



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**COMPARACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE IMÁGENES MEDIANTE  
TRANSFORMADA WAVELET EN SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL  
QPSK Y QAM**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Electrónico

AUTORES: David Estuardo Chinchin Galvez

Jonathan Víctor Pesantes Cedeño

TUTOR: Luis Germán Oñate Cadena

Quito-Ecuador

2022

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, David Estuardo Chinchin Galvez con documento de identificación 1721939831 y Jonathan Victor Pesantes Cedeño con documento de identificación 1753479912; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

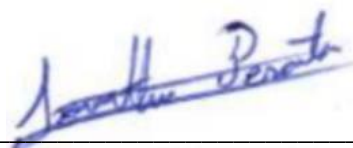
Quito, 14 de Junio del año 2022

Atentamente,



David Estuardo Chinchin Galvez

1721939831



Jonathan Victor Pesantes Cedeño

1753479912

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO  
DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, David Estuardo Chinchin Galvez con documento de identificación 1721939831 y Jonathan Victor Pesantes Cedeño con documento de identificación 1753479912, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico : “Comparación de la compresión de imágenes mediante transformada wavelet en sistemas de modulación digital qpsk y qam”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 14 de Junio del año 2022

Atentamente,

David Estuardo Chinchin Galvez

1721939831

Jonathan Victor Pesantes Cedeño

1753479912

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Germán Oñate Cadena con documento de identificación 1712157401 docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: COMPARACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE IMÁGENES MEDIANTE TRANSFORMADA WAVELET EN SISTEMAS DE MODULACIÓN DIGITAL QPSK Y QAM, realizado por David Estuardo Chinchin Galvez con documento de identificación 1721939831 y por Jonathan Victor Pesantes Cedeño con documento de identificación 1753479912, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 14 de Junio del año 2022

Atentamente,



Ing. Luis Germán Oñate Cadena MsC.  
1712157401

# Comparación de la compresión de imágenes mediante transformada wavelet en sistemas de modulación digital QPSK y QAM

David Estuardo Chinchin Galvez  
Departamento de Ingeniería  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
dchinchin@est.ups.edu.ec

Jonathan Victor Pesantes Cedeño  
Departamento de Ingeniería  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
jpesantes1@est.ups.edu.ec

Luis Germán Oñate Cadena  
Departamento de Ingeniería  
Electrónica y Telecomunicaciones  
Universidad Politécnica Salesiana  
Quito, Ecuador  
lonatec@est.ups.edu.ec

**Resumen**— En este artículo se analizó la transmisión de una imagen comprimida mediante transformada wavelet a través de dos sistemas de modulaciones QAM y QPSK, además de esto se compara con la imagen sin comprimir en los sistemas de modulación anteriormente mencionados simulados mediante el software Simulink. Para obtener datos más concretos se realizaron simulaciones con SNR de 3 a 8 dB en cada caso tomando datos como MSE, PSNR, ancho de banda y velocidad de transmisión, en los cuales se determinó el mejor modelo de transmisión teniendo un menor ancho de banda y una velocidad de transmisión más bajos.

**Abstract**— In this article, the transmission of a compressed image by means of wavelet transform was analyzed by means of two modulation systems QAM and QPSK, in addition to this it is compared with the uncompressed image in the modulation systems previously simulated by means of the Simulink software. To obtain more specific data, simulations were carried out with SNR from 3 to 8 dB in each case, taking data such as MSE, PSNR, bandwidth and transmission speed, in which the best transmission model was accelerated, having a lower bandwidth and a lower transmission speed.

## I. INTRODUCCIÓN

La compresión de imágenes se la ha realizado ya hace algún tiempo, por la necesidad de enviar imágenes a través de dos terminales o más de forma inalámbrica, pero al pasar el tiempo las imágenes aumentan en resolución y tamaño, al aumentar la resolución, aumenta la cantidad de datos que necesita la imagen enviar, es ahí donde se ocasiona el problema de métodos de compresión como el de la transformada de Fourier [1], para esto los sistemas de modulación también intervienen ya que a través de ellos se determinara la velocidad de trasmisión de la imagen, que depende de la capacidad del modulador para

enviar una imagen a determinado tiempo y dependiendo del tamaño que soporte [2].

