

# Uso de la banda de 433MHz para comunicaciones subacuáticas en ambientes controlados

## *Use of the 433MHz band for underwater communications in controlled environments*

Delgado Gaibor María José, Chango Vela Steven Alexis, Benavidez Sisalima Mateo Sebastián

**Abstract**— This research aims to design and implement an underwater communication system using radio frequency modules and Arduino. Underwater wireless communication is challenging due to the attenuation of electromagnetic waves in water. However, radio frequency signals in the 433MHz range and the added antenna have shown successful data transfer. For this purpose, measurements are made at different distances, and data is collected in the aquatic environment and free space. A comparative analysis of the values of arrival powers and losses in the studied environment is carried out to verify the efficiency of this study in terms of range, transmission speed, and reliability.

**Index Terms**— Underwater communication, radio frequency, aquatic environment, free space.

**Resumen**—Este trabajo presenta el diseño e implementación de un sistema de comunicación subacuático a través de módulos de radiofrecuencia y Arduino uno. La comunicación inalámbrica submarina es un reto debido a la atenuación de las ondas electromagnéticas que existen en el agua. Sin embargo, las señales de radiofrecuencia en el rango de 433 MHz junto con la antena añadida han demostrado que la transferencia de datos se realiza con éxito. Para ello se realizan medidas a diferentes distancias y se recogen datos tanto en el medio acuático como en el espacio libre. Posteriormente se realiza un análisis comparativo de los valores de potencias de llegada y pérdidas en el medio estudiado para comprobar la eficacia de este estudio en cuanto a alcance, velocidad de transmisión y fiabilidad. Como resultado del estudio, se obtuvo que en el espacio libre a 2m se tiene una potencia de -41.24 dBm y a 9m se tiene una potencia de -81.76 dBm a comparación con el entorno acuático que a 2m se obtuvo una potencia de -85.33 dBm y a 9m una potencia de 116.34 dBm lo que representa una atenuación a 2m de 44.09 dBm y a 9m de 34.58 dBm.

**Palabras Claves**— Comunicación submarina, radiofrecuencia, medio acuático, espacio libre.

### I. INTRODUCCIÓN

Las comunicaciones subacuáticas se desarrollan en diferentes entornos. Cuando se usa como medio de propagación el agua dulce se considera un medio que presenta

Delgado Gaibor María José, Chango Vela Steven Alexis y Benavidez Sisalima Mateo Sebastián son estudiantes de ingeniería en Telecomunicaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (e-mail: ({mariaj.delgado, steven.chango, mateo.benavidez}@epoch.edu.ec).

bajos índices de pérdidas. Por otro lado, el agua salada es un medio muy dispersivo, que presenta grandes pérdidas mismas que presentan rangos de permitividad que rondan de 80-81 y 81-88, respectivamente [1]. El comportamiento de las ondas EM (electromagnéticas) tanto en agua dulce como en el agua del mar presentan distintas respuestas, sin embargo, el uso de ondas EM en el agua, para transmitir señales, se caracteriza por ser una comunicación rápida y eficiente donde las señales se propagan a través del agua gracias a las propiedades fisicoquímicas del agua y las propiedades físicas de la luz [2]. Además, las ondas EM en la banda de frecuencias de radiofrecuencia (RF) presentan varias ventajas sobre las ondas acústicas, sobre todo porque son más rápidas y se puede utilizar en las frecuencias de trabajo más altas (lo que se traduce en un mayor ancho de banda). Sin embargo, hay varios factores que limitan el uso de ondas EM en el agua [3].

