentos virtuales y entradas/salidas digitales; muestreo, análisis de Fourier y generación de señales; resonancia eléctrica y mecánica; detección de ruido, filtrado y detección de fase; control de procesos y comunicación GPIB (*General Purpose Interface Bus*); difusión y activación térmica. Cada temática planteada cuenta con su ejercicio demostrativo con resultados

esperados, y se plantea la realización de un proyecto en parejas, donde los estudiantes pueden integrar los conocimientos adquiridos.

Con ayuda de radio definido por software, que es un hardware que permite implementar una plataforma de radio, estableciendo con ayuda de LabVIEW todos los parámetros; frecuencia, modulación y demás, en [5] se propone un completo laboratorio basado en esta combinación para desarrollar los temas de comunicaciones. Se propone el desarrollo de transmisores y receptores con base en modulaciones digitales, aumentando gradualmente el nivel de complejidad de los sistemas de comunicaciones planteados. El programa de laboratorio se propone con un completo detalle de la utilidad de las actividades a desarrollar por los estudiantes semana por semana.

Con base en LabVIEW, en [6] se implementa un laboratorio virtual con acceso web en tiempo real para la enseñanza de las comunicaciones analógicas y digitales. Se plantea la metodología para desarrollar experimentos virtuales en tiempo real sobre las temáticas mencionadas. Se describe la arquitectura general del sistema y se resalta la importancia de soluciones como estas para la educación en ingeniería, donde el estudiante tiene la facilidad de cambiar los parámetros del experimento y evaluar resultados, sin limitaciones de tiempo o ubicación. Otra experiencia de aprendizaje basado en laboratorio con LabVIEW, se documenta en [3]. Los autores proponen dos proyectos de curso que involucran la utilización de LabVIEW, pero antes preparan a sus estudiantes con 5 clases introductorias. Mediante el uso de Modbus (protocolo de comunicaciones desarrollado por Modicon) en el control de un motor y en un control de temperatura, buscan extender el entendimiento de los estudiantes en las comunicaciones digitales. Al finalizar el estudio, se plantea un estudio tipo encuesta con algunos estudiantes seleccionados para verificar la efectividad del método propuesto, obteniéndose como resultado una respuesta positiva en este aspecto.

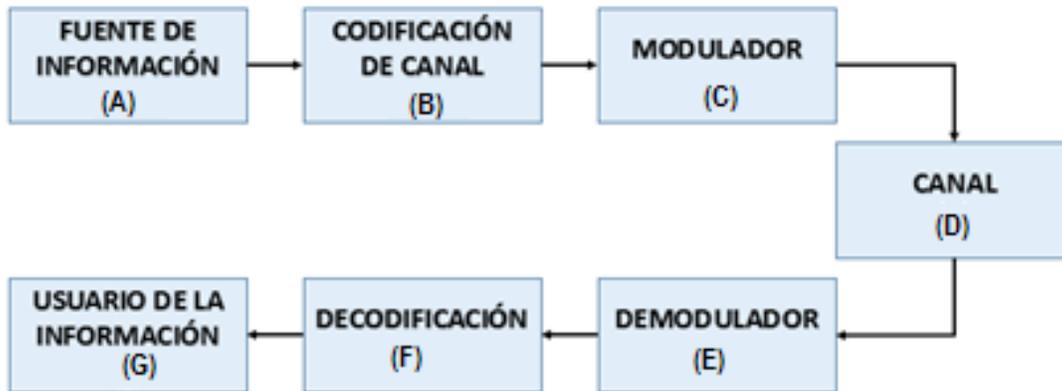
La literatura científica relaciona varios documentos donde se puede verificar la utilización de LabVIEW como herramienta de apoyo en la enseñanza de ingeniería en temáticas como series de Fourier [7], convertidores analógicos-digitales [8], procesamiento digital de señales [9] y otras [10], [11], [12].

## 2. Metodología de la simulación

Con la ayuda del entorno de programación de LabVIEW 2012 *Service Pack 1*, versión 12.0.1f4 (32-bits), y el *MT (Modulation Toolkit*, que es un conjunto de librerías con herramientas para telecomunicaciones que extiende la capacidad propia de LabVIEW), es

posible implementar un sistema de comunicaciones de mediana complejidad e incluso evaluar su desempeño en términos de tasa de errores de bits. Cada etapa del sistema que se desee desarrollar, corresponderá a uno o más bloques, que debidamente interconectados

ejecutarán las funciones específicas requeridas. Para mostrar la facilidad del uso de la herramienta y realizar las pruebas de desempeño, se propone un sistema de comunicaciones, cuyo diagrama de bloques simplificado se observa en la Figura 1.