La transformada wavelet es una función matemática que además de ser derivada de la transformada de Fourier, también es un avance de la misma, la cual proporciona un mejor ajuste a los datos con menos coeficientes, descomponiendo una función en un conjunto de wavelets [3]. En imágenes es el mismo procedimiento, lo que hace la transformada wavelet es descomponer la imagen en imágenes wavelets, una de las principales ventajas es que tiene una buena localización en tiempo y frecuencia, teniendo bases con soporte compacto [4].

En este artículo se realizó la simulación de transmisión de imágenes sin compresión e imágenes comprimidas con la transformada de wavelet a través los sistemas de modulación QAM y QPSK, los cuales se comparará su ancho de banda, velocidad de transmisión al transmitir la imagen comprimida y la relación señal a ruido SNR.

La parte II del artículo detalla las características principales de una transformada wavelet, sistemas de modulación QPSK y QAM, la velocidad y el ancho de banda en la transmisión. En la parte III se describe las simulaciones de los sistemas QPSK y QAM comparados entre si al pasar una imagen comprimida wavelet y sin imagen comprimida. En la parte IV se realiza el análisis de los parámetros y valores en gráficas de comparación de los diferentes sistemas obtenidos en el experimento.

## II. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

### A. Transformada Wavelet hacia la compresión de imágenes

La forma más eficiente de realizar la compresión de imágenes es aplicando la transformada wavelet de una dimensión primero a las filas y luego a las columnas de la imagen [5]. La transformada wavelet es un método matemático, que analiza las señales no estacionarias. Descompone una señal o función,  $f(t)$ , que ayuda a encontrar un conjunto de coeficientes  $Cf(a, b)$ , que son

parámetros de traslación y escala, eso nos da una función  $\psi(t)$  llama la wavelet madre que está dada por la siguiente ecuación [6]:

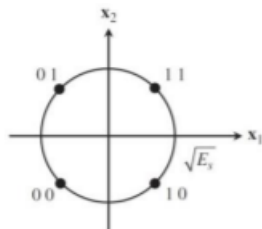
$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad [6]$$

donde "a", "b" representa la escala del tiempo y la traslación, respectivamente.

En la transformada wavelet sus funciones son o no ortonormales, lo que es distinto de las otras transformadas normalmente tratadas. El procesamiento es un poco más difícil, porque puede que la función de límite de ancho de banda esté representada por una secuencia extendida de wavelets de términos infinitos. Hay casos en los que la transformada wavelet discreta necesita algunos coeficientes mayores que el número de muestras de la función de entrada [5].

### B. Modulación QPSK

La modulación QPSK es un proceso de modulación digital, basado en los cambios de fase para representar bits de datos de información [7]. Cada cambio de fase representará diferentes pedazos de información. Como se llama fase de cuadratura, QPSK utiliza 4 fases distintas para codificar los bits. Cada fase codifica 2 bits y los agrupan como un símbolo (11, 01, 00, 10) [8].



[9]

Fig. 1 Constelación QPSK.

El ancho de banda de una señal modulada depende de la tasa de cambio de una señal y no de la magnitud de cada alteración. Por esto, el ancho de banda para QPSK es la mitad del ancho de banda BPSK [10].

### C. Modulación QAM

Modulación de Amplitud en Cuadratura (QAM), la información está contenida en amplitud y en fase de la señal que se transmite. Está basada en transmisión de dos mensajes separados y independiente camino [11]. Para esto se modula una portadora, desfasada 90° entre los mensajes. Formando dos canales ortogonales en el mismo ancho de banda, por lo que mejora en eficiencia de ancho de banda [12].

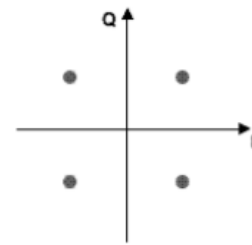


Fig. 1 Constelación QAM [13].

