



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**ANÁLISIS Y CREACIÓN DE PROTOTIPO PARA LA COMUNICACIÓN SUBACUÁTICA**

**INALÁMBRICO CON ONDAS RF**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**21511035 MARCO TULIO CASTILLO GEORGE**

**ASESOR: ALICIA MARÍA REYES DUKE**

**CAMPUS: SAN PEDRO SULA; MAYO, 2020**

## **DERECHOS DE AUTOR**

© Copyright 2020

Marco Tulio Castillo George

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS.**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mi madre, la mujer que me ha apoyado y querido incondicionalmente a lo largo de toda mi vida y será la que seguirá apoyándome en el futuro. Gracias a ella soy la persona que he llegado a ser hoy en día y sin ella no hubiera llegado tan lejos.

Muchas Gracias madre.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis formadores a través de toda mi vida estudiantil a lo largo de los años, aquellos que han sabido guiarme y darme consejos cuando los necesitaba para llegar al punto donde me encuentro.

No ha sido fácil, ha sido toda una vida de momentos difíciles que hemos podido superar, pero gracias a la dedicación y paciencia, estoy logrando culminar una etapa más en mi vida.

## **EPÍGRAFE**

Todos los grandes inventos tecnológicos creados por el hombre – el avión, el automóvil, el ordenador – dicen poco acerca de su inteligencia, pero dicen mucho de su pereza.

**Mark Kennedy**

## RESUMEN EJECUTIVO

La comunicación ha sido una problemática que se ha planteado la humanidad a lo largo de su historia y para poder dar solución se han hecho grandes invenciones, desde las formas más primitivas como la carta o señales de humo, hasta las invenciones más importantes de los últimos siglos como lo es el telégrafo hasta tener el internet en los hogares.

Uno de los grandes descubrimientos que se han hecho es el poder enviar un mensaje de un lugar a otro de manera inalámbrica, este gran descubrimiento revoluciono grandemente la forma en que nos comunicamos, pero plantea una barrera entre las distancias que se pueden alcanzar. EL medio por el cual se usan las comunicaciones usualmente es el aire, pero también se usa en comunicaciones debajo del agua, donde se presentan diferentes limitantes a diferencia de la comunicación en aire.

Se presentará la creación y análisis de un dispositivo que tiene como fin lograr la comunicación subacuática utilizando ondas RF, la cual consiste en utilizar un módulo RF de baja frecuencia de 433 Mhz. Las pruebas se hacen en utilizando el microcontrolador Arduino. Para concluir el experimento se toma la distancia en metros a la que se logra establecer un enlace exitoso entre un emisor y un receptor.

Palabras Claves: Subacuática, ondas RF, frecuencia, Arduino, comunicación.

## **ABSTRACT**

Communication has been a problem that humanity has raised throughout its history and in order to provide a solution, great inventions have been made, from the most primitive forms such as the letter or smoke signals, to the most important inventions of recent years. centuries like the telegraph until you have the internet in homes.

One of the great discoveries that has been made is being able to send a message from one place to another wirelessly, this great discovery greatly revolutionized the way we communicate, but it poses a barrier between the distances that can be reached. The means by which communications are used is usually air, but it is also used in communications under water, where different limitations are presented, unlike communication in air.

The creation and analysis of a device that aims to achieve underwater communication using RF waves, which consists of using a 433 Mhz low frequency RF module, will be presented. The tests are done using the Arduino microcontroller. To conclude the experiment, the distance in meters at which a successful link between a sender and a receiver can be established is taken.

Keywords-component: Underwater, RF waves, frequency, Arduino, communication

## ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del Problema.....	2
2.1.	Precedentes del Problema .....	2
2.2.	Definición del Problema.....	2
2.3.	Justificación.....	3
2.4.	Preguntas de Investigación.....	3
2.5.	Objetivos.....	3
2.5.1.	Objetivo General.....	3
2.5.2.	Objetivos Específicos.....	3
III.	Marco Teórico.....	5
3.1.	Comunicación subacuática por RF.....	5
3.1.1.	Espectro electromagnético .....	5
3.1.2.	Comportamiento de las ondas RF en el agua .....	7
3.2.	Otras formas de comunicación subacuática.....	11
3.2.1.	Comunicación subacuática por ondas acústicas .....	11
3.2.2.	Comunicación subacuática por medios ópticos.....	12
3.3.	Comparativa entre las formas de comunicación subacuáticas .....	12
IV.	Metodología.....	14
4.1.	Enfoque .....	14
4.2.	Variables de Investigación.....	14
4.2.1.	Variable dependiente:.....	14
4.2.2.	Variables independientes:.....	15



4.3.	Técnicas e Instrumentos aplicados .....	15
4.4.	Metodología de Estudio.....	16
4.5.	Hipótesis .....	17
4.6.	Cronograma de Actividades .....	17
4.6.1.	Población y muestra.....	18
V.	Resultados y Análisis.....	20
5.1.	Elaboración prototipo .....	20
5.1.1.	Materiales.....	20
5.1.2.	Programación.....	21
5.2.	Toma de datos en aire.....	22
5.3.	Toma de datos agua.....	23
VI.	Conclusiones .....	26
6.1.	Conclusión General.....	26
6.2.	Conclusiones Especificas.....	26
VII.	Recomendaciones.....	27
VIII.	Bibliografía.....	28
IX.	Anexos.....	30

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1:: Distribución actual de la longitud de onda en agua fresca a 433 Mhz.....	9
Ilustración 2: Modelo de radiación en agua fresca a 433 Mhz.....	9
Ilustración 3: Distribución actual de la longitud de onda en agua salada a 433 Mhz.....	10
Ilustración 4: Modelo de radiación en agua salada a 433 Mhz.....	10
Ilustración 5: Variables de investigación.....	15
Ilustración 6: Topometro MW-20M.....	16
Ilustración 7: Cronograma de actividades.....	17
Ilustración 8: Tabla de probabilidad acumulada.....	19
Ilustración 9: Diseño de la caja de protección.....	21
Ilustración 10: Diagrama de programación.....	21
Ilustración 11: Grafica de distancia máxima en aire.....	23
Ilustración 12: Grafica de distancias máxima en el agua.....	25

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tiempos totales de viaje en función de la temperatura y longitud de las guías.....	7
Tabla 2: Rendimiento EM bajo el agua.....	8
Tabla 3: Comparación de las formas de comunicación inalámbricas subacuáticas.....	13
Tabla 4: Distancias máximas en aire.....	22
Tabla 5: Distancias máxima en agua.....	23

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Formula de muestras necesarias.....	18
Ecuación 2: Calculo de Z para nivel de confianza.....	18
Ecuación 3: Muestra de investigación.....	19

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Prototipo de recepción sumergible.....	30
Anexo 2: Prototipo emisor.....	30
Anexo 3: Prueba de recepción bajo el agua A.....	31
Anexo 4: Prueba de recepción bajo el agua B.....	31
Anexo 5: Tabla de toma de datos.....	32
Anexo 6: Programa del emisor.....	32
Anexo 7: Programa del receptor.....	33
Anexo 8: Basex2 en metros de la parte de protección sumergible con acrílico 3mm espesor.....	34
Anexo 9: Frentex2 en metros de la parte de protección sumergible con acrílico 3mm espesor..	34
Anexo 10: Lateralx2 de la parte de protección sumergible con acrílico 3mm espesor.....	35

## LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

dB	Decibelio
EM	Electromagnetismo
Hz	Hertz
m	Metro
ms	Milisegundo
RF	Radiofrecuencia
<i>SL</i>	Sensation Level

## I. INTRODUCCIÓN

La comunicación subacuática es un campo de mucha importancia considerando que la mayor parte del planeta está cubierto por agua en muchas ocasiones se necesita la transmisión o recolección de datos desde el agua hasta la superficie para ser analizados. El presente trabajo se enfoca principalmente en el desarrollo de un dispositivo capaz de comunicarse de manera subacuática siguiendo el modelo de comunicación RF. Se explicará sobre el funcionamiento, la parte para crear un dispositivo capaz de comunicarse debajo del agua utilizando ondas RF.

El presente estudio está distribuido de la siguiente manera:

Capítulo II: Esta parte se enfoca principalmente en definir y plantear el problema, se plantean las preguntas de investigación y objetivos que son las que se tratarán de resolver con el estudio.

Capítulo III: Este es la parte teórica del informe, el Marco Teórico donde es una síntesis de la principal información para poder comprender mejor la problemática que se trata de resolver.

