

Evaluación del impacto de la modulación en la transmisión de datos mediante Data Over Sound en radio FM

Impact Evaluation of Modulation on Data Transmission using Data Over Sound in FM Radio

Leonardo Fabián Rentería Bustamante^{1[0000-0003-0056-5602]}, Eduardo Daniel Haro Mendoza^{1[0000-0001-6157-2369]},
Celia Margarita Mayacela Rojas^{1,2[0000-0002-7430-9743]}, José Luis Jínez Tapia^{1[0000-0002-4113-0579]}

^{1,2,3,4} Universidad Nacional de Chimborazo. Facultad de Ingeniería. Riobamba. Ecuador.

² Universidad Técnica de Ambato (UTA). Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Av. Los Chasquis y Rio Payamino. 180207. Ambato - Ecuador

{¹leonardo.renteria, ²dharo, ³celia.mayacela, ⁴jjinez}@unach.edu.ec, ³cm.mayacela@uta.edu.ec

CITA EN APA:

Rentería Bustamante, L. F., Haro Mendoza, E. D., Mayacela Rojas, C. M., & Jínez Tapia, J. L. (2025). Estudio del efecto de la modulación en la tasa de error de la transmisión de datos usando la técnica Data Over Sound sobre FM (DoS FM). *Tesla Revista Científica*, 5(1), e470. <https://doi.org/10.55204/trc.v5i1.e470>

Recibido: 2025-03-05

Revisado: 2025-03-15 al 2025-04-09

Corregido: 2025-04-20

Aceptado: 2025-05-03

Publicado: 2025-05-12

TESLA

Revista Científica

ISSN: 2796-9320



Los contenidos de este artículo están bajo una licencia de Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Los autores conservan los derechos morales y patrimoniales de sus obras. The contents of this article are under a Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license. The authors retain the moral and patrimonial rights of their works.

Resumen. La tecnología Data Over Sound (DoS) ofrece una alternativa innovadora para la transmisión de datos utilizando señales acústicas. Este estudio presenta un análisis comparativo del efecto del tipo de modulación en la tasa de error de transmisión utilizando DoS sobre radio FM. Se implementó una arquitectura de comunicación DoS FM para transmitir y recibir un mensaje de texto a diferentes velocidades de bits y con diferentes tipos de modulación FSK, BPSK y QPSK. Mediante pruebas experimentales y el análisis estadístico ANOVA y prueba post hoc de Tukey, se comprobó que existen diferencias significativas en la tasa de error entre las modulaciones, siendo FSK la más eficiente con una tasa de error solo del 37% frente al 57% y 64% de BPSK y QPSK respectivamente. El estudio se complementa con una revisión del estado del arte, comparando los resultados obtenidos con investigaciones previas internacionales. Se evidencia que, aunque existen desarrollos que logran tasas de transmisión superiores en entornos controlados o frecuencias ultrasónicas, el enfoque aquí propuesto destaca por su aplicabilidad práctica, bajo costo, compatibilidad con equipos convencionales y el alcance potencial que depende casi por completo de la cobertura de los medios de comunicación de radio FM tradicionales.

Palabras Clave: Modulación, datos sobre sonido, tasa de error, transmisión de datos.

Abstract: Data Over Sound (DoS) technology offers an innovative alternative for data transmission using acoustic signals. This study presents a comparative analysis of the effect of modulation type on the transmission error rate of a DoS system over FM radio. An FM DoS communication system was implemented to transmit and receive text messages at different rates and using different types of modulation: FSK, BPSK, and QPSK. Through experimental testing and statistical analysis using ANOVA and Tukey's post hoc test, it was confirmed that there are significant differences in the error rate among the modulations, with FSK being the most efficient, presenting an error rate of 37%, while BPSK and QPSK showed 57% and 64% respectively. The study is complemented by a review of the state of the art, comparing the results with previous international research. It is evident that, although other developments achieve higher transmission rates in controlled environments or using ultrasonic frequencies, the approach proposed here stands out for its practical applicability, low cost, compatibility with conventional equipment, and the potential in terms of transmission range which depends almost entirely on the coverage of traditional FM radio systems.

Keywords: Modulation, data over sound, error rate, data transmission.