El ancho de banda de una señal modulada depende de la tasa de cambio de la señal y no de la magnitud de cada cambio. Por esta razón, QAM necesita la mitad del ancho de banda que QPSK [13].

### D. BER y SNR

El principal atenuador en el rendimiento de BER y SNR cuanto mayor sea la potencia de ruido, mayor será el valor de BER, lo que significa que mayor será el número de error. La investigación de Gary Breed sugiere aumentar la potencia de transmisión, ya que esto aumentará la energía de cada bit y reducirá la densidad de ruido del sistema [14].

$$BER = \frac{N \text{ Err}}{N \text{ bits}} \quad [15]$$

$$SNR(dB) = 20 \log\left(\frac{\text{Pot.Señal}}{\text{Pot.Ruido}}\right) \quad [16]$$

### E. PSNR y MSE

Para evaluar los valores generados por la simulación, se realizan mediciones para cuantificar la confiabilidad del sistema midiendo los datos de entrada y comparándolos con los datos de salida del PSNR. [17], la relación de la máxima energía posible de una señal y el ruido que afecta a la simulación, para su cálculo se hace indispensable la formulación del error cuadrático medio, que para dos imágenes monocromas I y K de tamaño MxN. A continuación, se muestra las fórmulas para el cálculo de mediciones de PSNR y MSE [18]:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \cdot \sum_{j=0}^{N-1} ||I(i,j) - K(i,j)||^2 \quad [18]$$

$$PSNR = 10 \log_{10}\left(\frac{MAX^2 I}{MSE}\right) \quad [18]$$

## III. MODELADO

Se implementó en el software Simulink dos sistemas de modulación comparados, como se ve en:

En la Figura 3 se ve el sistema de modulación QPSK simulado en simulink, por el cual va pasar una imagen comprimida wavelet.

En la Figura 4 se ve el sistema de modulación QAM simulado en simulink, por el cual va a pasar una imagen comprimida wavelet.

