



**UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y  
AUTOMATIZACIÓN**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Propuesta tecnológica, previo a la obtención del título de:

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
AUTOMATIZACIÓN**

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE OLEAJE  
REMOTO CON ALIMENTACIÓN SOLAR”**

**AUTORES**

**CARLOS ALBERTO MORA GARCÍA  
BRYAN BOLIVAR SANCHEZ CABRERA**

**PROFESOR TUTOR**

**ING. LUIS ENRIQUE CHUQUIMARCA JIMÉNEZ, MSC.**

**LA LIBERTAD–ECUADOR**

**2024**

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero comenzar agradeciendo a Dios por cada bendición recibida, por cada logro y cada lección aprendida a lo largo de mi camino, por cada fortaleza que me ha brindado, gracias a mi familia por estar conmigo este camino de lleno aprendizaje, por ser ese pilar fundamental en mi vida, gracias por siempre darme su apoyo en momentos difíciles, gracias por su dedicación y gran amor.

Me siento muy bendecido y agradecido con mis padres Carlos Alberto Mora Albán y Adela Isabel García Ocaña y su inmenso amor que a pesar de la distancia siempre supieron como estar presentes en cada paso y en cada decisión tomada, gracias por su ejemplo de superación constante, por demostrarme que a pesar de sentirme cansando todavía puedo seguir adelante, y que rendirme no es una opción, por demostrarme que, aunque la vida sea difícil, cada desafío es una oportunidad para crecer.

Agradezco aquellas amistades que la universidad me ha regalado a lo largo de este trayecto, a mis amigos Bryan Sánchez, Laura Vasconez, Josué Vera, gracias por ser parte de este increíble viaje lleno de emociones, anécdotas compartidas, por cada risa, por cada amargura que han hecho que esta etapa sea inolvidable. Su amistad ha sido un pilar fundamental en este proceso y los llevaré con gran gusto en cada recuerdo.

A mi tutor, Ing. Luis Chuquimarca agradecerle por su apoyo y guía en el proceso de titulación. Finalmente, extendo mi sincero agradecimiento al Ing. Junior Figueroa por sus enseñanzas y consejos que han sido fundamentales para este nuevo logro de crecimiento académico, gracias por su paciencia y por su apoyo durante este proyecto de titulación.

Carlos Alberto Mora García

## AGRADECIMIENTO

Primero dar gracias a Dios por ser mi guía, darme fuerza y sabiduría, para lograr alcanzar mis metas en el transcurso de mi vida, por ayudarme a tomar las mejores decisiones en el tiempo de estudiante universitario y poder culminar de la mejor manera con mi carrera universitaria.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena, por brindarme todos los conocimientos necesarios para poder lograr mi meta de obtener mi título de Ingeniero en electrónica y automatización para así convertirme en un profesional, quedando así en deuda con tal prestigiosa Universidad.

A mi madre, **Nory Cabrera Merchán** por darme siempre su apoyo, que gracias a sus consejos que me permitieron seguir adelante y jamás rendirme ante la adversidad, aquella que dio todo por su familia, por brindar su amor infinito, por ser el pilar de la familia y por su incansable dedicación por el bienestar de su familia, por el esfuerzo que realizo para que no nos falte nada y darnos lo mejor que estaba en sus manos convirtiéndola así en la madre ideal y ejemplar que puede tener una familia.

A mi padre, **Victor Sanchez Robles**, que junto a mi madre forman el pilar de nuestra familia, que gracias a su esfuerzo pude lograr alcanzar mi meta, por sus consejos de vida que me ayudaron a mantenerme firme sin decaer y ser el ejemplo ideal de valentía y dedicación lo que lo hace un padre ejemplar digno de admiración.

A ti, **Victor Sanchez Cabrera**, mi querido hermano que estuvo para ayudarme en mi vida estudiantil y personal, donde compartimos nuestros sueños, metas y aventuras, lo que te convierte en una de las personas más importantes en mi vida, mil gracias por tus consejos y estar para mí en mis peores momentos.