1. INTRODUCCIÓN

En muchas regiones rurales del mundo, incluidas las del Ecuador, el acceso a internet sigue siendo limitado debido a la falta de infraestructura, altos costos de implementación y mantenimiento, así como una baja densidad de población, que desincentiva la inversión de proveedores de telecomunicaciones. La brecha digital en América Latina persiste, especialmente en las zonas rurales, afectando el acceso a información, educación y servicios básicos (Salinas, 2025). Aunque se ha avanzado en la expansión de la cobertura, muchas comunidades aún no cuentan con una conexión confiable. Solo el 27% de los hogares rurales ecuatorianos dispone de internet, frente al 67% en áreas urbanas (Boné-Andrade, 2023).

Esta desigualdad tiene un impacto notable en el ámbito educativo. La falta de conectividad impide el acceso a plataformas digitales, recursos de aprendizaje y formación docente. Durante la pandemia de COVID-19, más del 60% de los estudiantes rurales no pudo continuar sus estudios virtuales por la carencia de conexión o dispositivos adecuados (Gordón, 2020). En contraste, en las zonas urbanas, la disponibilidad de recursos tecnológicos y la cercanía a instituciones educativas favorecieron una mejor calidad del aprendizaje y mayores tasas de graduación (Cruz et al., 2025). El acceso a la educación superior en áreas rurales también se ve afectado por la distancia a los centros universitarios, la falta de información, las limitaciones económicas y la escasa capacitación docente (Marcelo et al., 2025; Molina-Pacheco & Mesa-Jiménez, 2018).

Frente a esta situación, la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL) ha subrayado la necesidad de políticas públicas inclusivas que fomenten el acceso equitativo a la conectividad y la adopción de tecnologías apropiadas en zonas vulnerables (Boné-Andrade, 2023). Sin embargo, su implementación enfrenta obstáculos como la escasa inversión, el bajo nivel de alfabetización digital y una regulación incipiente. Ante esta problemática, tecnologías emergentes como la transmisión de datos mediante sonido (Data Over Sound, DoS), el internet satelital de bajo costo y las redes comunitarias se perfilan como alternativas innovadoras para reducir la brecha digital. Estas soluciones pueden operar en entornos adversos o reutilizando instalaciones tecnológicas tradicionales, lo que las hace especialmente útiles en áreas rurales.

En este sentido, DoS emerge como una solución innovadora que aprovecha dispositivos de audio comunes para facilitar la conectividad, sin requerir inversiones en hardware especializado (Rentería et al., 2023). Esta tecnología permite enviar datos a través de señales acústicas, lo que la convierte en una opción viable para escenarios con restricciones tecnológicas. El creciente interés en DoS se debe a su capacidad de transmitir datos mediante ondas acústicas a través del aire, permitiendo la comunicación entre dispositivos sin recurrir a redes tradicionales como Wi-Fi, Bluetooth o cables físicos. Esta característica la hace especialmente valiosa en lugares alejados o en situaciones de emergencia.

A nivel internacional, se han desarrollado diversas aplicaciones de modulación acústica. Por ejemplo, Iannacci y Huang (2015) presentaron *ChirpCast*, un equipo para transmitir claves de acceso mediante señales ultrasónicas. Nandakumar et al. (2016) diseñaron un método ultrasónico capaz de enviar

datos inaudibles para el oído humano, con tasas de hasta 2.4 kbps. Hallale et al. (2017) propusieron un enfoque basado en esteganografía y cifrado para ocultar datos en audio, mejorando la seguridad en la transmisión. Fade et al. (2023), implementaron un programa para teléfonos inteligentes, alcanzando una velocidad de 32 bps a una distancia de 1 metro. Por su parte, Kim et al. (2019) desarrollaron un algoritmo de control de secuencia y corrección de errores que permite la comunicación simultánea entre cinco dispositivos móviles, con una distancia de operación de hasta 3 metros.

En el ámbito ecuatoriano, Rentería et al. (2023) propusieron un dispositivo que combina DoS con radio FM (DoS FM) para transmitir datos. Su estudio demostró que es posible codificar y enviar información digital a través de una portadora de audio FM, utilizando modulación por amplitud y frecuencia, permitiendo la recepción en cualquier dispositivo sintonizado en la misma frecuencia. Esta propuesta destaca por su viabilidad, ya que la mayoría de las personas dispone de receptores FM, lo que la convierte en una solución accesible para comunidades aisladas.

A este respecto, la presente investigación tiene como objetivo comparar distintas técnicas de modulación aplicadas a DoS, evaluando su rendimiento en términos de tasa de error y a distintas velocidades de transmisión de datos usando la radio FM.