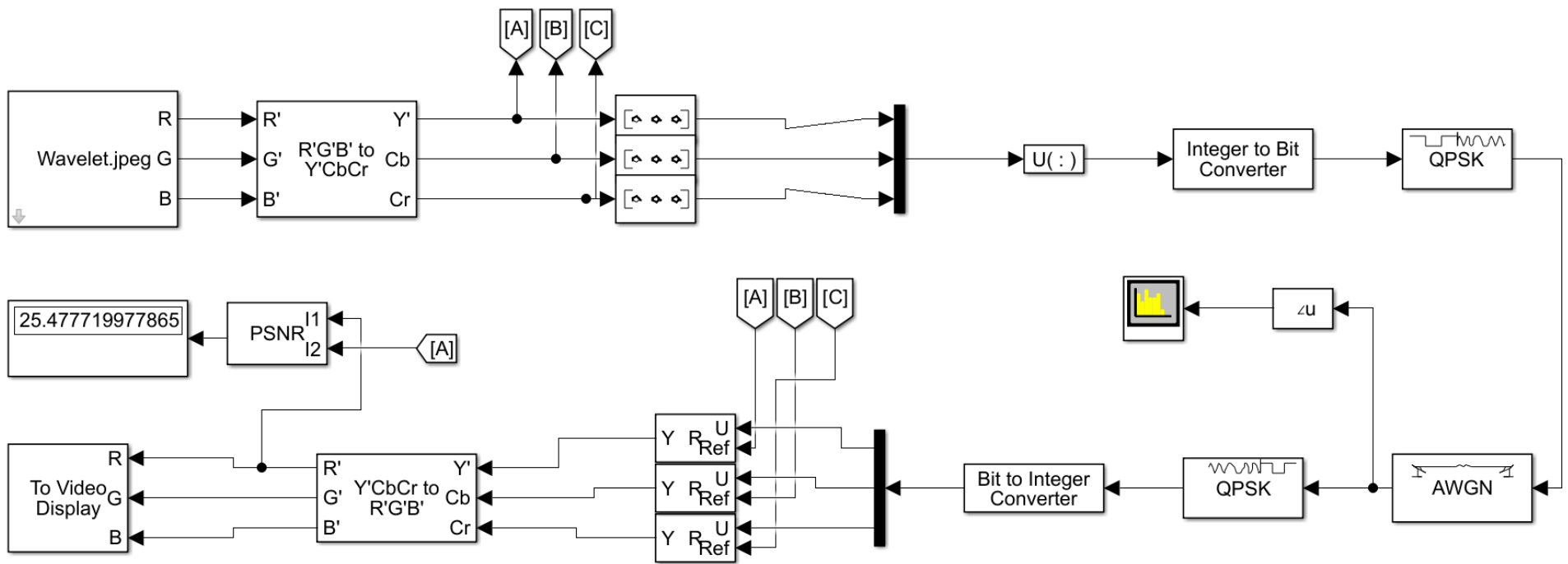


Figura 3. Diagrama de Bloques para modulación QPSK para transmisión de una imagen wavelet.

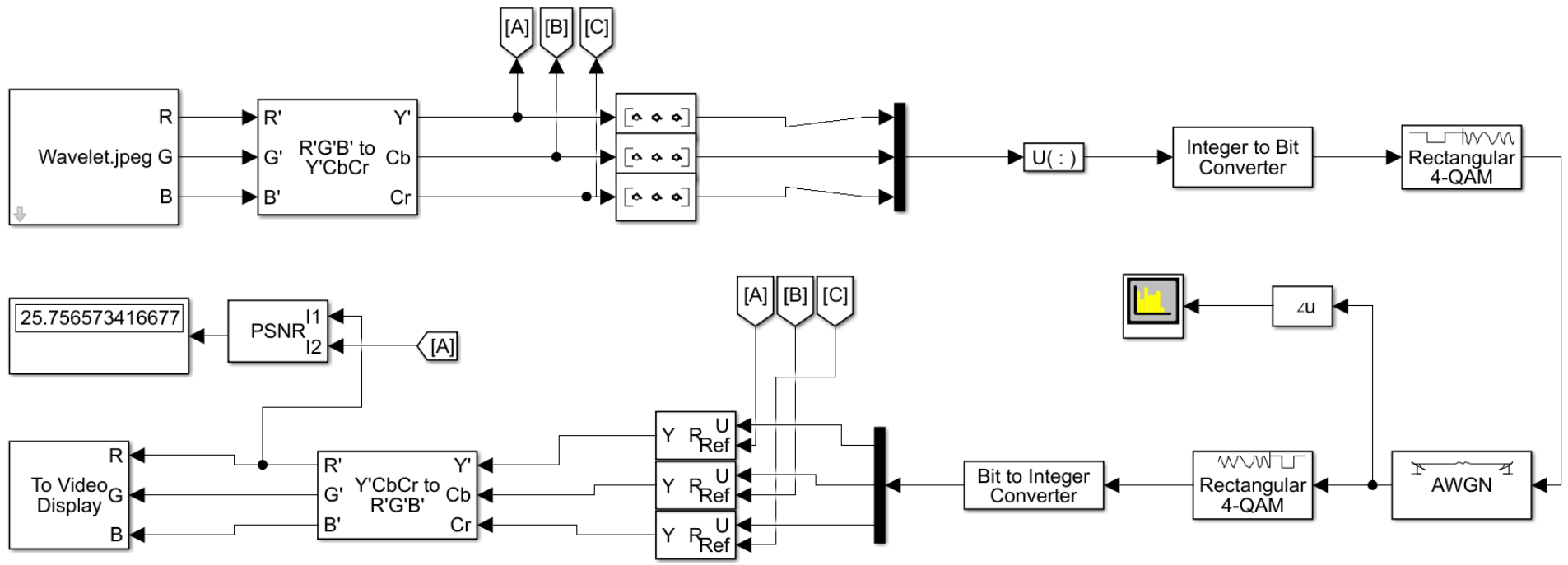


Figura 4. Diagrama de Bloques para modulación QAM para transmisión de una imagen wavelet.