Los sistemas de comunicaciones subacuáticas utilizan tres métodos importantes para la transmisión de información. Estos métodos son mediante ondas acústicas, señales ópticas y ondas electromagnéticas o radiofrecuencia [1]. Cada una de estas técnicas tiene ventajas y desventajas, principalmente debido a las limitaciones físicas y se realiza una elección final para establecer la comunicación [1]. La comunicación mediante ondas acústicas consiste cuando el sonido es producido por la vibración de moléculas en una sustancia elástica [4], la propagación de la energía mecánica del sonido es absorbida por el medio a través del cual se propaga. La velocidad difiere según el tipo de medio por el cual es propagado [5]-[7]. Cuanto más dispersas se encuentran las moléculas del medio mayor es la facilidad de propagación y menor el tiempo para propagarse. Por el contrario, las señales ópticas se basan en el uso de la luz como transmisor de información entre emisor y receptor [8], se encuentran limitadas a cortas distancias debido a su absorción por parte del medio acuático el cual es elevado en la banda de frecuencias ópticas [9], [10]. Por otro lado, mediante radiofrecuencia el rango de frecuencia del espectro de radio de 300-3000MHz es denominado como ultra alta frecuencia o sus siglas en inglés UHF [1]. En esta banda de radiofrecuencia se encuentran las ondas electromagnéticas que no necesitan un medio material de transmisión y se propagan a la velocidad de

la luz [11].

Existen investigaciones y aplicaciones del uso de la frecuencia de 433 MHz, donde miden el comportamiento de la energía recibida bajo el agua, en función de diferentes distancias y profundidades y donde buscan el desarrollo de una red de sensores inalámbricos [12]. En este estudio se enfatiza que el uso de esta frecuencia es factible y adecuado para la comunicación submarina con un rango máximo de 12 metros del receptor. También en aplicaciones de comunicación subterránea a área, donde se pone a prueba la tecnología LoRa, para su uso en sectores agrícolas y vigilancia del medio ambiente, su composición y compactación [13]. Así mismo, el uso de una antena Bow-tie en la frecuencia de 433 MHz, donde al poner a prueba esta antena demuestra su idoneidad para el uso bajo el agua hasta 30 metros [14]. Incluso, en sensores automatizados para el seguimiento de ganado, donde se caracteriza la pérdida de propagación dentro del cuerpo de las vacas y caballos a una frecuencia de 433, 868 y 1400 MHz [15]. También en el diseño de un amplificador de potencia de clase F para 433 MHz para aplicaciones RFID, especialmente en estaciones base inalámbricas [16]. Por otro lado, algunas investigaciones han explorado el uso de RF en otras frecuencias en entornos submarinos, como el trabajo realizado por Lloret et al., que logró la comunicación a 20 cm hasta 11 Mbps mediante el uso de una frecuencia de 2.4 GHz [17].

Trabajos de investigación o aplicaciones relacionados a esta misma frecuencia de 433 MHz incluso mayores, han logrado y determinado una comunicación aceptable a través de subsuelo y principalmente bajo el agua en diferentes condiciones. Lo han hecho con el objetivo de poner a prueba el funcionamiento de los mismos, lo que ha permitido llevar a cabo un exhaustivo análisis de propagación en ambientes acuáticos. Este trabajo experimental se lo lleva a cabo en un entorno controlado, como en una piscina. Donde se realiza pruebas de comunicación subacuática a no mucha profundidad, del cual se intenta determinar a futuro pérdidas de propagación de este tipo de medio. Además, se ha superado los desafíos inherentes a la comunicación subacuática al lograr transmisiones exitosas a profundidades y distancias significativas. Este logro se sustenta en la aplicación de la ecuación de pérdidas de espacio libre  $L_{bf}$ , que, aunque originalmente diseñada para entornos terrestres, ha demostrado ser una herramienta valiosa incluso en la ausencia de un modelo específico para ambientes subacuáticos.

## II. METODOLOGÍA

Se implementa el sistema para la comprensión del estudio que permite la transmisión confiable de datos y la comunicación en los distintos entornos. A continuación, se explora a detalle:

### A. Sistema de comunicación subacuática

La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques que describe el proceso y análisis del sistema de comunicación subacuática, cabe mencionar que la única diferencia de este sistema con el sistema de comunicación subacuática en el espacio libre es el

medio de transmisión de las ondas. El proceso comienza desde la fuente de información que es la PC la cual contiene el código de programación en Arduino IDE y está conectada a través de un cable USB [18] con la placa Arduino uno que controla la comunicación entre la computadora y el transmisor, mismo que por medio de cables está conectado al módulo de transmisión, éste se encuentra en el medio acuático junto con el módulo receptor a una diferentes distancias. Este módulo transmisor envía la información y el módulo receptor la recibe. El receptor está conectado a un segundo Arduino uno y finalmente a una segunda PC en la cual se visualiza la información que es recibida.