2. METODOLOGÍA

En este estudio, se ha adoptado un enfoque experimental y comparativo, mediante el cual se evalúan distintas modulaciones para la transmisión de datos sobre sonido a través de la radio FM en escenarios controlados y con diferentes tasas de baudios.

Las unidades de análisis corresponden a mensajes de texto plano codificados en un archivo de audio mediante DoS y transmitidos usando la radio FM. Se aplicaron distintas técnicas de modulación: FSK (Frequency Shift Keying) (Indriyanto & Edward, 2018), BPSK (Binary Phase-Shift Keying) (Middlestead, 2017) y QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) (Chowdhury et al., 2017) a diferentes velocidades de datos.

Para la recolección de datos, se emplearon pruebas experimentales utilizando un dispositivo de transmisión de radio FM y otro de recepción. Con la ayuda de un software especializado se codificó un mensaje de texto plano aplicando la técnica DoS con varios tipos modulaciones y se determinó el error a con distintas velocidades.

Con el fin de conseguir los objetivos planteados, esta investigación se desarrolló en tres fases. En la primera, se llevó a cabo un estudio minucioso de la tecnología DoS para aprender y comprender los lineamientos referentes con la misma, así como conocer las técnicas de modulación utilizadas y seleccionar las más adecuadas. Como resultado, para la codificación del texto en audio se decidió implementar FSK, BPSK y QPSK cuyas características principales se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Comparativa entre técnicas de modulación digital usadas en DoS.

Modulación	Codificación	Baudios	Ventajas	Desventajas
FSK	Un bit	f_b	Protección contra el ruido.	Mayor muestreo de Información Mayores pérdidas.

BPSK	Un bit	f_b	Bajo ruido	Problemas en la sincronización.
QPSK	Bibit	$f_b/2$	Admite mayor tasa de datos.	Más vulnerable al ruido.

Nota. f_b , velocidad de transmisión de los bits.

En la segunda fase, se implementó un sistema de comunicación FM (figura 1), similar al descrito por Rentería et al. (2023), para transmitir un mensaje de texto aplicando DoS. Este consta de un bloque de transmisión y uno de recepción. En el proceso de transmisión, el usuario escribe el mensaje que desea enviar, luego, cada carácter se convierte en datos binarios y se añade un encabezado que facilita la detección del inicio del mensaje enviado, se codifica en un archivo de audio y se envía. En el receptor, la señal FM es recibida por un sintonizador de FM tradicional, el audio es extraído y decodificado en bits, los mismos que se transforman en caracteres y ordenan para presentar el mensaje de texto original.

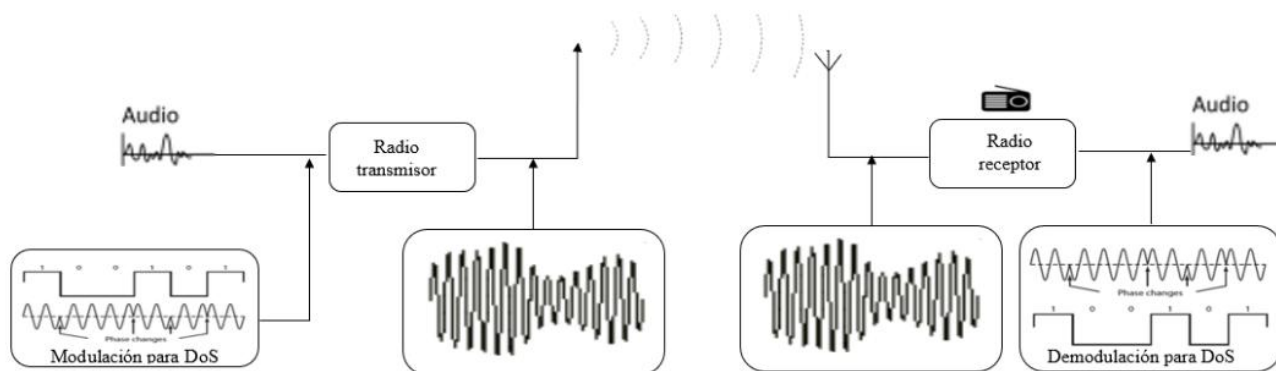


Figura 1. Sistema de comunicación DoS FM.