**Figura 1.** Diagrama de bloques simplificado del sistema de comunicaciones con codificación Reed-Solomon modelado en LabVIEW

Para el presente caso, se ha establecido evaluar la codificación Reed-Solomon (204,188,  $t = 8$ ), capaz de corregir hasta 8 bytes erróneos y utilizada en sistemas de televisión digital terrestre [13]. Este es un código de bloque no-binario sistemático en el que el codificador añade un número de bytes de verificación (*check-sum*) a la carga útil del paquete. El codificador toma  $k$  bytes de datos y produce  $n$  bytes de datos codificados. Los bytes de comprobación ( $n-k$ ) se anexan al bloque del mensaje para producir una tasa de código RS ( $n, k$ ),  $R = k/n$ . El número total de errores de bytes que pueden ser corregidos es  $t = (n-k)/2$ . El concepto teórico de RS se basa en operaciones algebraicas sobre estructuras matemáticas conocidas como campo finito o *GF* (Galois field) [14].

Con ayuda de LabVIEW, se ejecuta el proceso de modulación *QAM* en un bloque que recibe el *stream* de bits provenientes de la etapa de codificación. Los parámetros concernientes a la modulación (tipo de *QAM*, el mapa de símbolos, el número de bits por símbolo)

son establecidos en otro bloque que se interconecta con el modulador en la entrada de nombre *QAM system parameters*. Existe otra entrada en el VI modulador *QAM* denominada *Pulse shaping filter coefficients*, que es alimentada desde otro VI encargado de la generación del filtro conformador para la modulación y de filtro acoplado para la demodulación. Es decir que este VI se apoya en los bloques generadores de los parámetros de la modulación y del filtrado requerido. A la salida del bloque modulador se tiene la forma de onda compleja de la señal modulada *QAM*. La salida del modulador es aplicada a la entrada de una etapa generadora *AWGN* (*Additive White Gaussian Noise, AWGN*), que será el canal de transmisión de la señal modulada. La Figura 2 muestra las etapas de generación de bits (A, fuente de información), codificación (B), modulación (C) y canal *AWGN* (D) del modelo de sistema de comunicaciones propuesto, generadas a partir de la correcta interconexión de los bloques de programación de LabVIEW seleccionados.

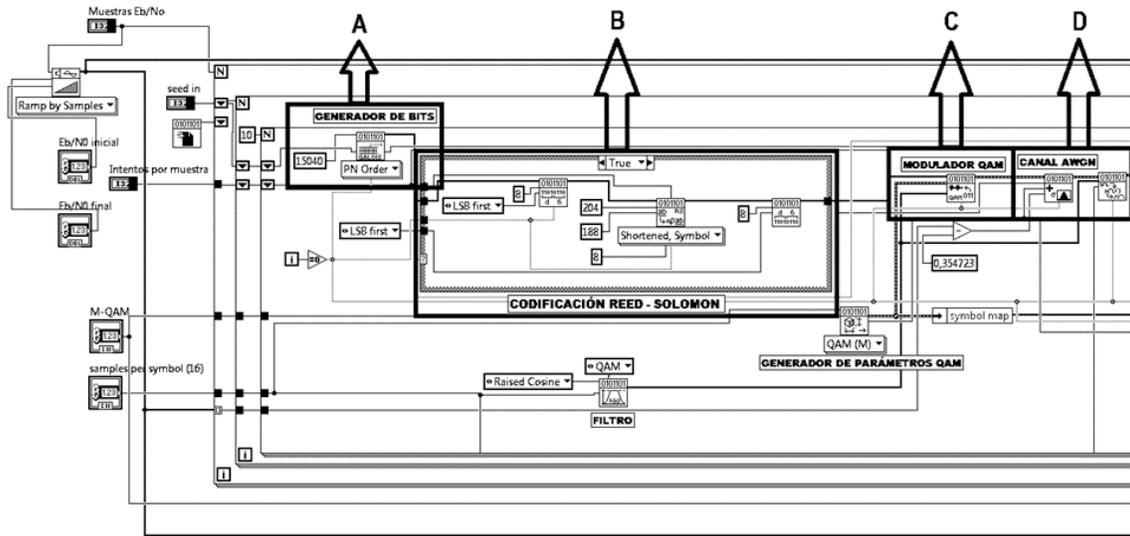


Figura 2. Principales etapas en transmisión del modelo de sistema de comunicaciones con codificación