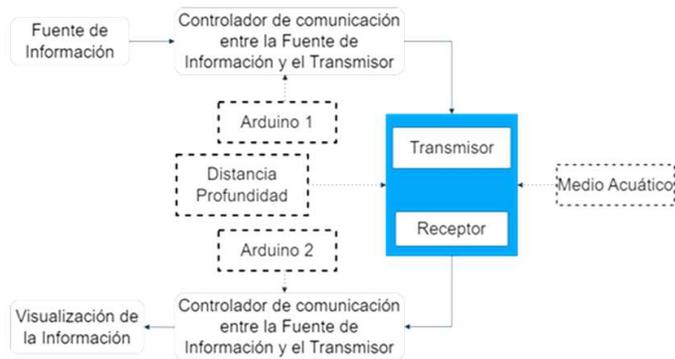


Fig. 1. Diagrama de bloques del sistema de comunicación RF subacuático

### B. Sistema de transmisión TX Arduino

En el diagrama de flujo planteado en la Fig. 2 muestra el proceso que realiza para enviar señales desde el monitor serial de radio frecuencia. El diagrama inicia por incluir la biblioteca VirtualWire [19], que proporciona funciones para la comunicación inalámbrica a través del módulo RF. Se define el pin de transmisión del módulo RF TWS-433 que opera a 433MHz. En este caso, se utiliza el pin 12, se inicia la comunicación serial a una velocidad de 9600 bps y se configura el pin de transmisión [20]. Seguido, se configura la velocidad de transmisión a 2000 bps, se verifica si hay datos disponibles en el monitor serial donde si hay datos disponibles, lee la entrada del monitor serial utilizado, el cual a su vez lee la entrada hasta que se encuentre el caracter (Enter) y devuelve una cadena de caracteres [21]. Se elimina los espacios en blanco al inicio y al final del mensaje, posterior se verifica si la longitud del mensaje es mayor que cero para asegurarse de que no sea una cadena vacía. A continuación, se convierte el mensaje en una cadena de caracteres utilizado para enviar el mensaje como un arreglo de bytes. Se pasa el mensaje convertido como argumento junto con la longitud del mensaje, se espera a que se complete la transmisión antes de continuar. Finalmente, se imprime el mensaje enviado en el monitor serial.

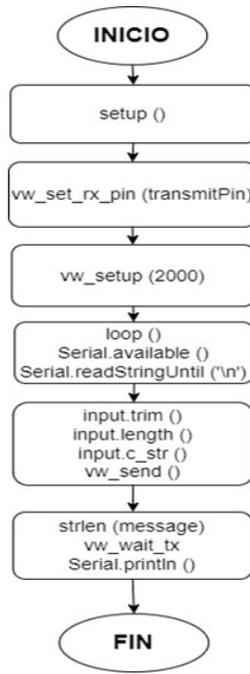


Fig. 2. Diagrama flujo de transmisión

### C. Sistema de recepción RX Arduino

En el diagrama de flujo se plantea en la Fig. 3 donde se muestra el proceso para la recepción de la señal de radio frecuencia. El proceso inicia por incluir la biblioteca VirtualWire [22], que proporciona funciones para la comunicación inalámbrica a través del módulo RF donde se define el pin de recepción del módulo RF TWS-433. En esta ocasión, se usa el pin 2. Se inicia la comunicación serial a una velocidad de 9600 bps, se configura el pin de recepción donde se configura la velocidad de recepción a 2000 bps, se inicia la función para iniciar la recepción de mensajes. Posterior se declara un buffer para almacenar el mensaje recibido y una variable para indicar la longitud máxima del mensaje, se verifica si se ha recibido un mensaje, si es así, se ejecuta el bloque de código dentro del bucle IF donde se construye una cadena de caracteres (receivedMessage) a partir de los datos almacenados en el buffer. Finalmente, se imprime el mensaje recibido en el monitor serial utilizando Serial.println().