En la tercera y última fase se evaluó el desempeño del esquema de comunicaciones en términos del error de transmisión. Las variables planteadas y su relación de dependencia se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Operacionalización de las variables

Nombre	Descripción	Indicador	Técnica e instrumento	Tipo
Tasa de error	Refiere a la relación entre los datos perdidos y transmitidos	Porcentaje	Software	Dependiente
Tipo de modulación	Refiere al tipo de modulación utilizada para codificar los bits en audio.	Nominal tipo: FSK, BPSK, QPSK	Observación directa	Independiente

La población de datos estuvo conformada por 300 valores de la tasa de error con diferentes modulaciones FSK, BPSK y QPSK, a diferentes velocidades de transmisión de bits 4800, 9600, 19200, 76800 y 115200; 20 datos para cada una de ellas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para determinar la técnica de modulación que muestra el mejor desempeño en la comunicación DoS FM se planteó la siguiente hipótesis:

- La técnica de modulación utilizada en DoS FM no tiene efecto en la tasa de error de transmisión.

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma_3^2$$

- La técnica de modulación en DoS FM si tiene efecto en la tasa de error de transmisión.

$$H1: \sigma_i^2 \neq \sigma_j^2 \quad \forall 1 < i < 3, 1 < j < 3; i \neq j$$

Donde:

$$\sigma_1^2 \rightarrow \text{Modulación FSK}$$

$$\sigma_2^2 \rightarrow \text{Modulación BPSK}$$

$$\sigma_3^2 \rightarrow \text{Modulación QPSK}$$

Para comprobar la hipótesis, se aplicó la prueba ANOVA de un factor (Pineda Marín, 2013) cuyos resultados se muestran en la Tabla 3. Como se puede apreciar, el valor de significancia (p-valor) es menor a 0.05; por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa, es decir, existe una diferencia significativa en al menos una técnica de modulación.

Tabla 3

Resultado de la prueba ANOVA para la prueba de hipótesis de la tasa de error.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,249	2	1,625	12,627	0,000
Dentro de grupos	31,749	237	0,134		
Total	34,999	230			

Si bien la prueba anterior demuestra que hay diferencia en al menos una técnica de modulación, no es posible determinar cuál o cuáles son diferentes. Para este fin, se aplicó un análisis post hoc de Tukey (Brown, 2005). Como se muestra en la Tabla 4, la tasa de error de la modulación FSK es la única que difiere, mientras que la tasa de error de las modulaciones BPSK y QPSK son estadísticamente iguales.

Tabla 4

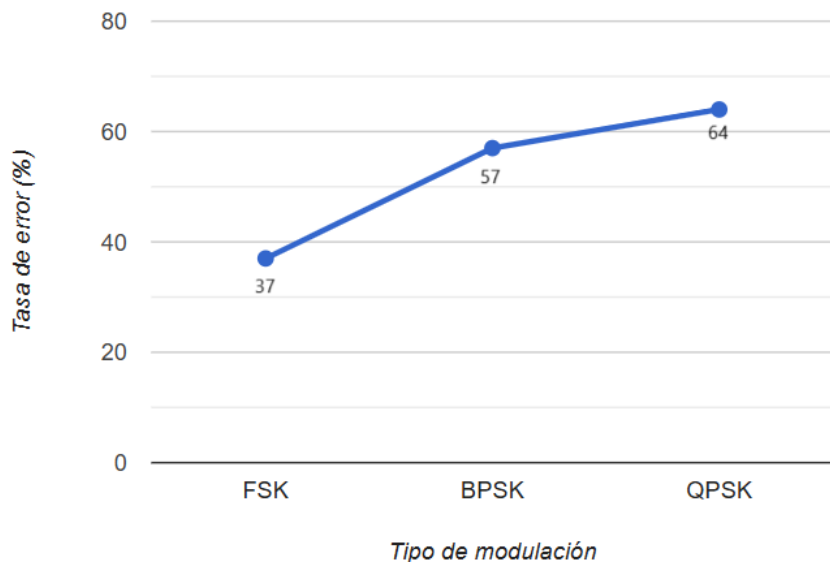
Resultado de la prueba *post hoc de Tukey* para la tasa de error con alfa = 0.05.

Técnica de modulación	N	Grupo 1	Grupo 2
FSK	80	0,3731	
BPSK	80		0,5734
QPSK	80		0,6488
Sig.		1	0,399

Una vez determinada la existencia de diferencias significativas en la tasa de error entre las técnicas de modulación evaluadas, se procedió a identificar cuál de ellas ofrece el mejor rendimiento. Como se observa en la Figura 2, la modulación FSK presenta la tasa de error más baja en comparación con BPSK y QPSK. Por lo tanto, puede considerarse como la más eficiente para su implementación en DoS sobre FM.