Capítulo IV: Se enfoca principalmente en la metodología que se utilizó para todo lo que se utilizó para la recopilación de información.

Capítulo V: Este capítulo es el más importante donde se dan a conocer los resultados y Análisis de todo el estudio.

Capítulo VI: Son las conclusiones que se dan de acuerdo con los objetivos planteados en él.

## **II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En el capítulo 2 de planteamiento del problema se presentará la estructura que tendrá la investigación. Se presentarán los antecedentes para tener una definición del por qué se debe de conocer más sobre este tema, se redactarán preguntas de investigación y se darán a conocer los objetivos generales y específicos sobre la comunicación subacuática por ondas RF.

### **2.1. PRECEDENTES DEL PROBLEMA**

Las comunicaciones electromagnéticas subacuáticas fueron investigadas con ferviente interés en el siglo pasado hasta la década de 1970. Porque su alcance está restringido por atenuación fundamental y ruido factores que deben considerarse inmutables elementos ambientales, avances significativos no eran de esperar en la comunicación por radio submarina ; por lo tanto, comunicación por radio con ondas RF, aunque tiene notables méritos en la tierra campo de red inalámbrica, ha tenido muy pocas prácticas aplicaciones subacuáticas hasta la fecha. (Che, Wells, Dickers, Kear, & Gong, 2010)

El comunicar dos dispositivos es de suma importancia y la manera en que estas comunicaciones se dan pueden ser muy variadas. Las principales maneras de comunicar en entorno subacuático existen 3 principales maneras, la primera es la utilización de ondas RF, la segunda es utilizando ondas acústicas y la tercera es usando medios ópticos. En un entorno donde se presentan todo un ecosistema se puede llevar a cabo una gran recolección de datos con la ayuda de sensores

### **2.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

Normalmente la comunicación subacuática se puede dar de dos maneras, la más segura es la cableada y la otra alternativa es la inalámbrica. La diferencia entre una red inalámbrica en agua a una en aire presenta grandes diferencias en cuanto a la protección de los componentes eléctricos, debido a que en el agua los objetos eléctricos pueden averiarse si entran en contacto con el agua lo cual es una gran diferencia de en el aire. Los medios inalámbricos son una opción factible, pero a diferencia del aire, los comportamientos en el agua son muy diferentes. Si se tienen en cuenta ambas formas de comunicar o traspasar información ambos dispositivos se debe tener en cuenta que el entorno en donde se desea implementar afecta a la hora de decidir cual manera usar. Por

esta razón en este trabajo se analizará sobre la manera inalámbrica cómo se comporta y utilizarla para lograr una comunicación inalámbrica debajo del agua utilizando ondas RF.

### **2.3. JUSTIFICACIÓN**

Por la falta de información que se presenta actualmente en el campo de la comunicación subacuática y la presentación de modelos funcionales que estén orientadas en el campo de la comunicación subacuática utilizando ondas RF, por esta razón se analizará y elaborará un prototipo utilizando esta tecnología.

### **2.4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

- 1) ¿Cuál será la distancia máxima que alcanzará el prototipo en aire utilizando ondas RF?
- 2) ¿Cuál será la distancia máxima que alcanzará el prototipo en agua utilizando ondas RF?
- 3) ¿Existe gran diferencia entre la comunicación RF en aire como en él agua?

### **2.5. OBJETIVOS**

#### 2.5.1. OBJETIVO GENERAL

Crear un prototipo utilizando las tecnologías de comunicación por ondas RF que se logre comunicar debajo del agua, realizar pruebas en distintos entornos y comparar su desenvolvimiento en el ambiente para la realización de pruebas, recolectar los datos de su desenvolvimiento y graficarlos para poder analizarlos.

#### 2.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Crear un prototipo funcional que logre comunicar dispositivos inalámbricamente utilizando el agua como medio con ondas RF.
- 2) Realizar pruebas de comunicación para medir la distancia máxima en metros en la que se logra establecer comunicación entre un emisor y un receptor que se encuentra debajo del agua.
- 3) Analizar los datos de distancia obtenidos de las pruebas para poder tabularlos y graficarlos.





### **III. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se dará a conocer más a fondo la parte teórica y aplicada acerca de la comunicación inalámbrica subacuática e información importante de los principales modelos que se utilizarán y el funcionamiento de los principios básicos.

Para comprensión del documento se manejará como comunicación inalámbrica subacuática todo aquel traspaso de información entre un emisor y un receptor que el medio por el que viaja el mensaje sea el agua, tanto agua dulce o agua salada. Y en este capítulo se explica el comportamiento de estas señales en el agua. Los dos modelos que se estudiarán serán la comunicación subacuática utilizando RF.

#### **3.1. COMUNICACIÓN SUBACUÁTICA POR RF**

Para poder comprender como funcionan la radiofrecuencia en un medio subacuático o debajo del agua, primeramente, se necesita conocer acerca de la radiofrecuencia en sí. Para empezar, se definirán las ondas electromagnéticas ya que parte de estas ondas se encuentra el espectro radioeléctrico que es de suma importancia para la comunicación por RF o radiofrecuencia.

##### **3.1.1. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO**

Para empezar a definir que es el espectro electromagnético primeramente hay que definir lo que es una onda electromagnética. Una onda electromagnética según (Ordóñez, 2017) es la propagación como un mecanismo de transporte de energía en el espacio y en el tiempo. Una onda es una propagación de una perturbación de alguna propiedad en un medio determinado. En pocas palabras es crear una onda que perturba el espacio circundante con origen electromagnético. Las ondas en sí no necesitan un medio de propagación, pero los objetos que interactúen en su camino las afectan, por esta razón para poder ser propagadas que van desde el vacío del espacio, el aire, un metal y el que se estudiara en esta ocasión el agua.

También hay que tener en cuenta que una onda electromagnética es una combinación de los campos eléctricos y magnéticos que produce una carga eléctrica al estar en movimiento.

Se consideran a las ondas electromagnéticas muy importantes en las comunicaciones especialmente en el área de las telecomunicaciones ya que estas pueden ser tratadas y moduladas para poder transmitir un mensaje. Hay que mencionar que al referirse a ondas electromagnéticas se refiere a un conjunto de varias ondas que presentan diferentes comportamientos y formas en las que se propagan interactuando con su entorno incluyendo la materia.

Según la clasificación que da (Ordóñez, 2017) en todo el conjunto de ondas electromagnéticas y se le conoce como el espectro electromagnético en el cual están incluidos distintos tipos de ondas en las cuales las más importantes son las siguientes:

1. Ondas subradio
2. Ondas radioeléctricas
3. Microondas
4. Rayos T
5. Rayos infrarrojos
6. Luz visible
7. Rayos ultravioletas
8. Rayos X
9. Rayos gamma
10. Rayos cósmicos

Y entre todo este conjunto para materia de este informe se tomará de mayor importancia las ondas radioeléctricas, el cual, lo que se conoce como espectro radioeléctrico de las ondas radioeléctricas son las que se usan para la comunicación de información por medios no guiados lo cual permite utilizar las ondas radioeléctricas en el vacío.

Así, en la conferencia de la UIT-R (ITU, 1947) (Sector de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, entonces denominado CCIR) de 1947, se definía la radiocomunicación como toda telecomunicación producida por medio de ondas electromagnéticas comprendidas entre 10kHz y 3.000 GHz.

Entre otros términos que son necesarios manejar se encuentra la permitividad eléctrica  $\epsilon$  según (Grande, 2013) es un parámetro físico que describe cómo un campo eléctrico afecta y es afectado

por un medio siendo  $\epsilon_0$  la permitividad eléctrica en el vacío, cuyo valor es  $8,8541878176 \times 10^{-12}$  F/m y  $\epsilon_r$  la permitividad relativa del material, esta permitividad depende de distintos parámetros como lo son la temperatura, la dirección de propagación o las frecuencias mecánicas o la tensión mecánica. Existe una gran diferencia entre la permitividad eléctrica de dos medios. Según (F.J. Souto Jorge, 2007) la constante de permitividad del agua es de 80 y la del aire es de 8,84.

### 3.1.2. COMPORTAMIENTO DE LAS ONDAS RF EN EL AGUA

El estudio del comportamiento de las ondas electromagnéticas en el agua ha sido campo de estudio debido a que se observó existe una gran atenuación y ruido, se sigue dando gran importancia debido a que las ondas de radiofrecuencia en la comunicación terrestre (el aire) de manera inalámbrica presentando mucha practicidad en el agua se le encuentran muy pocas aplicaciones debido a las grandes pérdidas que tiene con respecto a la distancia.