### D. Características y especificaciones técnicas

Las características y especificaciones técnicas de los módulos usados son: para el transmisor, el voltaje de operación va entre los 3V hasta los 12V, su potencia de transmisión va desde los 10mW hasta los 40mW [25], el rango de transmisión va desde los 20m hasta los 100m al considerar paredes y 500m máximo en áreas abiertas, su tasa de transferencia de datos tiene un rango superior a los 2400 bytes por segundo, su consumo de corriente es de 20 hasta 28mA, su consumo de corriente en Standby es de 0mA y su tipo de modulación es OOK [22], [23].

Para el receptor su voltaje de operación es de 5V, su sensibilidad de recepción es de 105dB, su consumo de corriente en Standby es de 4mA [22].

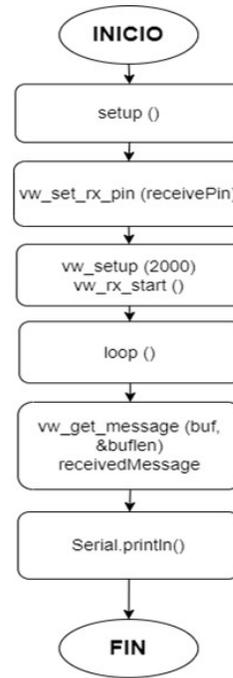


Fig. 3. Diagrama flujo de recepción

### E. Antena

En el transmisor y receptor se usaron dos antenas para que la transferencia de datos sea posible a mayor distancia. Para ello se necesita calcular la longitud de onda ( $\lambda$ ) [24] a través de (1), como sigue:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

donde  $c$  es la velocidad de transmisión,  $f$  es la frecuencia de transmisión. En este caso la frecuencia de transmisión es de 433 MHz y la velocidad de la luz es de 299.792.458 m/s.

La longitud de la antena se encuentra al dividir para 4 la longitud de la onda (2):

$$L_{antena} = \frac{\lambda}{4} \quad (2)$$

### F. Propagación en un entorno subacuático

Se utiliza la base de un escenario característico de propagación en el espacio libre, las pérdidas se computan mediante la siguiente expresión:

$$Pr = Pt + Gt + Gr + L_{bf} \quad (3)$$

donde  $Pr$  es la potencia de recepción [dBm],  $Pt$  es la potencia del transmisor [dBm],  $Gt$  es la ganancia de la antena de transmisión [dBi],  $Gr$  es la ganancia de la antena de recepción [dBi] y  $L_{bf}$  son las pérdidas en el espacio libre.

En base a la ecuación de potencia de recepción, las pérdidas en el espacio libre ( $L_{bf}$ ) se utilizan  $L_{agua}$  para el entorno acuático.

La UIT-R define la propagación en espacio libre como la propagación de una onda en un medio ideal homogéneo e isotrópico que se puede considerar infinito en todas las

direcciones [26]. A pesar de ser una representación ideal y no existir en la práctica, este modelo ayuda a calcular las mínimas pérdidas que se producen en el enlace.

Se definen las pérdidas en el espacio libre como el cociente entre la potencia radiada y la potencia recibida:

$$L_{bf} = \frac{Prad}{Prec} = \frac{4\pi R}{\lambda} \quad (4)$$

Que en relaciones de dB es expresada como:

$$L_{agua} = 32.4 + 20 \log(f) [MHz] + 20 \log(d) [m] \quad (5)$$

Por otro lado, la longitud de onda se expresa mediante:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{Vp}{\sqrt{\epsilon_r} f} \quad (6)$$

donde  $Vp$  es la velocidad de propagación de la onda [m/s], y  $\epsilon_r$  es la permitividad relativa

### G. Preparación del escenario

Para el caso de las pruebas en el agua se lleva a cabo en un entorno controlado con el medio de estudio usado que es una piscina como medio de propagación para la comunicación inalámbrica, donde para proteger los módulos y evitar que exista cortos o daños en los equipos se proporciona una estructura de acrílico como se muestra en la Fig. 4. Estos módulos se encuentran completamente sellados y constan de una lámina de cobre para que no exista pérdida de señal. Para desplazar los módulos se realiza manualmente y así se incrementa la distancia entre transmisor y receptor de manera controlada.