Figura 2.

Diagrama de medias del error en función del tipo de modulación.



Asimismo, la modulación FSK demostró un mejor rendimiento en relación con las distintas velocidades de transmisión (Tabla 5). Sin embargo, como era de esperarse, a medida que aumenta la velocidad, aumenta también la tasa de error, esto se observa en todos los casos (véase figura 3).

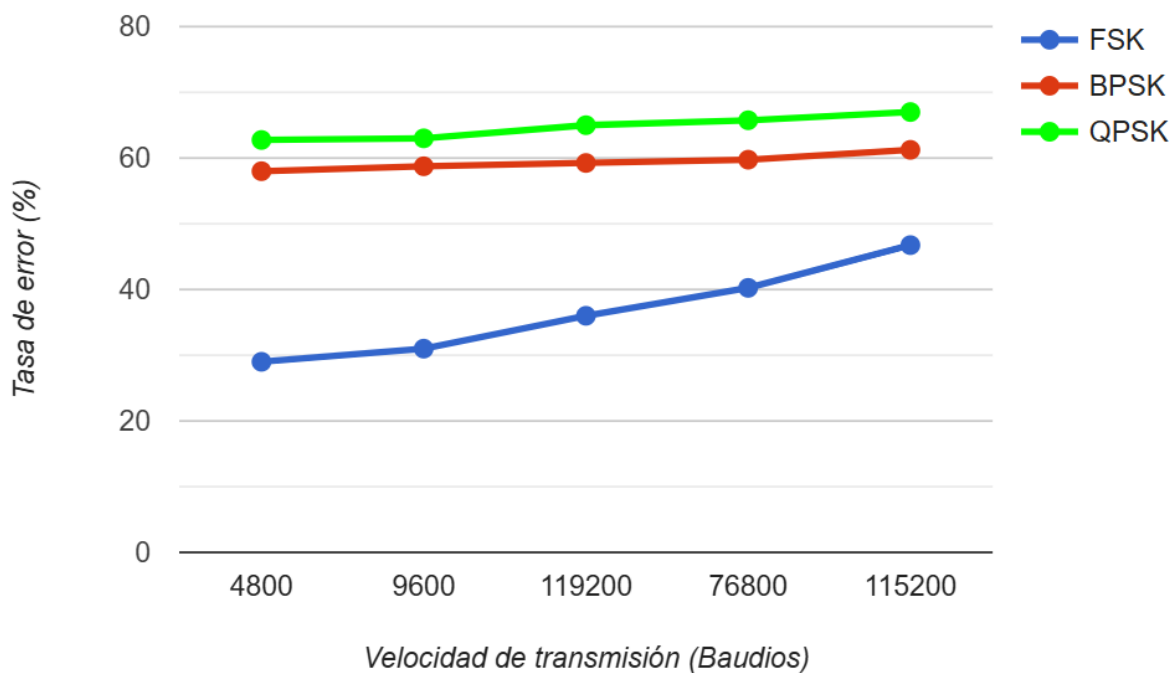
Tabla 5

Tasa de error en función de la velocidad de transmisión en baudios.

Técnica de modulación	Tasa de error (%)					Rendimiento (%)
	2400	9600	19800	76800	115200	
FSK	29,00	31,00	36,00	40,25	46,75	66.4
BPSK	58,00	58,75	59,25	59,75	61,25	40,6
QPSK	62,75	63,00	65,00	65,75	67,00	35,30

Figura 3.

Diagrama de medias de la tasa de error en función de la técnica de modulación y la velocidad de transmisión.



DISCUSIÓN

Para validar la hipótesis de investigación, efecto del tipo de modulación en la tasa de error, se aplicó una prueba ANOVA de un factor la cual mostró diferencias significativas entre las técnicas de modulación utilizadas para transmitir datos mediante la tecnología Data Over Sound. Sin embargo, al tratarse de una prueba de comparación global, el análisis ANOVA no permite identificar específicamente qué grupos presentan diferencias significativas entre sí. Por esta razón, se aplicó una prueba post hoc de tipo Tukey, que permite realizar comparaciones múltiples entre las medias de las distintas técnicas de modulación. Los resultados de esta prueba indican que la técnica FSK se diferencia estadísticamente de BPSK y QPSK, las cuales, entre sí, no presentan una diferencia significativa en la tasa de error.