En la siguiente parte, se da una explicación de los principales bloques utilizados para estas simulaciones y los parámetros especificados para su funcionamiento.

### Image From File

Este bloque da la facilidad de cargar una imagen a la simulación, proporcionando la facilidad de incluir diferentes tipos de formatos de imágenes, para estas simulaciones se usa imágenes en formato jpg, también en su salida separa las señales a color [20].

### Color Space Conversion

Este bloque de conversión de espacio de color convierte la información de color entre espacios de RGB a YCbCr.

### Reshape

Este bloque cambia la dimensionalidad proveniente del bloque Color Space Conversion de la señal de entrada a la dimensión que se especifique, utilizando el parámetro dimensionalidad de salida [21].

### Integer to Bit Converter

Este bloque recibe el vector entero proveniente del bloque Reshape y lo convierte en un vector a bits. Las entradas de bloque deben ser valores enteros en el rango  $[-2^{(M-1)}, 2^{(M-1)}-1]$  cuando se tratan como con signo y  $[0, 2^M-1]$  cuando se tratan como no firmado [20].

### Delay

Este bloque da un retardo a la entrada por la etapa de muestra que especifique [20].

### QPSK Modulator

Estos módulos dan capacidades de modulación al sistema, lo que hace la modulación de dos bits al mismo tiempo, escoge uno de las cuatro alteraciones de fase de la portadora. (0, 90, 180 o 270). [22].

### QAM Modulator

Estos bloques permiten convertir una señal digital en una señal compleja. El modelo modula la señal en una secuencia de números complejos que se encuentran en una red de puntos en el plano complejo, conocida como la constelación de la señal. Un gráfico de estos puntos se denomina diagrama de dispersión o diagrama de constelación de la señal [20].

### AWGN

Este bloque es para el canal AWGN (Add White Gaussian Noise), que incluye ruido al sistema, simulando un sistema de comunicación Para probar y cuantificar la relación señal-ruido (SNR) y los valores BER, se ha decidido utilizar el modo SNR para cambiar el nivel de ruido gaussiano blanco en el módulo AWGN. El módulo AWGN tiene una relación inversa cuando se trabaja en el

modo de variación de SNR, donde cuanto menor sea el valor de SNR, mayor será la cantidad de ruido que ingresa al sistema.

### QAM Demodulator

Este bloque después de pasar por el bloque H permite convertir la señal compleja recibida en una señal digital, después de hacer el proceso inverso del bloque F.

### QPSK Demodulator

Este bloque brinda al sistema la capacidad de demodular uno de los cuatro posibles alteraciones de fase de la portadora (0, 90, 180 o 270) seleccionados en bits después de pasar por el bloque AWGN.

### Video Viewer

Este bloque proporciona controles de simulación para reproducir, pausar y avanzar mientras se transmite una secuencia de video o imagen. Este bloque también proporciona herramientas para analizar los píxeles de una región de interés [19]

## IV. RESULTADOS

En la primera simulación se realizó una comparación de valores a través de un sistema de modulación QPSK con una imagen sin compresión y otra imagen con compresión wavelet, donde se obtuvo resultados de los valores de SNR entre 3 y 8 dB, como se verá en la Tabla 1 y Tabla 2.

SNR	MSE	PNSR	BW(KHz)	Vel.Tansmisión(Kb/s)
3	1,333E3	16,880	2,357	4,714
4	815,605	19,016	1,723	3,446
5	483,370	21,288	1,527	3,054
6	296,606	23,409	1,492	2,984
7	213,491	24,837	1,378	2,756
8	183,476	25,495	1,377	2,754

Tabla 1. Valores de simulación a través de un sistema de modulación QPSK sin compresión

SNR	MSE	PNSR	BW(KHz)	Vel.Tansmisión(Kb/s)
3	1.332E3	16.884	1.881	3,762
4	815.230	19.018	1.376	2,752
5	483.593	21.286	1.318	2,636
6	296.742	23.407	1.313	2,626
7	212.266	24.862	1.279	2,558
8	183.476	25.489	1.278	2,556