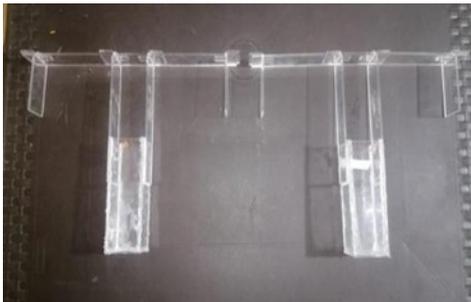


Fig. 4. Estructura de acrílico

### H. Procedimiento

Las distintas pruebas se realizan en dos entornos controlados con el medio de estudio usado como medio de propagación para la comunicación RF en el espacio libre y comunicación RF subacuática.

Para la comunicación RF en espacio libre tanto el transmisor como el receptor se encuentran en el aire como se visualiza en la Fig. 5. Cada prueba inicia con los dos módulos juntos, i.e., distancia de 2 metros, donde se obtiene la potencia de recepción. Posterior se incrementa la distancia entre los módulos una determinada cantidad de veces hasta la distancia máxima de 9 metros de recepción de datos.

Para la comunicación RF subacuática se sumerge la

estructura de acrílico. Cada uno de estos contienen el módulo transmisor y el módulo receptor como se muestra en la Fig. 6.

Cada prueba inicia con los dos recipientes juntos, i.e., distancia de 2 metros. Se obtiene la potencia de recepción y se incrementa la distancia entre los recipientes una determinada cantidad de veces hasta la distancia máxima de 9 metros de recepción de datos.



Fig. 5. Sistema de comunicación en el espacio libre



Fig. 6. Sistema de comunicación subacuático

## III. RESULTADOS

Para la visualización estimada de la señal demodulada del receptor obtenida a través de un osciloscopio se puede ver en la Fig. 7.



Fig. 7. Potencias de entorno acuático y espacio libre

Los resultados de las mediciones y la media muestral de las cinco mediciones realizadas en cada punto en el entorno acuático se pueden observar en la Fig. 8. Donde se puede apreciar que en el espacio libre a medida que la distancia aumenta entre el receptor y el transmisor la potencia de recepción disminuye. Se inicia por una distancia de 2m hasta una máxima de 9m, donde se obtiene una potencia de recepción de -41.20 dBm y de -81.76 dBm respectivamente, como se puede ver en la Tabla 1.

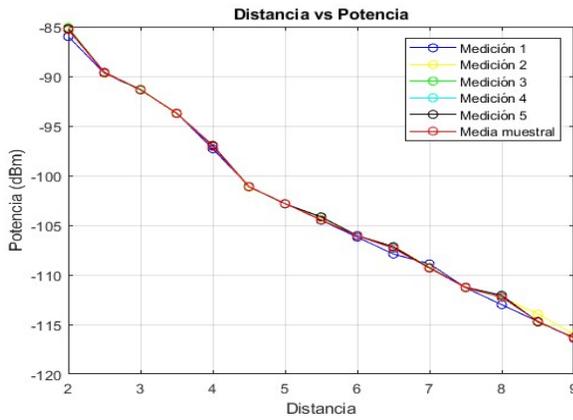


Fig. 8. Potencias del entorno subacuático

En el entorno libre se presenta en la Fig. 9, donde se puede observar un comportamiento similar de la potencia de recepción al aumentar las distancias entre el receptor y el transmisor. Se puede notar una diferencia donde a 2m la potencia de recepción es  $-45.35$  dBm, y a 9m una potencia de recepción de  $-81.90$  dBm.