Los valores medios de error muestran que FSK registra la menor tasa (37%), mientras que BPSK y QPSK presentan tasas más elevadas (57% y 64% respectivamente). Esta evidencia sugiere que, para DoS basados en radio FM, la modulación FSK muestra un desempeño significativamente superior en términos de confiabilidad de la transmisión.

Además, al analizar el comportamiento de las modulaciones frente a distintas velocidades de transmisión de bits, se observa que FSK mantiene un mejor rendimiento incluso cuando se incrementa la velocidad de transmisión con un promedio del 66%, frente al 40% y 35% de BPSK y QPSK respectivamente; no obstante, como es esperable, todas las técnicas muestran un aumento progresivo en la tasa de error conforme se incrementa el bitrate. Esto ratifica la sensibilidad de los esquemas de modulación frente al compromiso entre velocidad y precisión.

En términos generales, los resultados demuestran que la modulación FSK no solo es estadísticamente superior respecto a las otras modulaciones analizadas, sino también más robusta ante variaciones en la tasa de transmisión, lo que la convierte en una opción preferente para su implementación en transmisiones DoS sobre canales acústicos FM, especialmente cuando la disponibilidad tecnológica es reducida y se requiere mantener una tasa de error aceptable.

Comparación con Trabajos Relacionados

Aunque no se han encontrado trabajos similares o estudios concretos acerca del uso de la técnica DoS en transmisiones FM, los resultados obtenidos en esta investigación se han contrastado estudios previos relacionados para contextualizar las aportaciones en los hallazgos para otros desarrollos en mejores oportunidades.

El estudio de Getreuer et al. (2018) presentó un protocolo utilizando micrófonos y altavoces de teléfonos inteligentes elementales que lograron transmitir en la banda ultrasónica de 18.5 kHz y 20 kHz. A una distancia de 2 metros, lograron una impresionante tasa de transmisión de 94.5 bps. Son diferentes a cualquier otro porque transmiten en el rango inaudible para los humanos. Si bien, las velocidades de transmisión son elevadas, su alcance se limita a un rango significativamente corto con relación a la técnica DoS FM usando FSK cuya cobertura esta determina por infraestructura radial existente y la no necesidad de dispositivos especializados ya que se fusiona fácilmente con receptores FM tradicionales.

Por otro lado, Guri et al. (2019) mostraron la forma de intercambiar datos entre dos máquinas usando solo altavoces sin micrófonos con sonidos de frecuencias entre 18 y 24 kHz. Por medio de software invirtieron el funcionamiento de los altavoces y consiguieron el envío de datos a 166 bps a 8 metros. Aunque su uso es más para seguridad en computadoras y caminos ocultos, la velocidad alcanzada es considerablemente inferior a la obtenida en el presente estudio.

De forma complementaria, Ka et al. (2016) desarrollaron una solución de segunda pantalla para televisores utilizando señales de chirrido ultrasónicas (<20 kHz), alcanzando una tasa de error de trama cercana a 0 a 2.7 metros con una velocidad de 15 bps. Este resultado, aunque más limitado en tasa de transmisión, confirma que es posible establecer servicios estables a partir de señales acústicas bien moduladas.

Asimismo, Dey et al. (2017) implementaron un módem acústico para enviar texto, audio e imágenes en configuraciones punto a punto y multipunto a una distancia de 1 metro, usando una frecuencia de 40 kHz. Utilizaron modulación por ancho de pulso (PWM) y modulación por amplitud (ASK) y alcanzaron una eficiencia del 100%. Como parte de trabajos futuros, los autores proponen implementar la modulación BPSK para aumentar la distancia, lo cual concuerda con los hallazgos del presente estudio, donde BPSK y QPSK ofrecen resultados similares, aunque no superan la eficiencia de FSK en términos de tasa de error.

Finalmente, Dutta et al. (2009) ocultaron datos en archivos de audio transformando la información a hexadecimal y su codificación binaria, sin alterar el tamaño del archivo de audio. Aunque su enfoque corresponde a la esteganografía más que a la transmisión activa, también demuestra la versatilidad del canal acústico para fines de comunicación alternativa.