En recepción, se tienen los procesos inversos a la etapa de transmisión; la señal proveniente de la salida del sumador *AWGN* es aplicada a un bloque encargado de mapear los símbolos *QAM* a bits (E). El *stream* de bits a la salida del bloque de mapeo, es convertido a bytes y aplicado a la entrada del bloque decodificador Reed-Solomon (F). A la salida del bloque de decodificación, ya se tiene un estimado de los datos provenientes de la fuente y para calcular la tasa de errores de bits (*bit error rate*, *BER*) se conecta un *VI* que se encarga de esta función (G, para este caso es el usuario de la información). La tasa de errores de bits es un registro empírico (histórico) del funcionamiento real del sistema en cuanto a errores. Una tasa de error de bits se mide y a continuación se compara con la probabilidad esperada de error ( $P_e$ ), que es la expectativa teórica o matemática de que determinado sistema tenga una tasa de errores, útil para evaluar el

desempeño del sistema; por ejemplo si un sistema tiene una  $P_e$  de  $10^{-5}$  eso quiere decir que en el pasado hubo un bit erróneo por cada 100.000 bits transmitidos. En modulaciones *QAM*, la  $P_e$  se define según ecuación (1).

$$P_e \cong 2 \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right] \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_o}{N_o}} \right) \quad [15] \quad (1)$$

La  $P_e$  y la *BER* se grafican contra la relación entre la energía por bit de la señal transmitida y la densidad espectral de potencia del ruido ( $E_b/N_o$ ), para obtener una impresión explícita del desempeño del sistema y si es una transmisión con codificación de canal, observar la ganancia de código. La Figura 3, muestra las etapas de demodulación (E), decodificación (F) y el *VI* calculador *BER* (G) del modelo de sistema de comunicaciones propuesto.