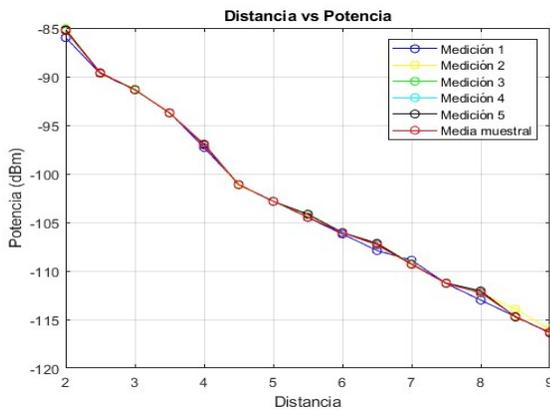


Fig. 9. Potencias del entorno espacio libre

Los resultados de la media muestral de las 15 muestras de las 5 mediciones realizadas entre el entorno espacio libre y el entorno del espacio acuático se pueden observar en la Fig. 10, donde como respuesta se tiene que la atenuación correspondiente a 2m es de  $44.09$  dBm y  $34.58$  m a una distancia de 9m esto en el medio acuático.

Finalmente, para la estimación de pérdidas bajo el agua de este ambiente controlado se lo obtuvo al restar la potencia de recepción en el espacio libre de la potencia de recepción en el medio acuático, como se puede ver en la Fig. 11. Además, se puede observar que tiene un comportamiento inusual debido a que si más se aleja el transmisor del receptor se tiene mayor pérdida debido al medio acuático, como se muestra en los datos de la Tabla I, esto a pesar de que las potencias de recepción tienen coherencia en ambos medios de propagación. Estos resultados de pérdidas bajo el agua son estimaciones, debido a ya que dependen de las características del medio acuático.

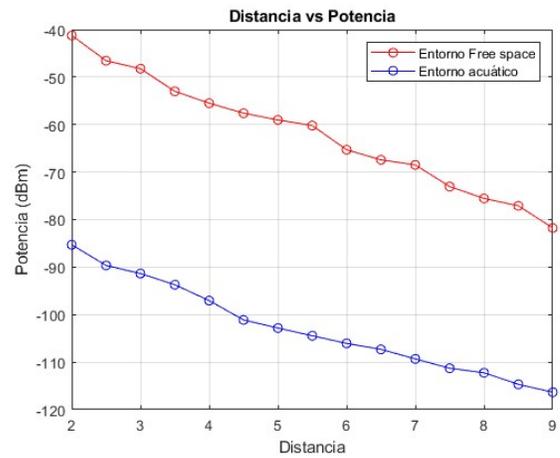


Fig. 10. Potencias del entorno espacio libre vs entorno acuático

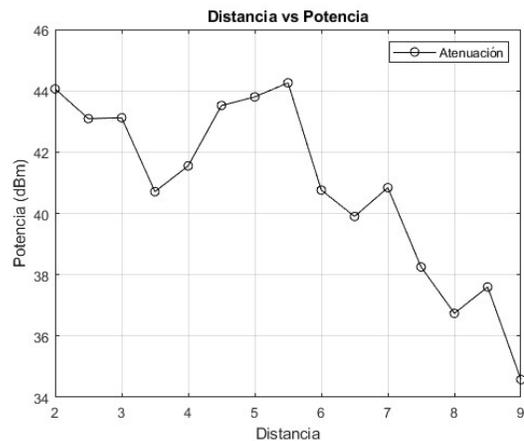


Fig. 11. Atenuación del entorno acuático y el espacio libre

TABLA I  
POTENCIAS DE LLEGADA

Distancia (m)	Medio Acuático (dBm)	EspacioLibre (dBm)	Atenuación (dBm)
2	-86.33	-41.24	44.09
2.5	-89.658	-46.56	43.09
3	-91.362	-48.24	43.12
3.5	-93.716	-53.00	40.71
4	-97.052	-55.50	41.55
4.5	-101.12	-57.60	43.52
5	-102.82	-59.02	43.80
5.5	-104.46	-60.20	44.26
6	-106.06	-65.30	40.76
6.5	-107.32	-67.42	39.90
7	-109.33	-68.49	40.84
7.5	-111.29	-73.04	38.25
8	-112.25	-75.55	36.70
8.5	-114.69	-77.29	37.60
9	-116.34	-81.76	34.58

#### IV. CONCLUSIONES

Hay una gran diferencia entre las potencias de un entorno acuático y el espacio libre, existen pérdidas en mayor cantidad en el agua que en el aire y esto hace que haya desventaja. Sin embargo, se ha logrado con éxito transmitir el mensaje a través del entorno en el que más se enfoca esta investigación a pesar de las diferentes distancias.