La investigación desarrollada en este trabajo aporta con un enfoque novedoso al evaluar el rendimiento de diferentes modulaciones en una arquitectura de DoS FM. El estudio realizado permite abrir el camino para aplicar la técnica de DoS aprovechando la radio tradicional FM y dispositivos con radios integradas, como por ejemplo enviar archivos de texto y visualizarlos en un dispositivo embebido de bajo costo, lo que incrementa su relevancia en el medio rural de países en desarrollo con tecnología limitada. Mientras que los estudios anteriores se han centrado en frecuencias ultrasónicas o técnicas de ocultamiento, este estudio presenta una propuesta accesible, económica y eficiente que puede implementarse con recursos existentes en comunidades con conectividad limitada.

4. CONCLUSIONES

Los resultados del análisis estadístico realizado en esta investigación demostraron que existen diferencias significativas en la tasa de error entre las técnicas de modulación analizadas en la transmisión de datos usando DoS FM. En particular, la modulación FSK presentó una tasa de error considerablemente menor (37%) en comparación con BPSK y QPSK, que presentaron tasas superiores al 57%. Además, se evidenció que, si bien su eficiencia disminuye con el aumento de la velocidad de transmisión, FSK

mantiene un rendimiento superior, lo que refuerza su idoneidad para ser implementada en DoS sobre FM en entornos con limitaciones tecnológicas.

Comparado con otros estudios, este trabajo destaca por su orientación práctica en entornos con recursos tecnológicos limitados, proponiendo una solución económica, accesible y técnicamente viable para facilitar la conectividad en regiones rurales.

Aunque esta investigación se limitó al envío y recepción de un número reducido de caracteres en forma de texto plano; constituye un aporte relevante al conocimiento en la transmisión de datos por sonido, sentando las bases para futuras investigaciones que exploren otras técnicas de modulación, condiciones de canal más exigentes, envío de documentos o imágenes, y aplicaciones en tiempo real, especialmente en el ámbito de la educación y la comunicación rural.

FINANCIACIÓN

Este trabajo fue financiado por los investigadores.

CONFLICTO DE INTERESES

Los Autores declaran que no existen conflictos de intereses con la investigación

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://credit.niso.org/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

<i>Participar activamente en:</i>	<i>Leonardo R.</i>	<i>Daniel H.</i>	<i>Margarita M.</i>	<i>José J.</i>
<i>Conceptualización</i>	X	X	X	X
<i>Análisis formal</i>	X	X	X	
<i>Adquisición de fondos</i>				
<i>Investigación</i>	X	X	X	X
<i>Metodología</i>	X		X	
<i>Administración del proyecto</i>	X		X	
<i>Recursos</i>	X	X	X	X
<i>Redacción –borrador original</i>	X	X		X
<i>Redacción –revisión y edición</i>	X	X	X	
<i>La discusión de los resultados</i>	X	X	X	X
<i>Revisión y aprobación de la versión final del trabajo.</i>	X	X	X	X

RECONOCIMIENTO A REVISORES:

La revista reconoce el tiempo y esfuerzo del editor Juan Carlos Santillán Lima y de revisores anónimos que dedicaron su tiempo y esfuerzo en la evaluación y mejora

REFERENCIAS

- Boné-Andrade, M. F. (2023). Inclusión Digital y Acceso a Tecnologías de la Información en Zonas Rurales de Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(2), 1–16. <https://doi.org/10.69484/RCZ/V2/N2/40>
- Brown, A. M. (2005). A new software for carrying out one-way ANOVA post hoc tests. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 79(1), 89–95. <https://doi.org/10.1016/J.CMPB.2005.02.007>
- Chowdhury, M. A. N., Mahfuz, M. R. U., Chowdhury, S. H., & Kabir, M. M. (2017). Design of an improved QPSK modulation technique in wireless communication systems. *3rd International Conference on Electrical Information and Communication Technology, EICT 2017, 2018-January*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/EICT.2017.8275196>