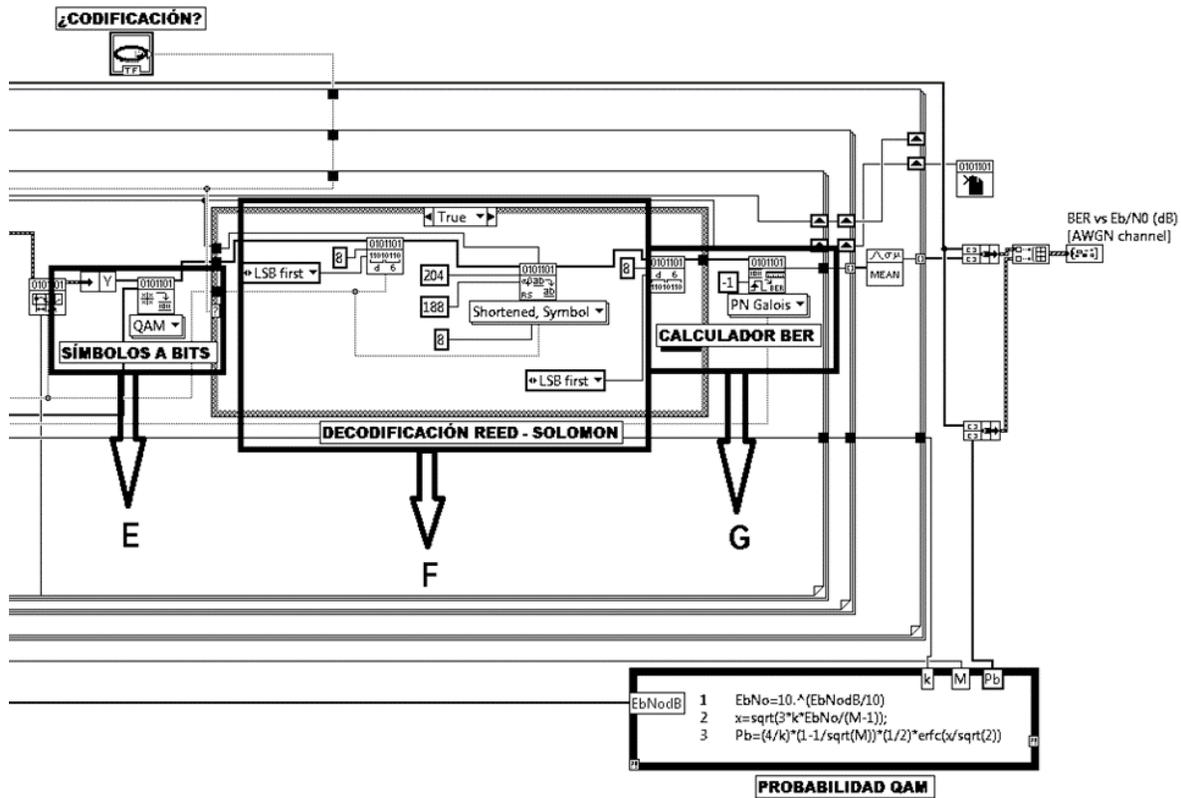


Figura 3. Principales etapas en recepción del modelo de sistema de comunicaciones con codificación

La unión de estos bloques de programación mostrados en la Figura 2 y Figura 3 (transmisión y recepción respectivamente) conforman un transceptor QAM, es decir, el sistema desarrollado combina transmisor y receptor en un solo código [16].

Para realizar las pruebas propuestas, el valor de  $E_b/N_0$  se irá variando de intento en intento. Esto se logra de forma muy fácil en LabVIEW, con un generador de valores cuya salida se aplica a la entrada  $E_b/N_0$  del VI sumador de ruido

aditivo blanco gaussiano, obteniéndose así la variación deseada en el canal. Con ayuda de la instrumentación virtual que ofrece el entorno de LabVIEW, también es posible observar el efecto de la variación del valor de  $E_b/N_0$  en la constelación de la señal. En la Figura 4 se muestra la constelación de una modulación 32 QAM para valores  $E_b/N_0$  de 7, 15 y 25 dB respectivamente, donde claramente se aprecia la degradación de la constelación para valores bajos de  $E_b/N_0$ .

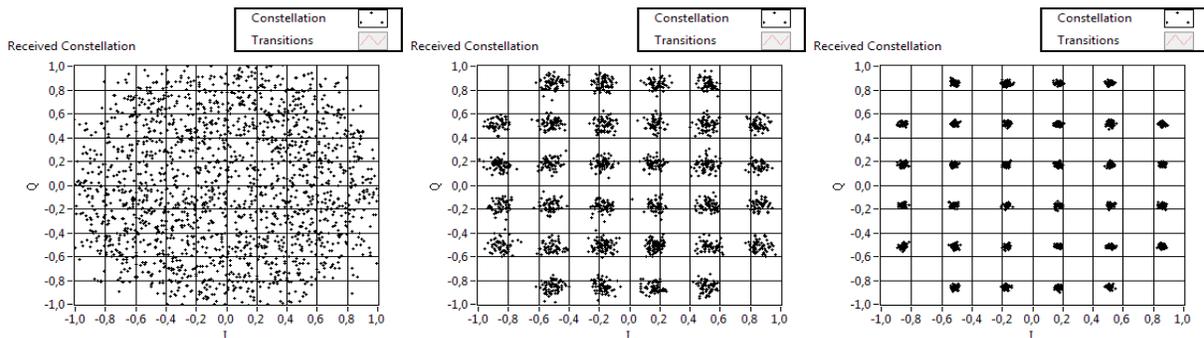


Figura 4. Constelación 32 QAM para valores  $E_b/N_0$  de 7, 15 y 25 dB, respectivamente

Para cada esquema de modulación  $M$ -QAM se ejecutarán tres pruebas: se graficará la curva de probabilidad de errores de bit basada en el modelo matemático cuya fórmula se ejecutará en un nodo *MathScript* de LabVIEW se ejecutará la simulación de una transmisión y recepción sin codificación para apreciar qué tan aproximado al modelo teórico

se encuentra el sistema propuesto y se realizará la transmisión codificada. Para cambiar de un esquema de modulación a otro, solamente se varía un control lógico de LabVIEW en el panel frontal del VI desarrollado (Figura 5), que permite seleccionar el esquema deseado para ejecutar la simulación, 16, 32, 64, 128 o 256 QAM.