Tabla 2. Valores de simulación a través de un sistema de modulación QPSK con compresión wavelet

En la Tabla 3 y Tabla 4 se compara los valores en SNR=8, en los cuales se puede ver que tendremos valores de MSE iguales en los dos casos, pero bajos, un ancho de banda y la velocidad de transmisión más baja en el caso de la imagen comprimida wavelet, en el caso del ancho de banda se puede observar que ocupará un menor ancho de banda la imagen comprimida wavelet por lo que ocupará un menor tamaño al enviar la imagen por el sistema de

modulación QPSK, además se observa que la velocidad será menor en la imagen comprimida wavelet.

SNR	MSE	PNSR	BW(KHz)	Vel.Tansmisión(Kb/s)
8	183,476	25,495	1,377	2,754

Tabla 3. Valores de simulación a través de un sistema de modulación QPSK con imagen sin compresión con SNR 8

SNR	MSE	PNSR	BW(KHz)	Vel.Tansmisión(Kb/s)
8	183.476	25.489	1.278	2,556

Tabla 4. Valores de simulación a través de un sistema de modulación QPSK con imagen con compresión wavelet con SNR 8

Se comparan las imágenes con menor ruido, las cuales son las de SNR=8 como se ve en Figura 5 y Figura 6, donde se pueden visualizar imágenes con muy poco ruido y visibles.



Figura 5: Imagen sin compresión a través de un sistema de modulación QPSK con SNR=8



Figura 6: Imagen con compresión wavelet a través de un sistema de modulación QPSK con SNR=8

En la segunda simulación se realizó una comparación de valores a través de un sistema de modulación QAM con una imagen sin compresión y otra imagen con compresión wavelet, donde se obtuvo resultados de los valores de SNR entre 3 y 8 dB, como se ve en la Tabla 5 y Tabla 6.

SNR	MSE	PNSR	BW	Vel.Tansmisión(Kb/s)
3	1.321E3	16.921	1,413	2,826
4	818.239	19.002	1,314	2,628
5	482.370	21.297	1,261	2,522
6	296.606	23.409	1,263	2,526
7	211.047	24.887	1,264	2,528
8	182.255	25.524	1,262	2,524

Tabla 5. Valores de simulación a través de un sistema de modulación QAM sin compresión

SNR	MSE	PNSR	BW	Vel.Tansmisión(Kb/s)
3	1.319E3	16.928	1,365	2,730
4	817.297	19.007	1,317	2,634
5	481.593	21.304	1,333	2,666
6	296.538	23.410	1,332	2,664
7	211.193	24.884	1,332	2,664
8	182.381	25.521	1,320	2,640

Tabla 6. Valores de simulación a través de un sistema de modulación QAM con compresión wavelet

En la Tabla 7 y Tabla 8 se compara los valores en SNR=8, en los cuales se puede ver que tendremos un valor mayor valor de MSE en el caso de la imagen comprimida, un ancho de banda y la velocidad de transmisión más baja en el caso de la imagen sin comprimir, en el caso del ancho de banda se puede observar que ocupará un menor ancho de banda la imagen sin comprimir por lo que ocupará un menor tamaño al enviar la imagen por el sistema de modulación QAM, además se observa que la velocidad será menor en la imagen sin comprimir.

SNR	MSE	PNSR	BW	Vel.Tansmisión(Kb/s)
8	182.255	25.524	1,262	2,524

Tabla 7. Valores de simulación a través de un sistema de modulación QAM con imagen sin compresión con SNR 8

SNR	MSE	PNSR	BW	Vel.Tansmisión(Kb/s)
8	182.381	25.521	1,320	2,640

Tabla 8. Valores de simulación a través de un sistema de modulación QAM con imagen con compresión wavelet con SNR 8

Se comparan las imágenes con menor ruido, las cuales son las de SNR=8 como se ve en Figura 7 y Figura 8, donde se pueden visualizar imágenes con muy poco ruido y visibles.