Hay que tener bien claro que existe una gran diferencia entre la propagación de las ondas RF con respecto al aire, tomando solamente la diferencia entre la permitividad eléctrica de ambos medios. Para mayor comprensión de cómo se comportan las ondas en el agua a diferencia del aire se llevó a cabo un estudio de la propagación de diferentes ondas en agua fresca para observar su comportamiento.

**Tabla 1: Tiempos totales de viaje en función de la temperatura y longitud de las guías**

Medio	Temperatura del medio (T), °C	N	Longitud de las guías, cm			
			15	30	45	60
			tps ns			
Agua	5	2	5030	9680	14220	
	10	2	4930	9560	14190	
	15	2	4980	9510	13980	
	20	2	4900	9340	13870	18123
	24	20	4742	9169	13622	
	25	2	4840	9300	13730	
	30	2	4730	9100	13470	
	35	2	4810	9210	13450	
	40	2	4790	9130	13360	
Aire		36	0,787	1266	1746	2247

N-número de medidas; \*número de medidas 20

Fuente: (F.J. Souto Jorge, 2007)

En la imagen se puede observar los tiempos de respuestas de ondas de diferentes longitudes tomadas en una cámara con longitud de 45cm. Ciertamente la variación que tiene en el tiempo de respuesta está muy influenciada por el medio, y el agua no es el mejor medio para la transmisión de ondas de radiofrecuencia.

Como ya se puede observar la propagación de las ondas electromagnéticas en el agua son muy diferentes a las del aire debido en mayor parte a su alta permitividad, ya se han llevado a cabo estudios del comportamiento de las ondas de ondas a distintas frecuencias en distintos entornos y observar su comportamiento, uno de los más destacables es que se observa en la siguiente tabla.

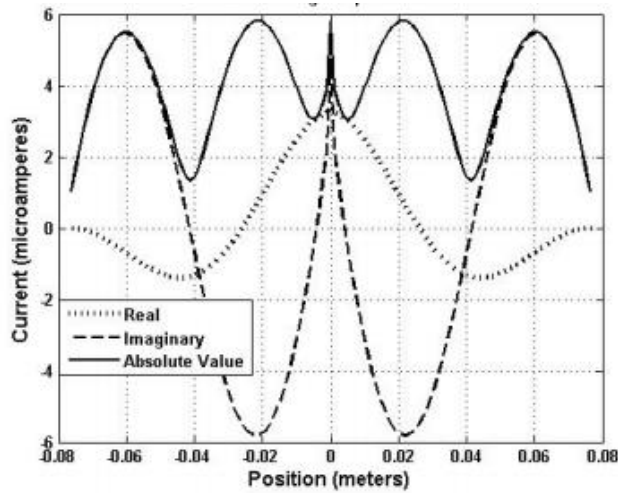
**Tabla 2: Rendimiento EM bajo el agua**

		Frecuencias [Hz]					
		100	1,000	10,000	100,000	1 millón	10 millones
Velocidad de propagación [m/s]	Agua salada	$1.77 \times 10^4$	$4.88 \times 10^4$	$1.52 \times 10^4$	$4.82 \times 10^5$	$1.52 \times 10^6$	$4.32 \times 10^6$
	Agua fresca	$3.16 \times 10^5$	$1.00 \times 10^6$	$3.16 \times 10^6$	$1.00 \times 10^7$	$3.16 \times 10^7$	$1.00 \times 10^8$
	Espacio libre	$3.00 \times 10^8$	$3.00 \times 10^8$	$3.00 \times 10^8$	$3.00 \times 10^8$	$3.00 \times 10^8$	$3.00 \times 10^8$
Longitud de la onda [m]	Agua salada	$1.76 \times 10^2$	$4.88 \times 10^1$	$1.52 \times 10^1$	$4.82 \times 10^0$	$1.52 \times 10^0$	$4.30 \times 10^{-1}$
	Agua fresca	$3.16 \times 10^3$	$1.00 \times 10^3$	$3.16 \times 10^3$	$1.00 \times 10^3$	$3.16 \times 10^3$	$1.00 \times 10^3$
	Espacio libre	$3.00 \times 10^6$	$3.00 \times 10^5$	$3.00 \times 10^4$	$3.00 \times 10^3$	$3.00 \times 10^2$	$3.00 \times 10^1$
Distancia de propagación [m] para cada 100 dB de atenuación	Agua salada	$3.23 \times 10^2$	$8.92 \times 10^1$	$2.79 \times 10^1$	$8.81 \times 10^0$	$2.79 \times 10^0$	$7.87 \times 10^{-1}$
	Agua fresca	$5.78 \times 10^3$	$1.83 \times 10^3$	$5.78 \times 10^2$	$1.83 \times 10^2$	$5.78 \times 10^1$	$1.83 \times 10^1$

Fuente: (Che, Wells, Dickers, Kear, & Gong, 2010)

En la tabla 2 se puede apreciar cómo se comportan las ondas electromagnéticas en el agua. Se observa el comportamiento entre agua dulce o fresca y el agua salada a la velocidad en la que se propagan e incluso sobre las pérdidas que se tienen debido a la atenuación. Cabe destacar que para una mejor propagación de la onda es mejor hacerlo en altas frecuencias ya que se propaga a mayor velocidad y presenta menos pérdidas.

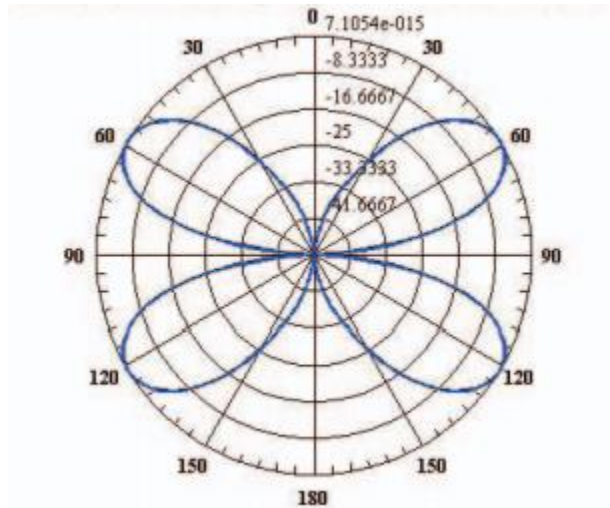
Para las pruebas se tiene pensado utilizar un comunicador RF de 433 Mhz y existe un estudio del comportamiento de la onda con esta frecuencia en agua dulce y agua salada.



**Ilustración 1:: Distribución actual de la longitud de onda en agua fresca a 433 Mhz**

Fuente: (Hunt, Niemeier, & Kruger, 2010)

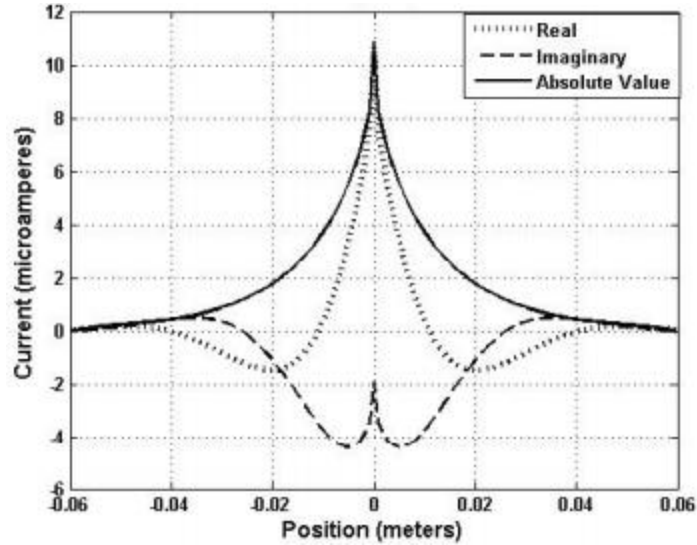
En la ilustración 1 se puede observar cómo se distribuye la onda en agua fresca, al alejarse del punto de emisión, la potencia a la que recibe la señal disminuye, aunque no de manera abrupta él cambio es mayor al que se da en el aire.