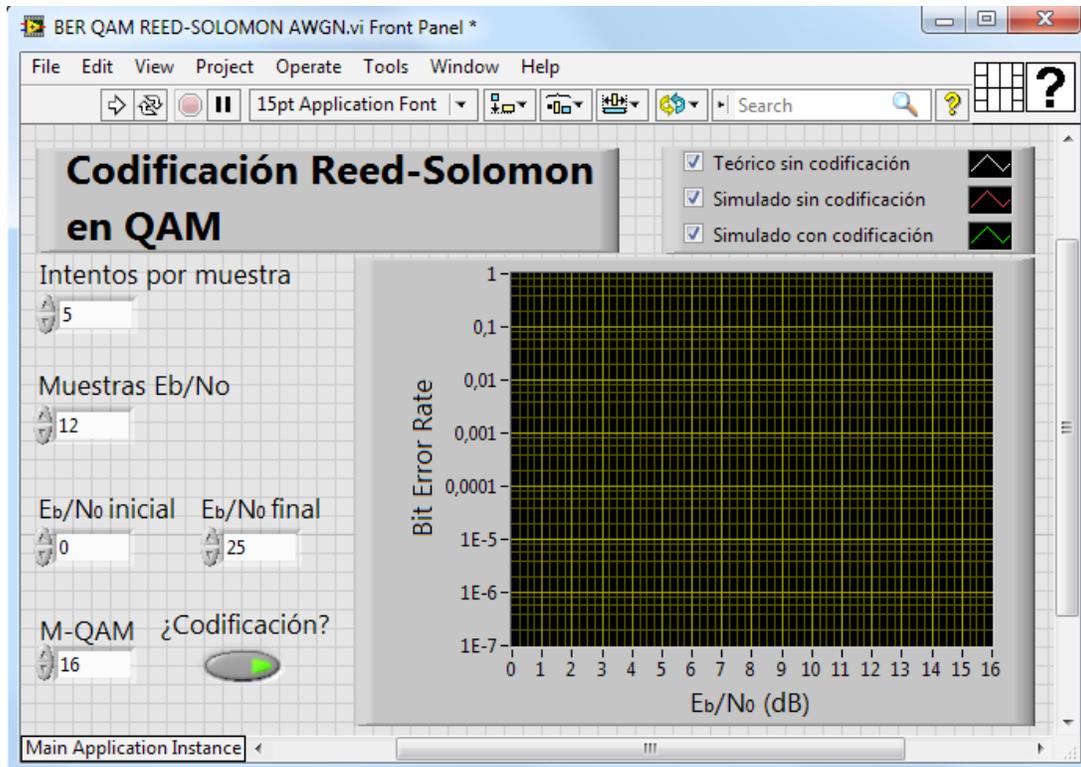


Figura 5. Panel frontal del VI desarrollado

Es importante tener en cuenta que para realizar una comparación de desempeño justa entre dos sistemas de comunicaciones, uno en el cual se utiliza codificación de canal y otro en el que no se utiliza, la relación  $E_b/N_0$  ( $E_c$  es energía por bit codificado) medida en el canal codificado, debe ser corregida en un factor de  $10 \cdot \log(n/k)$ , para compensar la energía requerida para el envío de los bits de verificación generados por el código [17]. De esta manera, teniendo en cuenta (2) se tiene (3).

$$E_b = E_c (n/k) \quad (2)$$

$$E_b/N_0 = E_c/N_0 + 10 \cdot \log(n/k) \text{ dB.} \quad (3)$$

Se trazará la curva que muestre los tres comportamientos, el comportamiento teórico de la

modulación respectiva, y la  $BER$  con y sin codificación para observar la ganancia de código en cada esquema de modulación. Apoyado en las estructuras de programación que se pueden utilizar en LabVIEW, se ha tratado la codificación Reed-Solomon como un caso asociado a un control digital en el que se selecciona si la transmisión será codificada o no. La Figura 6 muestra el diagrama de flujo de la prueba realizada, este aplica de forma indiferente para los dos casos (con y sin codificación), pues el proceso de codificación no afecta el desarrollo de la prueba. Con la ayuda de estructuras de ciclos, se evalúa el comportamiento de la señal en el canal AWGN para un rango determinado de  $E_b/N_0$  (0 - 25 dB), realizando cinco intentos para cada valor y así obtener un promedio de  $BER$  representado en cada punto de la gráfica.