**Figura 7: Imagen sin compresión a través de un sistema de modulación QAM con SNR=8**



**Figura 8: Imagen con compresión wavelet a través de un sistema de modulación QAM con SNR=8**

En este caso se puede ver que la imagen original tendrá una mejor transmisión a través del canal de modulación QAM teniendo un ancho de banda menor y se transmitirá a una menor velocidad.

En la tercera comparación de valores QAM y QPSK con una imagen comprimida wavelet, se obtuvo resultados de los valores de SNR entre 3 y 8 dB, como se verá en la Tabla 2 y Tabla 6, se comparan las imágenes con menor ruido, las cuales son las de SNR=8 como se ve en Figura 6 y Figura 8, obteniendo diferentes datos como se ve en Tabla 3 y Tabla 7, en los cuales se puede observar que se tiene valores de MSE más bajo en el caso de la imagen comprimida wavelet a través de un sistema QAM.

En este caso se puede ver que la imagen wavelet a través de un canal QPSK tendrá una mejor transmisión a través del canal de modulación QAM teniendo un ancho de

banda menor y se transmitirá a una menor velocidad, en comparación con la imagen comprimida wavelet QAM.

En la cuarta comparación de valores QAM y QPSK con una imagen sin comprimir, se obtuvo resultados de los valores de SNR entre 3 y 8 dB, como se verá en la Tabla 1 y Tabla 5, se comparan las imágenes con menor ruido, las cuales son las de SNR=8 como se ve en Figura 5 y Figura 7, obteniendo diferentes datos como se ve en Tabla 4 y Tabla 8, en los cuales se puede ver que tendremos valores de MSE más bajo en el caso de la imagen sin comprimir a través de un sistema QPSK.

En este caso se puede ver que la imagen sin comprimir a través de un canal QAM tendrá una mejor transmisión a través del canal de modulación QAM teniendo un ancho de banda menor y se transmitirá a una menor velocidad, en comparación con la imagen sin comprimir QPSK.

## V. CONCLUSIONES

Se observa que llegando aun SNR de 8 dB, las imágenes se transmiten con buena calidad, con muy poco ruido casi imperceptible al ojo humano, tanto en imágenes comprimidas wavelet QPSK y QAM y en el caso de imágenes sin comprimir QPSK y QAM.

Por los valores tomados en las cuatro simulaciones se puede ver que la mejor opción de modulación para transmitir una imagen es la QAM a través de una imagen sin comprimir, con un ancho de banda de 1,262 resultando el ancho de banda más bajo entre las cuatro comparaciones realizadas y un MSE de 182,255 que también es el menor entre las cuatro simulaciones, sólo tendrá una menor velocidad de transmisión con 2,524.

Para las imágenes comprimidas wavelet tendremos que el mejor modelado para transmitir la imagen comprimida es QPSK, debido a que posee un ancho de banda de 1,278 y una velocidad de transmisión de 2,556 los cuales serán menores a QAM teniendo un ancho de banda de 1,320 y una velocidad de transmisión de 2,640.

## VI. REFERENCIAS

- [1] X.-P. H. B. F. y L. X. Zheng-Hong Huang, «Image denoising and comparison by improving threshold based on the dyadic wavelet transform,» vol. 2, pp. 535-539, 2007.
- [2] M. Z. e. al, «Demonstration of tunable and automatic frequency/phase locking for multiple-wavelength QPSK and 16-QAM homodyne receivers using a single nonlinear element,»

- Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), 2015.
- [3] H. O. G. Espinoza, «Aplicación de la Transformada Wavelet y el Método LEVEL SET para el Filtrado y segmentación de imágenes,» Facultad de Ingenierías, Cuenca, 2012.
- [4] I. W. J. D. C. -. I. R. A. Cavallero, «Sobre wavelets e imagenes,» Universidad Tecnológica Nacional, Córdoba, 2006.
- [5] A. M. Ruedin, «Compresión de imágenes con wavelets separables y wavelets no-separables,» Departamento de Computación, Buenos Aires .
- [6] F. G. Q. USHÑA, «Localización de fallas en sistemas de transmisión eléctrica usando la transformada de wavelet,» Quito, 2017.
- [7] E. M. S. Cruz, «Diseño y Simulación de Estructuras Multirazón para la Sincronización del Símbolo en Software Radio,» INAOE, Tonantzintla, Puebla, 2008.
- [8] E. S.-M. M. L.-V. A. M.-T. Adiono, «Implementation of Baseband Transmitter Design based on QPSK Modulation on Zynq-7000 All-Programmable System-on-Chip,» Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia, 2017.
- [9] G. A. Á. Beltrán, «Impacto de la distorsión armónica de amplificadores de potencia sobre la distorsión de señales moduladas digitalmente,» CICESE, Ensenada, Baja California, México, 2014.
- [10] F. Didactic, «Quadrature Phase Shift Keying (QPSK/DQPSK),» Telecommunications Communications Technologies, Canada, 2016.
- [11] M. E. R. Rivera, «Análisis de la compresión de imágenes utilizando clustering bajo el enfoque de colonia de hormigas,» *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, pp. 118-131, 2013.
- [12] I. H. Rioja, «Procesado Digital de la Señal en Comunicaciones,» Electronica y Telecomunicaciones, 2002.
- [13] F. Didactic, «Quadrature Amplitude Modulation (QAM/DQAM),» Festo Didactic, Canada, 2016.
- [14] A. Bateman, «Comunicaciones Digitales- Diseño para el mundo real,» Marcombo Boixareu Editores, 2017.
- [15] J. L. y. H. L. X. Yu, Performance analysis of adaptive filters for time-varying systems, vol. 32, IEEE, 2013, pp. 1-2.
- [16] D. S. y. N. Deepak, LMS Adaptive Filters for Noise Cancellation: A Review, vol. 7, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 2017, pp. 2520-2523.
- [17] M. S. A. E. y. M. G. «Investigating the PSNR calculation methods for video sequences with source and channel distortions,» UTC from IEEE Xplore, 2014.
- [18] J. H. Mehta, «Relation between Entropy and Peak Signal to Noise Ratio in Prediction Error Expansion Considering Region of Interest,» Mumbai, India, 2019.
- [19] MatLab, «Mathworks,» Mathworks Inc, 1994-2020. [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/products/matlab.html>. [Último acceso: 01 10 2020].
- [20] D. E. P.-J. Delgado, «Wavelets y Superresolución,» UAM-Iztapalapa, 2012.
- [21] G. P. G.-H. S. Escobar, «Compresión de imágenes,» Universidad EAFIT, Medellín.
- [22] T. C. a. T. Tjahjadi, Image Resolution Enhancement Using Dual-Tree Complex Wavelet Transform, vol. 7, IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 2010, pp. 554-557.
- [23] V. Chappelier y C. Guillemot, «Oriented Wavelet Transform for Image Compression and Denoising,» vol. 15, nº 10, pp. 2892-2903, 2006.
- [24] M. A. S. A. E. a. M. G. A. T. Nasrabadi, «Investigating the PSNR calculation methods for video sequences with source and channel distortions,» IEEE, 2014.
- [25] J. P. I. P. V. B. Francisco Buchelly, «Identificación de rasgos faciales mediante técnicas de procesamiento de imágenes,» IEEE Bienal Congreso de Argentina (ARGENCON), Mar del Plata - Argentina, 2016.
- [26] I. Daubechies, «Ten Lectures on Wavelets,» 1992.

- [27] G. A. H. L. Arthur A, Modeling of digital communication systems using simulink, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. All rights reserved, 2015.
- [28] H. Ghuge, «QPSK usando MATLAB,» HEMANT GHUGE (2022). QPSK-usando-MATLAB (<https://github.com/hemantghuge/QPSK-usando-MATLAB>), GitHub. Recuperado 30 de enero de 2022., 2018.
- [29] L.-Z. C. Guang-Quan Cheng, «A new image compresion viaadaptive wavelet transform,» IEEE, Beijing, China, 2007.
- [30] C. L. Jesús, «Aplicación de la transformada wavelet en la caracterización de señales eléctricas,» Bilbao, 2018.