**Ilustración 2: Modelo de radiación en agua fresca a 433 Mhz**

Fuente: (Hunt, Niemeier, & Kruger, 2010)

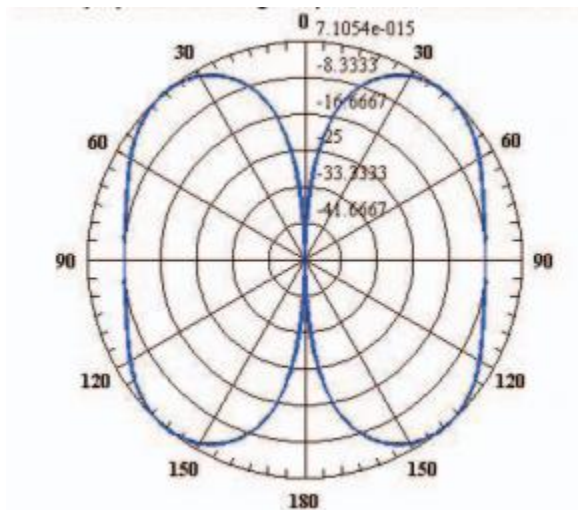
En la ilustración 2 se observa cómo se distribuye la radiación con respecto a un punto de origen. La radiación presenta un modelo decreciente dependiendo de la distancia a la que se encuentra del foco.



**Ilustración 3: Distribución actual de la longitud de onda en agua salada a 433 Mhz**

Fuente: (Hunt, Niemeier, & Kruger, 2010)

En la ilustración 3 se puede observar que, a diferencia de la dispersión de la potencia en agua dulce, la dispersión de la potencia es mayor con respecto al punto de emisión.



**Ilustración 4: Modelo de radiación en agua salada a 433 Mhz**

Fuente: (Hunt, Niemeier, & Kruger, 2010)

En la ilustración 4 se observa cómo se distribuye la radiación con respecto al punto de origen en el agua salada. A diferencia del agua dulce, en el agua salada la atenuación es más brusca con respecto al alejamiento que se tiene del foco de origen.

### **3.2. OTRAS FORMAS DE COMUNICACIÓN SUBACUÁTICA**

A pesar del hecho que se está analizando la comunicación subacuática por ondas RF también existen otras maneras en que se puede realizar la comunicación en un entorno subacuático, como lo son las ondas acústicas o por medios ópticos.

#### **3.2.1. COMUNICACIÓN SUBACUÁTICA POR ONDAS ACÚSTICAS**

Al igual que las ondas electromagnéticas que se propagan a través del espacio electromagnético, en las cuales están incluidas las ondas RF, para poder entender acerca de las ondas acústicas primeramente se definirá que es el sonido. Con la ayuda de la definición de (Jaramillo, 2007), al igual que las ondas electromagnéticas alterando el comportamiento del espacio electromagnético el sonido son las variaciones que se propagan a través de un medio haciéndolo vibrar o producir oscilaciones de las partículas que lo conforman, a través de las cuales se transmiten longitudes de ondas sonoras, existiendo diferentes tipos de ondas sonoras como las infrasónicas y ultrasónicas. Por lo cual se definirán las ondas acústicas como el conjunto de todas estas ondas transmitidas a través de un medio.

A diferencia de las ondas electromagnéticas las ondas acústicas necesitan un medio para propagarse, por lo cual no pueden ser transmitidas en el vacío. Las ondas acústicas viajan a diferentes velocidades dependiendo de los materiales por el cual viaje, según (Fisic, 2019) la velocidad del sonido en el agua es de 1,410 m/s. Para lograr comunicar con ondas acústicas lo necesario es producir las ondas a la frecuencia deseada con la amplitud y poder captar estas señales en el otro extremo, el funcionamiento de modulación es similar a las ondas RF lo único diferente es la forma en cómo se envían las señales.

Según (Hunt, Niemeier, & Kruger, 2010) el estudio del sonido para la propagación en el océano es fundamental para el entendimiento para comprender el desenvolvimiento de los fenómenos acústicos debajo del agua y aplicarlo. El sonido en el océano es afectado por la composición

química y física que posee el agua, si un sonido es radiado como una señal de origen de un nivel SL decibeles a una distancia el sonido se comporta de manera que la intensidad del sonido se va reduciendo mediante se va alejando del transmisor. El estudio de las pérdidas de señales es de suma importancia para el estudio de la propagación de las ondas bajo el agua.

### 3.2.2. COMUNICACIÓN SUBACUÁTICA POR MEDIOS ÓPTICOS

En los últimos años, el interés por la comunicación inalámbrica por medios ópticos ha aumentado en los ámbitos terrestre, espacial y enlaces submarinos, ya que es capaz de proporcionar altas velocidades de datos con baja potencia y requerimiento de masa. Muchos de los investigadores han realizado trabajos para enlaces terrestres y espaciales, sin embargo, los enlaces inalámbricos ópticos submarinos son relativamente menos explorados ya que es más desafiante que los enlaces atmosféricos. El obstáculo significativo para la comunicación submarina confiable es debido a la amplia gama de procesos físicos en varios tipos de ambientes subacuáticos que van desde aguas costeras poco profundas a mar profundo u océanos. (Kaushal & Kaddoum, 2016)

La utilización de medios ópticos se lleva a cabo un rayo óptico que viaja a través del medio, las propiedades de este dependen de la potencia y la distancia que se quiere alcanzar. Donde se tienen que alinear un módulo de emisión y recepción. Tienen que estar perfectamente alineados para que el rayo de transmisión pueda llegar al receptor y ser captado.

### **3.3. COMPARATIVA ENTRE LAS FORMAS DE COMUNICACIÓN SUBACUÁTICAS**

La comunicación subacuática con estas tecnologías presenta tanto beneficios como limitaciones para cada una dependiendo de la aplicación que se le quiere dar utilizando como guía lo mencionado por. Todas las formas de comunicar presentan tanto ventajas como desventajas dependiendo del entorno en el que se encuentre, y las principales formas que se utilizan para comunicar subacuáticamente que son con ondas RF, ondas acústicas y medios ópticos. Las tres son las formas en como se ha logrado una comunicación subacuática exitosa y en esta parte del capítulo se compararán los 3 medios y las ventajas y desventajas que poseen en cuanto a la comunicación subacuática.



**Tabla 3: Comparación de las formas de comunicación inalámbricas subacuáticas**

Tecnología	Beneficios	Limitantes
RF	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cruza el agua/aire/ fondo marino fácilmente.</li> <li>• Funciona en aguas poco profundas.</li> <li>• No es afectado por la turbiedad, salinidad y presión del medio.</li> <li>• No es afectado por los sedimentos ni la erosión del ambiente.</li> <li>• Inmune al ruido acústico.</li> <li>• Alcanza anchos de banda altos (arriba de 100Mb/s)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Susceptible al electromagnetismo.</li> <li>• Rango limitado en el agua.</li> </ul>
Acústico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnología probada para funcionar debajo del agua.</li> <li>• Alcanza distancias por encima de los 20 km.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Super alta reflexión y atenuación cuando se transmite a través del agua/aire.</li> <li>• Bajo rendimiento en aguas poco profundas.</li> <li>• Afectado por la turbiedad, ruido ambiental, salinidad y presión del ambiente.</li> <li>• Limitado ancho de banda (0 b/s hasta 20 kb/s)</li> </ul>
Óptico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ultra alto ancho de banda de gigabits por segundo.</li> <li>• Bajo costo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No cruza el límite agua/aire fácilmente.</li> <li>• Susceptible a la turbiedad, partículas y suciedad.</li> <li>• Necesita línea de visión.</li> <li>• Requiere alineación ajustada de los nodos.</li> <li>• Muy corto rango.</li> </ul>

Fuente: (Che, Wells, Dickers, Kear, & Gong, 2010)

En la tabla 3 se observa algunas de las ventajas y limitaciones que tienen las 3 principales formas de comunicación subacuática que existen, si bien las limitaciones que presentan son muy grandes comparadas con el aire.

## **IV.METODOLOGÍA**

El desarrollo del informe ya ha sido planteado en el capítulo II, el capítulo III estableció de manera apropiada el marco teórico, las bases para la investigación ya han sido planteadas por lo cual se avanzará con la metodología. En la sección de la metodología se determinará el enfoque, variables de investigación, técnicas e instrumentos aplicados, materiales, población, metodología de estudio, metodología de validación y cronograma de actividades de la presente investigación, para posteriormente dar los resultados y análisis junto con las conclusiones de la elaboración de los prototipos.

### **4.1. ENFOQUE**

El enfoque de esta investigación es un enfoque mixto ya que presenta tanto un enfoque cuantitativo como cualitativo. Tiene un enfoque cuantitativo ya que existen datos que se pueden medir y cuantificar, ser recopilados y analizados para poder dar solución a las preguntas de investigación desde un punto de vista objetivo. También es cualitativo ya que el fin por el que se desarrolla el proyecto es dar una solución a una problemática real utilizando una gran variedad de técnicas para crear un dispositivo que tendrá un fin bien específico.