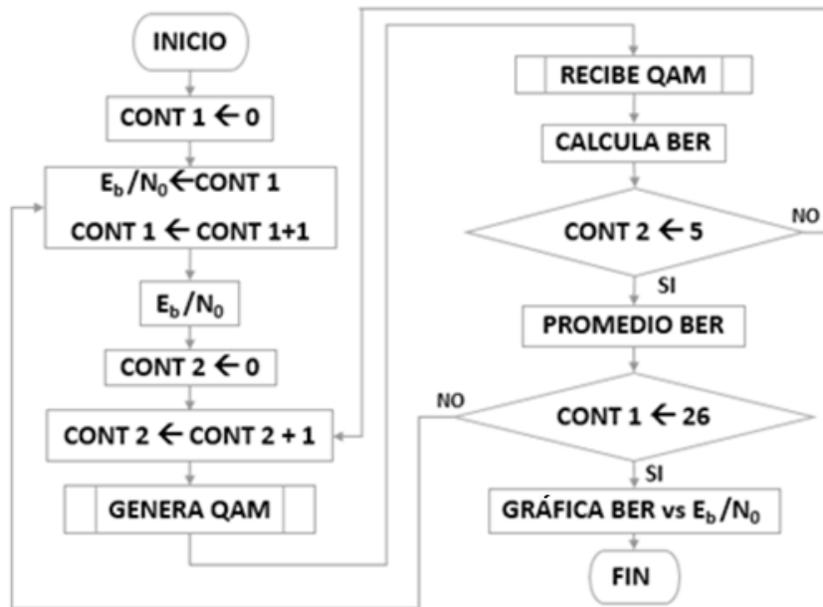


Figura 6. Diagrama de flujo de la prueba realizada.

### 3. Resultados

Los resultados obtenidos después de las pruebas descritas fueron almacenados para luego ser graficados de manera concurrente, como se observa en la Figura 6. En la figura 7 se aprecia que el desempeño del sistema modelado es muy semejante al teórico en todos los casos de las modulaciones implementadas, lo que le da validez

al trabajo desarrollado, teniendo en cuenta que ha sido el resultado de la unión de bloques funcionales que ejecutan las operaciones internamente y de forma transparente al desarrollador, lo cual muestra la importancia de una herramienta como LabVIEW en la enseñanza de las comunicaciones, ya que a partir de generalidades conceptuales, ha sido posible realizar el montaje de un sistema de cierta complejidad.

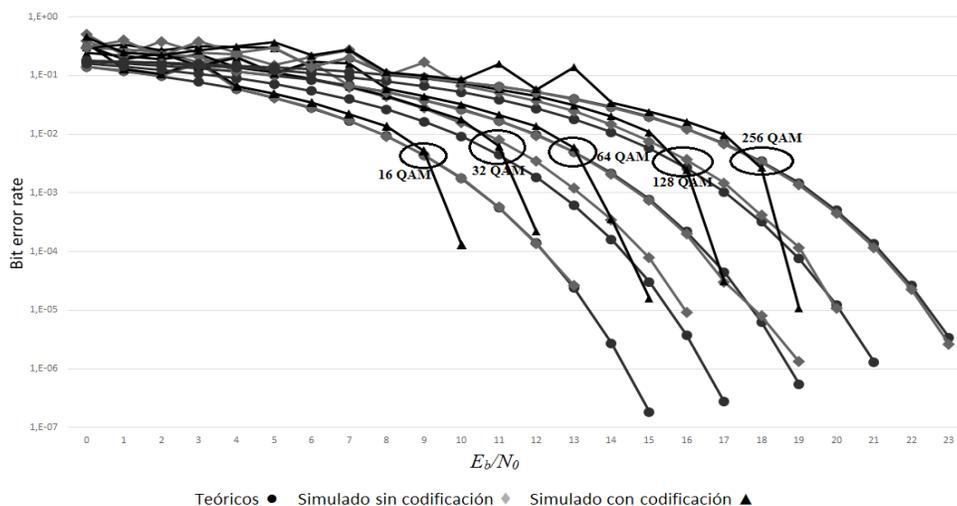


Figura 7. Gráfica BER vs  $E_b/N_0$  para las modulaciones QAM propuestas; teóricas, simuladas sin codificación y con codificación

En la figura 8 se observa que para valores bajos de  $E_b/N_0$  debido a la redundancia introducida por el código, el sistema se vuelve más propenso a la recepción con errores, para cada esquema de modulación simulado. Debido a esto, la corrección de errores, inicia a partir de un valor específico de  $E_b/N_0$ , esto se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
Inicio de la corrección de errores para cada modulación QAM simulada