Como resultado del estudio realizado se obtiene un sistema

de comunicaciones subacuáticas que trabaja a una frecuencia de 433 MHz correspondiente a las aplicaciones del espacio libre y entorno acuático, donde se obtuvo un estimado de las pérdidas de propagación bajo el agua y los índices de pérdidas que coincide entre ellos. Es apreciable que existe una variación que se le atribuye a al ambiente controlado que se utilizó para implementar el sistema, a pesar de las dificultades el sistema proporciona valores adecuados para la banda de frecuencia trabajada y una comunicación estable.

#### RECONOCIMIENTOS

Nuestro agradecimiento por el apoyo brindado a las instalaciones de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y nuestro tutor Fabricio Javier Santacruz Sulca, MSC, por su acompañamiento en la investigación.

#### REFERENCIAS

- [1] S. L. Monella, "Estudio de modelos electromagnéticos para la obtención de mapas de humedad superficial de suelo", Tesis de Grado, UNIV. NAC. CORDOBA, Buenos Aires, Argentina, 2014.
- [2] S. S. a Compte, "Comunicaciones inalámbricas subacuáticas a 2,4 GHz para la transmisión de datos con altas tasas de transferencia", Tesis de Grado, Univ. Politencia Valencia, GANDIA, 2011.
- [3] Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Accedido el 22 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/6555/203058-;jsessionid=A03CC059E3117EFA58F5550302FB43A8.jvml?sequence=3>
- [4] Sanchez Matias, A. M. (2013). Sistema de comunicación acústica para redes de sensores inalámbricas subacuáticas en aguas someras [Trabajo de grado, Universidad Politecnica de Valencia].
- [5] Samaniego Buñay, A. S. (2023). Estado del Arte de las Comunicaciones Acústicas Submarinas, *Journal Chone Ciencia y Tecnología*, vol. 1, no. 01, pp. 1-12, Jun. 2023.
- [6] A. I. López Tacoronte, "Propagación de ondas acústicas en espacios subacuáticos", Trabajo de grado, Universidad de La Laguna, San Cristóbal de La Laguna, 2017.
- [7] M. Bruneau, T. Seelo y S. F. d'Acoustique, *Fundamentals of Acoustics*. Wiley & Sons, Incorporated, John, 2013.
- [8] A. A. Rodríguez, "Caracterización de sistemas de comunicación RF y ópticos en aplicaciones submarinas", Trabajo de grado, Escola Politécnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú, Barcelona, 2022.
- [9] Perez Martínez, J. L., Sistema de comunicaciones ópticas para aplicaciones subacuáticas, Trabajo de grado, Universidad Politecnica de Valencia, 2018.
- [10] F. Kaeib, O. A. Alshawish, S. Ali Altayf and M. A., Gamoudi, "Designing and Analysis of Underwater Optical Wireless communication system," in Proc. *2nd International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA)*, Sabratha, Libya, 2022, pp. 441-446.
- [11] Ruz, L., Castro, D., Ondas electromagnéticas, en Teoría electromagnética para estudiantes de ingeniería Notas de clase. Editorial Universidad del Norte, pp. 77-100.
- [12] Muhammad Ramdhan, M.S Muhammad Ali Ghazali, N.Effiyana Kamaludin M.Y., "Measuring the underwater received power behavior for 433 mhz radio frequency based on different distance and depth for the development of an underwater wireless sensor network", *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, vol. 8, no. 3, pp. 1066-1073, Spe. 2019.
- [13] Moiroux Arvis, Laure Christophe, Cariou Jean-Pierre, Chanet, "Evaluation of LoRa technology in 433-MHz and 868-MHz for underground to aboveground data transmission", *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 194, pp. 106770, Mar. 2022.