### **4.2. VARIABLES DE INVESTIGACIÓN**

Las variables de Investigación son prácticamente lo que se ha analizado en todo el desarrollo del dispositivo capaz de comunicarse de manera inalámbrica subacuáticamente de manera no cableada, estas variables presentan muchas características que ya se han estudiado en los capítulos anteriores, entre estas variables podemos mencionar los diferentes grupos:

#### **4.2.1. VARIABLE DEPENDIENTE:**

Es aquella que cambia conforme a las variables independientes. La variable dependiente de la investigación es la comunicación subacuática exitosa.

#### 4.2.2. VARIABLES INDEPENDIENTES:

1. Distancia máxima de comunicación: Es la distancia máxima a la cual se logra una comunicación exitosa medida en metros [m].
2. Medio: El ambiente es de suma importancia ya que es prácticamente lo que diferencia estas pruebas de otras pruebas realizadas en un entorno normal, en este caso se diferencian los medios de agua y aire en la toma de recolección de datos.



**Ilustración 5: Variables de investigación**

Fuente: Elaboración propia

#### **4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS**

La elaboración de esta investigación se centra en la recopilación de revistas científicas, libros, páginas científicas y entrevista. Para la elaboración de los prototipos se aplicaron los conocimientos técnicos y analíticos para solventar un problema adquiriendo los instrumentos necesarios y lograr que estos funcionen correctamente.

Para la toma de datos en el aire, como se alcanzaron distancias bastante altas se utilizó como instrumento de medición un topómetro Stanley de 999,9 m el cual cuenta con una precisión de  $\pm 2\%$ .



**Ilustración 6: Topometro MW-20M**

Fuente: (Stanley, 2020)

Para la toma de datos en el agua, al ser una distancia relativamente corta se utilizó como instrumento de medición un flexómetro Stanley de 5m, el cual tiene error de medición de  $\pm 0,1$  cm.



Fuente: (Stanley, 2014)

#### **4.4. METODOLOGÍA DE ESTUDIO**

Primeramente, después de la selección del tema se realizó un análisis profundo de la problemática para poder plantear una manera sencilla de realizar pruebas confiables. El primer paso fue la

selección de un modulo de transmisión que utiliza ondas de radiofrecuencia, luego realizar una caja que pueda ser sumergida con el controlado en el agua. Al tener construidos el modulo emisor y Receptor se realizarán las pruebas en el agua, se tomara los datos obtenidos para poder ser analizados y finalmente se podrá dar una respuesta puntual a las preguntas que se tienen.

#### 4.5. HIPÓTESIS

Hipótesis de investigación 1 (H<sub>i</sub>): Al utilizar la comunicación tanto por ondas RF se logra la comunicación subacuática.

Hipótesis de investigación 2 (H<sub>i</sub>): El comunicar los dispositivos debajo del agua no conlleva un mayor problema a la hora de la transferencia de información.

Hipótesis nula (H<sub>0</sub>): El prototipo receptor no logra establecer una conexión exitosa con el emisor.

#### 4.6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Para la elaboración correcta del estudio se necesitó seguir los lineamientos del cronograma para terminar las actividades en el orden estipulado.

Actividades	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Selección del tema	■									
Evaluación del problema	■	■								
Recolección de datos		■	■	■						
Estudio de la metodología				■	■					
Compra de materiales		■			■	■				
Creación del prototipo						■	■			
Resultados y conclusiones								■	■	
Entrega y presentación final									■	■

**Ilustración 7: Cronograma de actividades**

Fuente: Elaboración propia

#### 4.6.1. POBLACIÓN Y MUESTRA

“Muestra Subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta” (Sampieri, R., & P., 2014)

La población que se tiene en la investigación es la cantidad de mediciones que se realizaran en las distancias máximas que alcanza el prototipo en el medio que se somete a prueba. Para poder determinar el numero de muestras que se utilizaran se usó la siguiente formula:

$$n = \frac{z^2 pq}{B^2}$$

#### **Ecuación 1: Formula de muestras necesarias**

Fuente: (Enric Mateu, 2003)

Donde:

n= Tamaño de la muestra

z= Nivel de confianza.

p= Probabilidad a favor.

q= Probabilidad en contra.

B= Precisión o error admitido

Para este caso la confianza que se quiere tener un 85% de confianza, p y q en 50% cada uno y la precesión o error admitido del 15%. El valor de Z de la tabla es de 1.44 de la tabla de valores de probabilidad acumulada (Z, 2010). La ecuacion a aplicar es la siguiente:

$$Z = 1 - \frac{1 - 0.85}{2} = 0.925$$

#### **Ecuación 2: Calculo de Z para nivel de confianza**

Seguidamente con la ecuación 2 y el valor de 0.925 se busca en la tabla de valores de probabilidad acumulada. El valor presente en la tabla es de 1.44.

<b>z</b>	<b>0</b>	<b>0.01</b>	<b>0.02</b>	<b>0.03</b>	<b>0.04</b>
<b>0.0</b>	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160
<b>0.1</b>	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557
<b>0.2</b>	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948
<b>0.3</b>	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331
<b>0.4</b>	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700
<b>0.5</b>	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054
<b>0.6</b>	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389
<b>0.7</b>	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704
<b>0.8</b>	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995
<b>0.9</b>	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264
<b>1</b>	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508
<b>1.1</b>	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729
<b>1.2</b>	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925
<b>1.3</b>	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099
<b>1.4</b>	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	<b>0.9251</b>

**Ilustración 8: Tabla de probabilidad acumulada**

Fuente: (Z, 2010)

Por esta razón a la hora del calculo de Z se usa el valor de 1.44 que corresponde a los 0.9251.

$$n = \frac{(1.44^2)(0.5)(0.5)}{0.15^2} = 23.04$$

**Ecuación 3: Muestra de investigación**

Fuente: (Enric Mateu, 2003)

Por lo cual el tamaño de las muestras para tener un 85% del nivel de confianza es de 23.

## V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentará los resultados obtenidos a través de los análisis previamente mencionados, mostrando el procedimiento para la recopilación de datos importantes con la ayuda del prototipo.

### 5.1. ELABORACIÓN PROTOTIPO

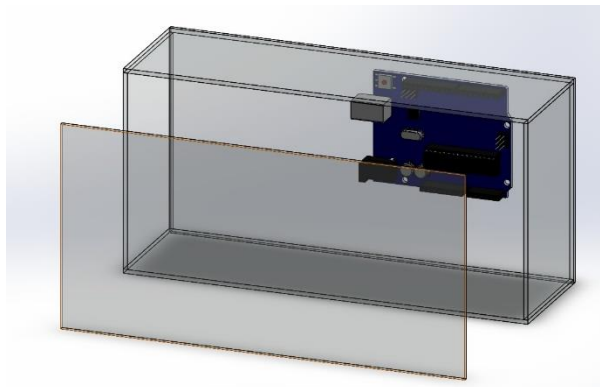
En esta sección se explicará cómo fue la elaboración del prototipo, desde los materiales utilizados, hasta la programación utilizada en los microcontroladores.

#### 5.1.1. MATERIALES

El desarrollo del prototipo se elaboró con la siguiente lista de materiales:

- Acrílico de 3mm de espesor.
- Modulo RF de 433 Mhz.
- Arduino uno.
- Arduino nano.
- Led blanco
- Batería 9V
- Jumpers
- Antena telescópica varilla.
- Antena Wi-Fi.

El diseño de la caja de acrílico donde se introdujo el dispositivo para hacer las pruebas de control debajo del agua se hicieron con el programa SolidWorks (SolidoWorks, 2020) y el código fue generado con el programa de Fusión 360 (Fusion360, 2020) para ser cortados con ayudar de la CNC. Se diseñaron 3 piezas con las dimensiones de 20x10cm, 20x6cm y 6x10cm. En la siguiente imagen se muestra el diseño.





### Ilustración 9: Diseño de la caja de protección.

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 9 se puede apreciar el tamaño de la caja para el módulo receptor donde se ubicó el Arduino Uno como controlador.

#### 5.1.2. PROGRAMACIÓN

La programación al usar Arduino se usó el software de Arduino (Arduino, 2020) y se utilizó la librería para el módulo RF de 433 Mhz. En la siguiente imagen se observa cómo está elaborado el programa.