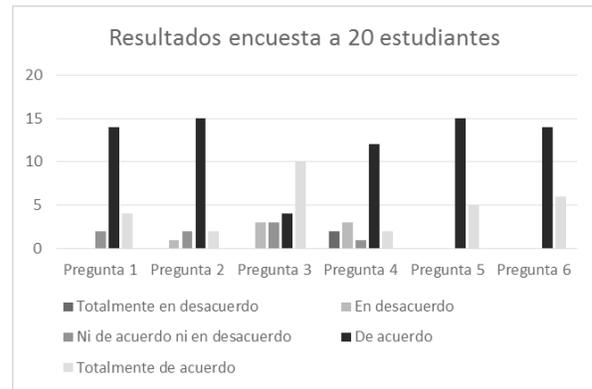
M-QAM	$E_b/N_0$
16	9
32	11
64	13
128	15,5
256	18

Se aprecia que, en efecto, la utilización de los códigos Reed-Solomon ayudan en la corrección de errores de un sistema de comunicaciones. También se observa en la gráfica, que a partir de determinados valores de  $E_b/N_0$  para la estadística utilizada, el sistema deja de mostrar errores en recepción para cada esquema de modulación simulado. El tiempo de ejecución del VI que integra el modelo desarrollado es directamente proporcional a la complejidad en cuanto a escala de valores de  $E_b/N_0$  e intentos por muestra que se proponga en la realización de cada prueba.

Para verificar la efectividad de la enseñanza de sistemas de comunicaciones con apoyo del sistema desarrollado en LabVIEW, se desarrolló una encuesta con 5 grupos de 4 estudiantes de la asignatura Comunicaciones 2 (Comunicaciones digitales) de la Universidad de la Costa, que realizaron experimentos de corrección de errores con codificación Reed-Solomon con ayuda del VI desarrollado. Se les hicieron las siguientes preguntas específicas:

1. ¿El instrumento virtual utilizado ayudó en la comprensión de la temática de corrección de errores en un sistema de comunicaciones?
2. ¿El instrumento virtual facilitó la variación de los parámetros de la experiencia?
3. ¿Considera ventajosa la utilización de programación gráfica para la comprensión de las temáticas de telecomunicaciones?
4. ¿Considera que podría reemplazarse fácilmente la etapa de codificación y probar el desempeño de otro código para corrección de errores?
5. ¿Se aprecia claramente la corrección de errores en la gráfica resultante?
6. ¿Quedó satisfecho con el laboratorio desarrollado?

Los estudiantes analizados podían responder a las preguntas según la siguiente escala de valoración: 1 - totalmente en desacuerdo; 2 - en desacuerdo; 3 - ni de acuerdo ni en desacuerdo; 4 - de acuerdo; 5 - totalmente de acuerdo. El total de respuestas a cada pregunta se aprecia en la tabla x.



**Figura 8.** En la gráfica se aprecia que la mayoría de los estudiantes responden favorablemente a las preguntas

No se puede desconocer que se requiere introducción a programación gráfica para aprovechar mejor una herramienta como esta, como se observa en el resultado de la pregunta 3.

## Conclusiones

Se revisaron las ventajas que conllevan la utilización de LabVIEW como herramienta de enseñanza de las comunicaciones y se explicó el modelo de sistema de comunicaciones (Figura 1) implementado, describiendo los VI utilizados para su implementación. Se explicó la metodología a utilizar para realizar las pruebas que mostrarían la corrección de errores provista por la codificación utilizada con un diagrama de flujo y se procedió con la ejecución del VI desarrollado. El instrumento virtual desarrollado se constituye en una herramienta útil en la enseñanza de las telecomunicaciones modernas, dada la facilidad de experimentación y prueba que implica, abordando temas tan complejos como los tratados en este trabajo: las codificaciones para la corrección de errores en recepción, Reed-Solomon, y las modulaciones digitales de alto orden QAM. Cabe anotar que aunque no se ha requerido un gran desarrollo matemático para implementar el código del transceptor (dada la facilidad implícita en la utilización de LabVIEW, debido a que los VI ejecutan los procesos internamente y de forma transparente al desarrollador), este sí será requerido para comprender el funcionamiento del sistema, por lo

que esta herramienta se constituye en un complemento al curso teórico de comunicaciones digitales. El VI del sistema desarrollado está pensado para ser ejecutado por el estudiante, identificando cada una de las etapas del modelo y visualizando las gráficas de corrección de errores para cada modulación seleccionada en el panel frontal. La gráfica presentada en este documento (Figura 7) muestra de manera concurrente los resultados de cada modulación en las tres pruebas realizadas (teórica, sin codificación y con codificación). Fue realizada con ayuda de Excel.