- [14] A. A. Abdou, "A matched Bow-tie antenna at 433MHz for use in underwater wireless sensor networks", *Journal of Physics: Conference Series*, vol 450, pp. 1-8, Sep. 2013.
- [15] Said Benaissa, Said Benaissa, Denys Nikolayev, Margot Deruyck, Gunter Vermeeren Luc Martens, Jan Govaere, Frank Tuytens, Bart Sonck, David Plets, Wout Joseph, "Propagation-loss Characterization for Livestock Implantables at 433, 868, and 1400 MHz", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol 69, no. 8, pp. 5166-5170, Aug. 2021.
- [16] Holger Heuermann, Stefan Terbrack, "Development Process, Structure and Performance Parameters of a Shielded 433 MHz Plasma Jet with 600W", Disponible: [https://www.researchgate.net/publication/372109180\\_Development\\_Process\\_Structure\\_and\\_Performance\\_Parameters\\_of\\_a\\_Shielded\\_433\\_MHz\\_Plasma\\_Jet\\_with\\_600W](https://www.researchgate.net/publication/372109180_Development_Process_Structure_and_Performance_Parameters_of_a_Shielded_433_MHz_Plasma_Jet_with_600W)
- [17] Samuel Rycroft, Andrew Shaw, Paul Fergus, Patryk Kot, Khalid Hashim, Adam Moody, Laura Conway, "A First Implementation of Underwater Communications in Raw Water Using the 433 MHz Frequency Combined with a Bowtie Antenna", *Sensors*, vol. 19, no. 8, pp. 1813, Apr. 2019.
- [18] James Demetriou, Rebecca MacKenzie. "Propagation Basics", September 30, 1998, pp.39-42.
- [19] "VirtualWire: VirtualWire library for Arduino and other boards". AirSpayce. <https://www.airspayce.com/mikem/arduino/VirtualWire/> (accedido el 3 de junio de 2023).
- [20] "Arduino UNO R3". Proyecto Arduino. <https://proyectoarduino.com/arduino-uno-r3/#:~:text=Tiene-2014-20pines-20digitales-20de,y-20un-20botón-20de-20reset.> (accedido el 5 de junio de 2023).
- [21] S. Skiena, M. Revilla y M. R. Rodríguez, *Desafíos de Programación: El Manual de Entrenamiento para Concursos de Programación*. Independently Published, 2020.
- [22] González R., Pedro V. , Mago Rodríguez Eduardo, "Efectos del oleaje en la atenuación de radiofrecuencia," *Télématique*, vol. 8, no. 2, pp. 44-55, 2009.
- [23] FS1000A 433MHZ RF transmitter & XY-MK-5V Receiver Module Explanation, Pinout - Components Info. (2020, 24 de febrero). Components Info. <https://www.componentsinfo.com/fs1000a-433mhz-rf-transmitter-xy-mk-5v-receiver-module-explanation-pinout/>
- [24] FS1000A 433Mhz RF Transmitter Receiver Modules. (2022, 1 de marzo). CircuitsDIY. <https://www.circuits-diy.com/fs1000a-433mhz-rf-transmitter-receiver-modules/>
- [25] Comunicación Inalámbrica con módulos de RF de 433Mhz. (s.f.). Naylamp Mechatronics - Perú. [https://naylampmechatronics.com/blog/32\\_comunicacion-inalambrica-con-modulos-de-rf-de-433mhz.html#:~:text=Antena%20para%20módulos%20de%20433Mhz,y%203.4cm%20de%20longitud.](https://naylampmechatronics.com/blog/32_comunicacion-inalambrica-con-modulos-de-rf-de-433mhz.html#:~:text=Antena%20para%20módulos%20de%20433Mhz,y%203.4cm%20de%20longitud.)
- [26] Jácome J., Melenchón A., Perez J., "Proyecto Wimax en Puerto Tomás Maestre," Trabajo de grado, Universidad Politécnica de Cartagena
- [27] M. Möser y J. L. Barros, "Conceptos básicos sobre propagación de ondas", en *Ingeniería Acústica*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 19-66.
- [28] "Fundamentos de radar - Pérdida de espacio libre". *Grundlagen der Radartechnik*. <https://www.radartutorial.eu/01.basics/rb55.es.html> (accedido el 4 de mayo de 2023).