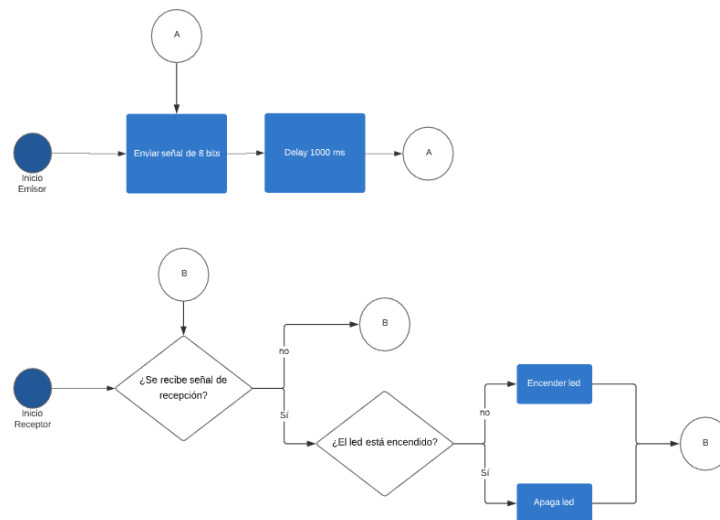


Ilustración 10: Diagrama de programación

Fuente: Elaboración propia

La programación es bien sencilla y hay una para el emisor y el receptor, donde el emisor manda un paquete de 8 bits cada 1000 milisegundos, mientras el receptor espera recibir la señal para encender o apagar un led cuando se reciba el paquete.

## 5.2. TOMA DE DATOS EN AIRE

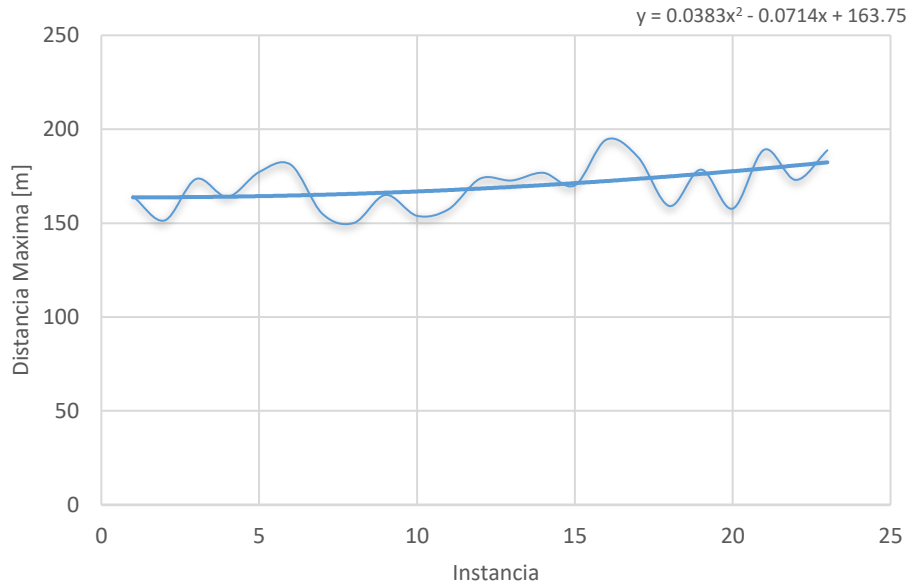
Para la toma de datos de la máxima distancia que se alcanza en el aire con el prototipo, la toma se hizo con la antena del emisor en una altura igual a la del receptor. Los datos obtenidos de la distancia máxima del controlador en aire se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 4: Distancias máximas en aire**

Instancia	Distancia Máxima [m]
1	164,3
2	151,4
3	173,5
4	164
5	177,2
6	181,1
7	155
8	150,1
9	165
10	153,9
11	157,4
12	173,7
13	172,7
14	176,8
15	170,1
16	194,5
17	185,2
18	159,1
19	178,5
20	157,7
21	189,1
22	173
23	188,8

Fuente: Elaboración propia

Se hizo un total de 23 mediciones donde la distancia máxima a la que se pudo realizar una conexión entre el emisor y el receptor es de 194,5 m y una distancia mínima de 150,1m. La grafica de los datos se muestra en la ilustración 11.



**Ilustración 11: Grafica de distancia máxima en aire**

Fuente: Elaboración propia

Las pruebas se hicieron en 2 días distintos, fueron tomados en línea recta desde el emisor hasta el receptor donde se podía tomar el dato cuando ya no se recibía la señal.

### **5.3. TOMA DE DATOS AGUA**

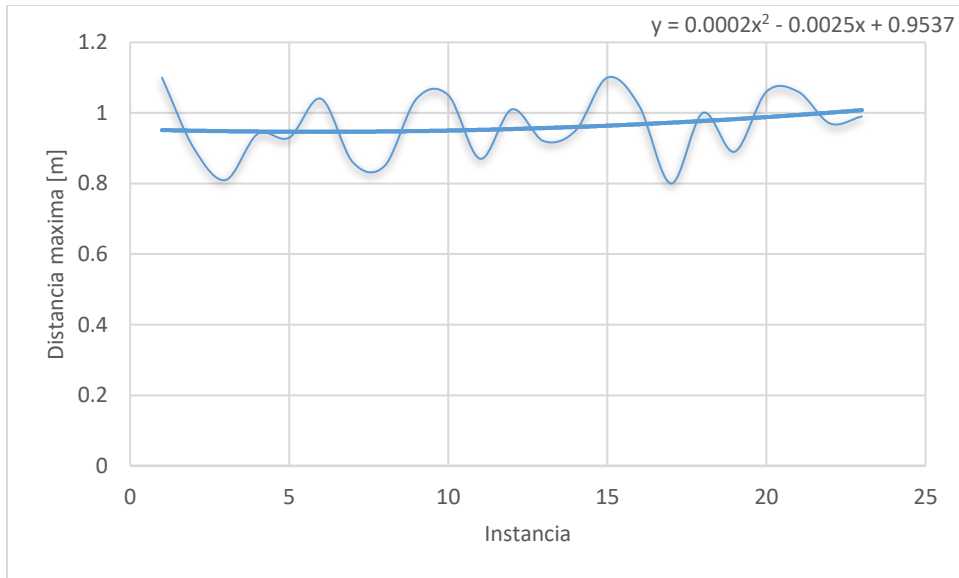
Para la toma de datos de la máxima distancia que se alcanza en el agua con el prototipo, la toma de datos se hizo con la antena sumergida en el agua. Cabe destacar que las pruebas se hicieron en 3 ocasiones debido a que el prototipo tenía una pequeña fuga por donde se le introducía el agua, pero a pesar de eso siempre se logró establecer una conexión exitosa, aunque en comparativa siempre mucho menor que en el aire. Los datos obtenidos de la distancia máxima del controlador en aire se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 5: Distancias máxima en agua**

Instancia	Distancia Máxima [m]
1	1,1
2	0,9
3	0,81
4	0,94
5	0,93
6	1,04
7	0,86
8	0,85
9	1,04
10	1,05
11	0,87
12	1,01
13	0,92
14	0,95
15	1,1
16	1,02
17	0,8
18	1
19	0,89
20	1,06
21	1,06
22	0,97
23	0,99

Fuente: Elaboración propia

Se hizo igualmente un total de 23 mediciones donde la distancia máxima a la que se estableció una conexión fue de 1,1 m, distancia mínima de 0,8 m y un promedio de 0,96 m. La grafica de los datos se muestra en la ilustración 12.



**Ilustración 12: Grafica de distancias máxima en el agua**

Fuente: Elaboración propia

Las pruebas se llevaron a cabo en una piscina de natación que posee un largo máximo de 25 m, no se pudo alcanzar la profundidad máxima de la piscina de 1.5m.

## **VI. CONCLUSIONES**

Las conclusiones es la parte final que muestra la solución a los objetivos que se dieron a conocer al inicio de la investigación.

### **6.1. CONCLUSIÓN GENERAL**

Se creo el prototipo funcional que logro comunicarse exitosamente en el agua, donde como prueba de su funcionamiento realizaba el encendido y apagado de un led como prueba de su correcto funcionamiento, con el mismo dispositivo se hicieron pruebas para lograr determinar la máxima distancia a la que se establecía conexión, recopilar y analizar estos datos.