- Cruz, N. L. V., Cruz, N. L. V., Jorge, I. V. S., Moreira, A. E. L., & Góngora, Y. G. R. (2025). La diferencia entre la educación rural y urbana en la profesionalización de los estudiantes del Ecuador. *Polo Del Conocimiento*, 10(3), 817–832. <https://doi.org/10.23857/pc.v10i3.9090>
- Dey, S., Roy, A., & Das, S. (2017). Point to point and multipoint to point acoustic modem for ultrasonic data communication. *2017 4th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks, SPIN 2017*, 10–14. <https://doi.org/10.1109/SPIN.2017.8049906>
- Dutta, P., Bhattacharyya, D., & Kim, T.-H. (2009). Data Hiding in Audio Signal: A Review. *International Journal of Database Theory and Application*, 2(2).
- Fade, A. R., Suprayogi, Azmi, F., & Sutari, W. (2023). Simple Data Transfer Over Audio Using Smart Phones. *Journal of Physics: Conference Series*, 2673(1), 012038. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2673/1/012038>
- Getreuer, P., Gnegy, C., Lyon, R. F., & Saurous, R. A. (2018). Ultrasonic Communication Using Consumer Hardware. *IEEE Transactions on Multimedia*, 20(6), 1277–1290. <https://doi.org/10.1109/TMM.2017.2766049>
- Gordón, F. del R. A. (2020). From face-to-face learning to virtual learning in pandemic times. *Estudios Pedagógicos*, 46(3), 213–223. <https://doi.org/10.4067/S0718-07052020000300213>
- Guri, M., Solewicz, Y., & Elovici, Y. (2019). MOSQUITO: Covert Ultrasonic Transmissions between Two Air-Gapped Computers Using Speaker-To-Speaker Communication. *DSC 2018 - 2018 IEEE Conference on Dependable and Secure Computing*. <https://doi.org/10.1109/DESEC.2018.8625124>
- Hallale, S., Gaikwad, N., Kachole, A., Kamble, S., & Pingat, S. P. (2017). Secure Audio Data Transfer over Internet Using Steganography. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- Iannacci, F., & Huang, Y. (2015). ChirpCast: Data Transmission via Audio. *ArXiv*, 1–10. <https://arxiv.org/abs/1508.07099v1>
- Indriyanto, S., & Edward, I. Y. M. (2018). Ultrasonic Underwater Acoustic Modem Using Frequency Shift Keying (FSK) Modulation. *Proceeding of 2018 4th International Conference on Wireless and Telematics, ICWT 2018*. <https://doi.org/10.1109/ICWT.2018.8527809>
- Ka, S., Kim, T. H., Ha, J. Y., Lim, S. H., Shin, S. C., Choi, J. W., Kwak, C., & Choi, S. (2016). Near-ultrasound communication for TV's 2nd screen services. 42–54. <https://doi.org/10.1145/2973750.2973774>
- Kim, S., Mun, H., & Lee, Y. (2019). A Data-Over-Sound Application: Attendance Book. *2019 20th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium: Management in a Cyber-Physical World, APNOMS 2019*. <https://doi.org/10.23919/APNOMS.2019.8892996>
- Marcelo, R., Avilés, F., Orlando Vélez, B., Martin, S., Adriana, V., Isabel, D., & León, C. (2025). Empoderando a docentes y estudiantes en zonas rurales del cantón Baba - Ecuador: Propuesta para la integración tecnológica en el aula. *REVISTA ODIGOS*, 6(1), 9–34. <https://doi.org/10.35290/RO.V6N1.2025.1490>
- Middlestead, R. W. (2017). Frequency shift keying (fsk) modulation, demodulation, and performance. *Digital Communications with Emphasis on Data Modems*, 207–225. <https://doi.org/10.1002/9781119011866.CH5>
- Molina-Pacheco, L. E., & Mesa-Jiménez, F. Y. (2018). Las TIC en escuelas rurales: realidades y proyección para la integración. *Praxis & Saber*, 9(21), 75–98. <https://doi.org/10.19053/22160159.V9.N21.2018.8924>
- Nandakumar, R., Iyer, V., Tan, D., & Gollakota, S. (2016). Fingerlo: Using active sonar for fine-grained finger tracking. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*, 1515–1525. https://doi.org/10.1145/2858036.2858580/SUPPL_FILE/P1515-NANDAKUMAR.MP4
- Pineda Marín, C. P. (2013). *Análisis de Varianzas, Anova de un Factor*. <https://repositorio.konradlorenz.edu.co/handle/001/2049>
- Rentería, L., Jínez, J., Torres, K., & Ramos, J. (2023). Sistema de transmisión de datos a través de la radio FM aplicando técnicas de Datos sobre Sonido. *Revista Digital Novasinerгия*, 6(2), 132–142. <https://doi.org/10.37135/NS.01.12.08>
- Salinas, M. M. B. (2025). Relación del Índice de Desarrollo de Gobierno Electrónico y la brecha digital por edad del uso de internet en Ecuador. *CIENCIA UNEMI*, 18(47), 130–139. <https://doi.org/10.29076/ISSN.2528-7737VOL18ISS47.2025PP130-139P>