Con el aumento del orden de la modulación, incrementa el valor de  $E_b/N_0$  a partir del cual inicia la corrección de errores. El sistema modelado sin codificación presenta un desempeño similar al esperado según lo que muestra la curva teórica trazada para cada esquema, y la gráfica resultante permite observar claramente el desempeño en corrección de errores del código Reed-Solomon ( $204,188, t = 8$ ).

### Referencias

- [1] H. Páez-Logreira, V. Zabala-Campo, and R. Zamora-Musa, "Análisis y actualización del programa de la asignatura Automatización Industrial en la formación profesional de ingenieros electrónicos," *Rev. Educ. en Ing.*, 2016.
- [2] R. Zamora, *Análisis de requerimiento para la implementación de laboratorios remotos*. Barranquilla: Educosta, 2011.
- [3] W. Zhan, J. R. Porter, and J. A. Morgan, "Experiential Learning of Digital Communication Using LabVIEW," *IEEE Trans. Educ.*, Vol. 57, No. 1, (2014).
- [4] P. J. Moriarty, B. L. Gallagher, C. J. Mellor, and R. R. Baines, "Graphical computing in the undergraduate laboratory: Teaching and interfacing with LabVIEW," *Am. J. Phys.*, Vol. 71, No. 10, (2003) 1062–1074.
- [5] T. B. Welch and S. Shearman, "Teaching Software Defined Radio Using The USRP And LabVIEW."
- [6] A. Yayla and A. Akar, "Web Based Real Time Remote Laboratory With LabVIEW Access For Analog And Digital Communication Courses."
- [7] P. Avitabile, J. Hodgkins, T. Van Zandt, A. Butland, and D. Nicgorski, "Innovative teaching of Fourier series using LabView" in *2006 ASEE Conference, Chicago, Illinois*, 2006.
- [8] B. Franklin, C. Akujuobi, and W. Ali, "ADC automated testing using LabView software," *Age (Omaha)*, 2004.
- [9] M. Tanyel, "Putting bells & whistles on DSP toolkit of LabVIEW," in *American Society for Engineering Education*, 2011.
- [10] S. Sharad, "A biomedical engineering startup kit for Labview," in *Proc. ASEE Annu. Conf.*, 2008.
- [11] S. Walsh and I. Orabi, "Application of LabView for Undergraduate Lab Experiments On Vibrations Testing," *Age (Omaha)*, 2000.
- [12] I. Orabi, "Application of LabVIEW for undergraduate lab experiments on materials testing," *Proc. 2002 Am. Soc.*, 2002.
- [13] European Telecommunications Standard Institute, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television."
- [14] M. K. Khan, K. Mulvaney, P. Quinlan, S. O'Mahony, C. Billon, N. Kearney, J. Lopez, and T. Conway, "On the use of Reed-Solomon codes to extend link margin and communication range in low-power wireless networks," in *Proceedings of the 22nd Irish Signals and Systems Conference (ISSC)*, 2011, 124–130.
- [15] S. S. Haykin and M. Moshier, *Communication Systems*. John Wiley & Sons, Limited, 2010.
- [16] L. D. Wolfgang, P. L. Rinaldo, and J. Aliaga Arqué, *Guía internacional del radioaficionado*. Marcombo, 1993.
- [17] G. Wade, *Signal Coding and Processing*. Cambridge University Press, 1994.

Recibido el 03 de de Junio de 2016  
En forma revisada el 17 de Julio de 2017



UNIVERSIDAD  
DEL ZULIA

---

## **REVISTA TECNICA**

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

**Vol. 40. N°3, Diciembre 2017** \_\_\_\_\_

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Diciembre de 2017, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

[www.luz.edu.ve](http://www.luz.edu.ve)  
[www.serbi.luz.edu.ve](http://www.serbi.luz.edu.ve)  
[produccioncientifica.luz.edu.ve](http://produccioncientifica.luz.edu.ve)