### **6.2. CONCLUSIONES ESPECIFICAS**

- 1) Se creo un prototipo funcional que se logra comunicar tanto en el aire como en el agua, pero presenta bastantes perdidas en un entorno subacuático.
- 2) Se realizaron pruebas de comunicación en la que se pudo medir la distancia máxima en la que se logra establecer comunicación con un dispositivo que se encuentra debajo del agua.
- 3) Se recopilaron, analizaron, tabularon y graficaron los datos de las pruebas que se hicieron donde se obtuvo que el prototipo alcanzo una distancia máxima de comunicación de 1,1 m.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- 1) Realizar pruebas de comunicación ya sea a frecuencias menores de 433 Mhz o mayores de 433 Mhz para poder observar su comportamiento.
- 2) Realizar un prototipo utilizando la tecnología de ondas acústicas o modelo óptico.
- 3) Hacer el dispositivo Full duplex para que pueda transmitir como recibir para de esa manera realizar pruebas de tiempo de respuesta.

## VIII. BIBLIOGRAFÍA

Arduino. (2020). Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/main/software>

Che, X., Wells, I., Dickers, G., Kear, P., & Gong, X. (2010). *Re-evaluation of RF electromagnetic communication in underwater sensor networks*. IEEE. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5673085>

Enric Mateu, J. C. (2003). Obtenido de [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/53714025/calculo\\_de\\_prevelncia.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTAMANO\\_DE\\_LA\\_MUESTRA.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200309%2Fus-east-1%2](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/53714025/calculo_de_prevelncia.pdf?response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DTAMANO_DE_LA_MUESTRA.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200309%2Fus-east-1%2)

F.J. Souto Jorge, J. D. (2007). *DISEÑO Y CALIBRACIÓN AIRE-AGUA DE UN CONECTOR DE GUÍAS DE TDR PARA MEDIDA DE LA*. Obtenido de [http://zonanosaturada.com/zns07/publications\\_files/area\\_2/17.pdf](http://zonanosaturada.com/zns07/publications_files/area_2/17.pdf)

Fisic. (2019). *fisic.hn*. Obtenido de <https://www.fisic.ch/contenidos/ondas-y-sonido/velocidad-del-sonido/>

Fusion360. (2020). Obtenido de <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/students-teachers-educators>

Grande, A. H. (2013). *PERMITIVIDAD ELÉCTRICA Y PERMEABILIDAD MAGNÉTICA*. Madrid. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/22285/1/T34606.pdf>



Hunt, K. P., Niemeier, J. J., & Kruger, A. (2010). *RF communications in underwater wireless sensor networks*. Obtenido de <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5612087>

ITU. (1947). *International Telecommunication Union*. <https://www.itu.int/es/ITU-R/Pages/default.aspx>.

Jaramillo, A. M. (2007). *ACÚSTICA: la ciencia del sonido*.

Kaushal, H., & Kaddoum, G. (29 de Abril de 2016). Underwater Optical Wireless Communication.

Ordóñez, J. L. (2017). *Espectro electromagnético y espectro radioléctrico*. Obtenido de [https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias\\_y\\_tecnologia/062017.pdf](https://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf)

Sampieri, H., R., B. L., & P., & F. (2014). Metodología de la. 173.

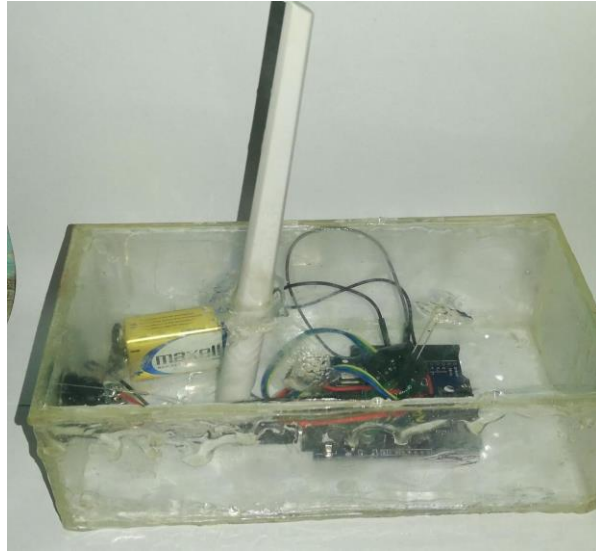
SolidoWorks. (2020). Obtenido de <https://www.solidworks.com/es>

Stanley. (2014). *Catalogo General*. Obtenido de <https://sija.es/catalogos/industrial/STANLEY-2014.pdf>

Stanley. (2020). *StanleyWorks*. Obtenido de <https://www.stanleyworks.es/products/detail/Productos/HERRAMIENTAS+MANUALES+/Medici%C3%B3n/Top%C3%B3metros+/Top%C3%B3metro+MW-20M>

Z, T. (10 de 2010). Obtenido de <https://jrvargas.files.wordpress.com/2010/07/tabla-z.pdf>

## IX.ANEXOS



**Anexo 1: Prototipo de recepción sumergible**



**Anexo 2: Prototipo emisor**



**Anexo 3: Prueba de recepción bajo el agua A**



**Anexo 4: Prueba de recepción bajo el agua B**

Nº	Distancia (m)	Comentarios	Exitos	Nº	Distancia (m)	Comentarios	Exitos
1	144.3	A.100	✓	50	1.1	A.100	✓
2	151.8	A.210	✓	51	0.9	A.100	✓
3	152.2	A.210	✓	52	0.51	A.100	✓
4	153.0	A.100	✓	53	0.74	A.100	✓
5	153.0	A.0	✓	54	0.03	A.100	✓
6	153.3	A.0	✓	55	1.08	A.100	✓
7	155	A.100	✓	56	0.85	A.100	✓
8	155.1	A.100	✓	57	0.78	A.100	✓
9	155	A.100	✓	58	1.05	A.100	✓
10	155.5	A.100	✓	59	1.02	A.100	✓
11	155.5	A.100	✓	60	0.51	A.100	✓
12	155.7	A.100	✓	61	0.5	A.100	✓
13	157.7	A.100	✓	62	0.07	A.100	✓
14	158.8	A.100	✓	63	0.94	A.100	✓
15	161	A.100	✓	64	1.15	A.100	✓
16	164.5	A.100	✓	65	1.02	A.100	✓
17	165.7	A.100	✓	66	1.15	A.100	✓
18	167	A.100	✓	67	1	A.100	✓
19	168.3	A.100	✓	68	0.84	A.100	✓
20	168.7	A.100	✓	69	1.04	A.100	✓
21	168.1	A.100	✓	70	1.08	A.100	✓
22	165	A.100	✓	71	0.97	A.100	✓
23	167.8	A.100	✓	72	0.34	A.100	✓
24				73			
25				74			
26				75			
27				76			
28				77			
29				78			
30				79			
31				80			
32				81			
33				82			
34				83			
35				84			
36				85			
37				86			
38				87			
39				88			
40				89			
41				90			
42				91			
43				92			
44				93			
45				94			
46				95			
47				96			
48				97			
49				98			

**Anexo 5: Tabla de toma de datos**

```

1  /// Programa 1 lado Emisor ///
2
3  #include <RH_ASK.h> // incluye libreria RadioHead.h
4  #include <SPI.h> // incluye libreria SPI necesaria por RadioHead.h
5
6  RH_ASK rf_driver; // crea objeto para modulacion por ASK
7
8  void setup(){
9    rf_driver.init(); // inicializa objeto con valores por defecto
10 }
11
12 void loop(){
13   const char *msg = "Mensaje enviado "; r
14   rf_driver.send((uint8_t *)msg, strlen(msg)); // funcion para envio del mensaje
15   rf_driver.waitPacketSent(); // espera al envio correcto
16   delay(1000); // demora de 1 segundo entre envios
17 }

```

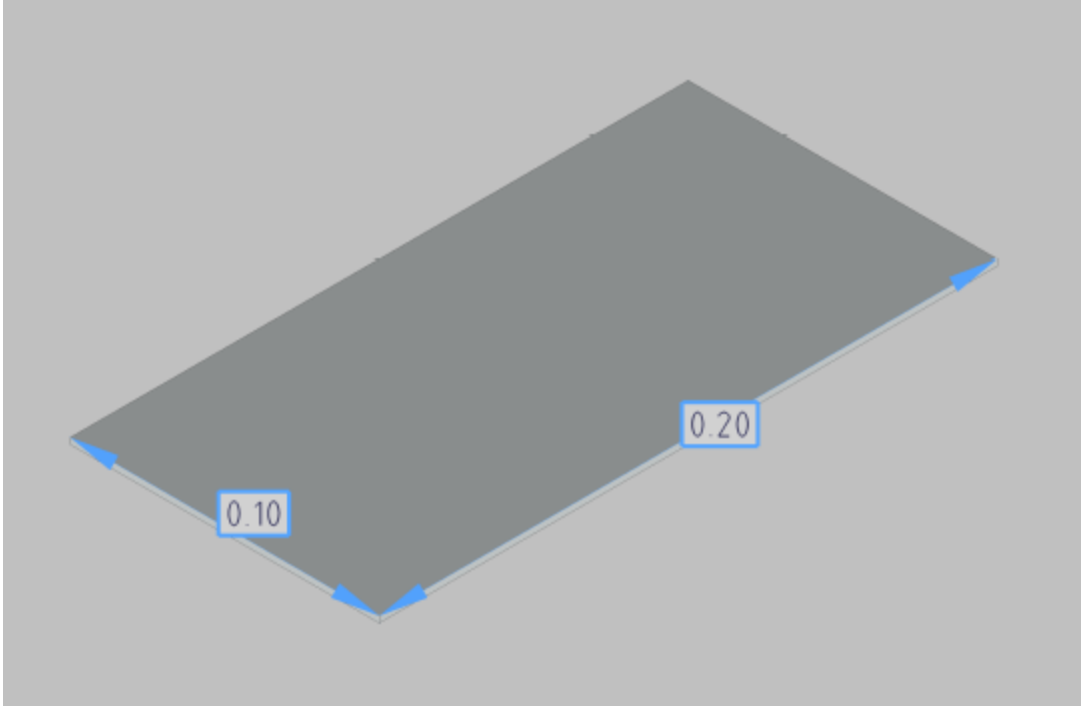
**Anexo 6: Programa del emisor**

```

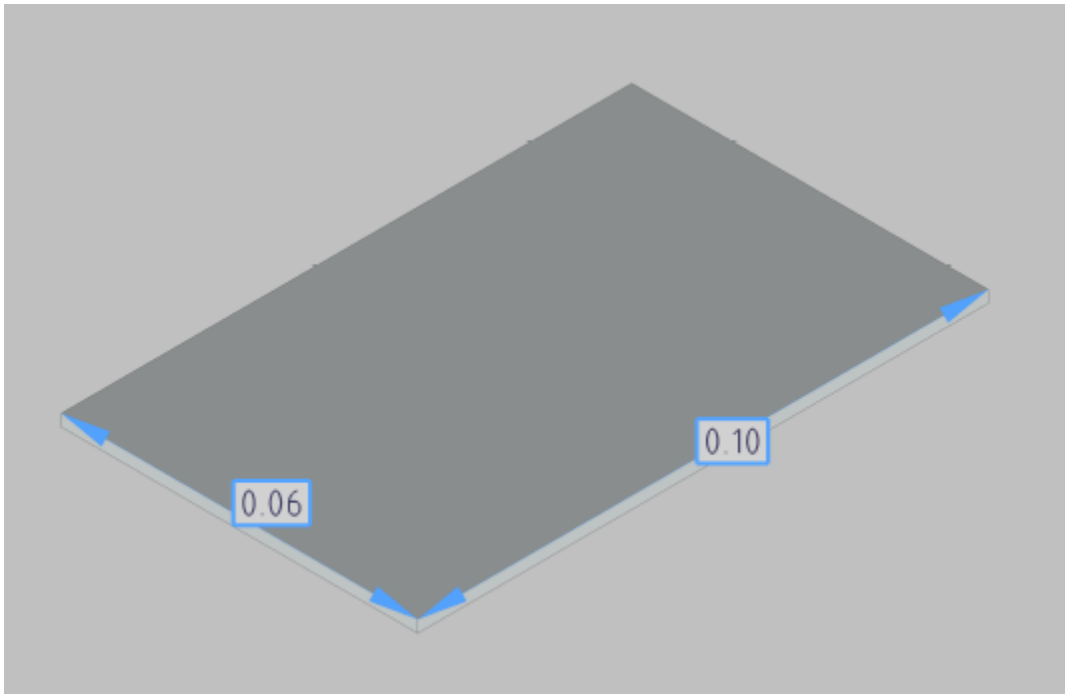
1
2  /// Programa 1 lado Receptor ///
3
4  #include <RH_ASK.h> // incluye libreria RadioHead.h
5  #include <SPI.h>   // incluye libreria SPI necesaria por RadioHead.h
6
7  RH_ASK rf_driver; // crea objeto para modulacion por ASK
8  int led=8;
9  int var=1;
10
11 void setup(){
12     rf_driver.init(); // inicializa objeto con valores por defecto
13     Serial.begin(9600); // inicializa monitor serie a 9600 bps
14     pinMode(led,OUTPUT);
15     digitalWrite(led,HIGH);
16 }
17
18 void loop(){
19     uint8_t buf[17]; // espacio para almacenar mensaje recibido
20     uint8_t buflen = sizeof(buf); // longitud del buffer de mensaje
21
22     if (rf_driver.recv(buf, &buflen)) // si existen datos correctos recibidos
23     {
24         Serial.print("Mensaje: "); // imprime Mensaje:
25         Serial.println((char*)buf); // imprime buffer de mensaje
26         if(var==1)
27         {
28             digitalWrite(led,LOW);
29             var=0;
30             Serial.println("Señal apagado");
31         }
32         else if(var==0)
33         {
34             digitalWrite(led,HIGH);
35             var=1;
36             Serial.println("Señal encendido");
37         }
38     }
39 }
40
41 }

```

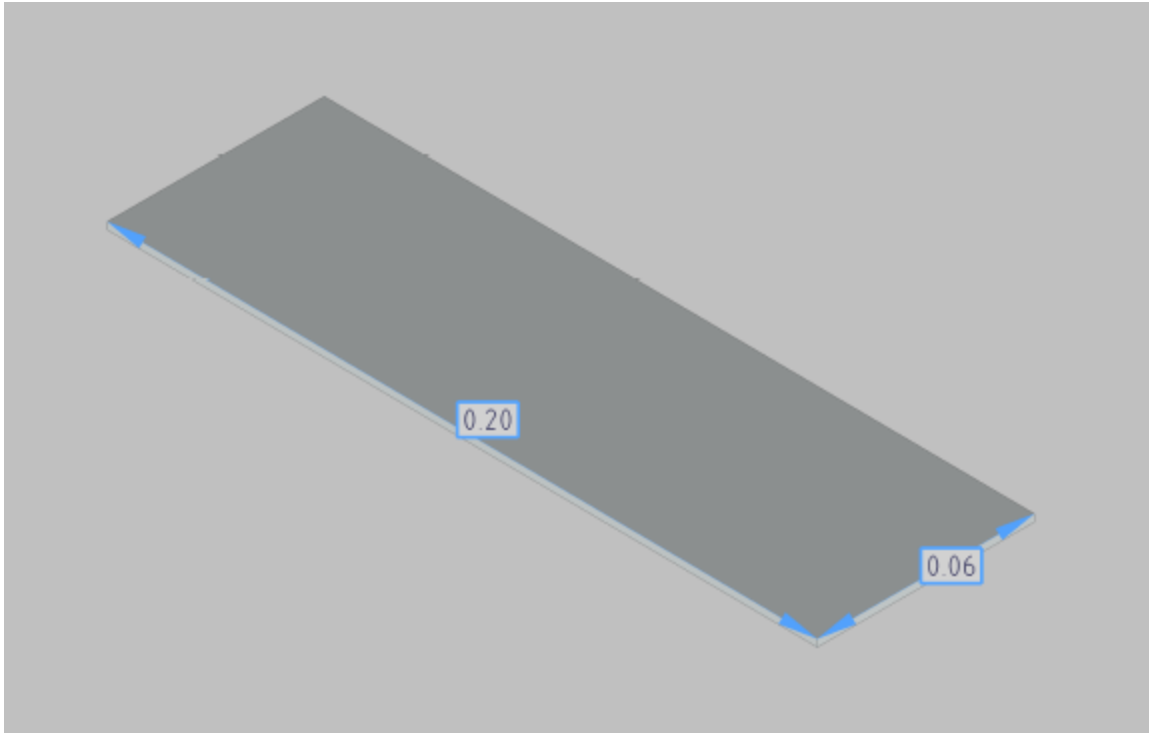
### Anexo 7: Programa del receptor



**Anexo 8: Basex2 en metros de la parte de protección sumergible con acrílico 3mm espesor.**



**Anexo 9: Frentex2 en metros de la parte de protección sumergible con acrílico 3mm espesor.**



**Anexo 10: Lateralx2 de la parte de protección sumergible con acrílico 3mm espesor.**