A ti, **Griselda Sanchez Cabrera**, mi amada hermana que me aconsejo en cada decisión que tome durante mi tiempo de estudio, su apoyo incondicional y su forma de ser que me inspiro a ser mejor persona, a ella le digo gracias por todo.

A mi amigo, **Carlos Mora García**, con el que compartí todo este periodo universitario y se convirtió en un gran amigo que me dio apoyo en todo este tiempo, me dio consejos para nunca decaer para continuar con mis estudios y que me compartió sus conocimientos cada vez que pudo.

Tus palabras y apoyo me acompañaron en este importante trayecto, y estoy seguro de que juntos trazaremos un camino lleno de éxitos como profesionales.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por formar parte de mi vida y por ser pilares fundamentales en este logro tan importante. Este triunfo es también suyo.

Bryan Bolivar Sanchez Cabrera

## **DEDICATORIA**

Este proyecto de titulación va dedicado al esfuerzo, sacrificio y amor incondicional de mis padres. Este logro académico es un tributo a su legado y a la inmensa admiración que siento por ustedes, gracias por forjar a la persona que hoy en día soy, estas palabras no abarcan todo el sentimiento de agradecimiento que tengo hacia ustedes. Espero lograr muchas más metas en mi vida tanto personal y profesional y seguir caminando de su mano.

A mis amigos quiero dedicarles unas palabras llenas de gratitud por acompañarme en este camino, sabemos que no ha fácil llegar hasta aquí y su apoyo incondicional, ha sido fundamental en este camino. Gracias por estar a mi lado en momentos buenos como en momentos malos, su amistad ha sido uno de regalos que atesoro, gracias por ser mi familia durante este tiempo.

Carlos Alberto Mora García

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mis padres que siempre se esforzaron en darme su apoyo, compartirme sus enseñanzas las cuales se quedaron grabadas en mi mente y corazón, siendo siempre fuertes y de gran corazón pero que a la vez forjaron de la mejor manera a este ser humano, que hoy en día logra cumplir una de sus metas que es culminar de la mejor manera su etapa de estudiante universitario el cual impulsara mi vida personal y laboral. Espero en algún momento compartir mis éxitos y hacerles saber que fueron el mayor ejemplo para mi vida.

A mis hermanos, quienes siempre estuvieron dispuestos a brindarme su ayuda en todo momento y a quienes siempre acudo a que me den el mejor consejo y ayuda en la toma de decisiones que beneficiara de gran manera a mi crecimiento como persona y profesional

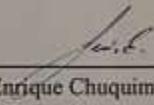
Finalmente, a mis amigos, que compartieron conmigo todo este tiempo lleno de alegrías y de sufrimiento, pero siempre supimos cómo superar las adversidades que se nos presentaron con el pasar del tiempo, a ellos les digo un millón gracias por formar parte de mi vida estudiantil y espero que nuestra amistad se mantenga por mucho tiempo.

Bryan Bolivar Sanchez Cabrera

### **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de tutor del trabajo de integración curricular dominado: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE OLEAJE REMOTO CON ALIMENTACIÓN SOLAR", elaborado por los estudiantes Carlos Alberto Mora Garcia, Bryan Bolivar Sanchez Cabrera, de la Carrera de Electrónica y Automatización de la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes y autorizo a los estudiantes para que inicien los trámites correspondientes.

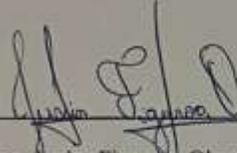
La libertad, 29 de noviembre del 2024

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Luis Enrique Chuquimarca Jiménez, Msc.

## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



Ing. Ronald Rovira Jurado, Ph. D.  
DIRECTOR DE LA CARRERA DE  
ELECTRONICA Y AUTOMATIZACIÓN



Ing. Junior Figueroa Olmedo, Mgt.  
DOCENTE ESPECIALISTA



Ing. Luis Enrique Chuquimarca, Msc.  
DOCENTE TUTOR  
DOCENTE GUIA UIC



Ing. Corina Gonzabay De La A, Mgt.  
SECRETARIA DEL TRIBUNAL DE  
SUSTENTACION

## DECLARACIÓN

El contenido del presente trabajo de titulación es de nuestra responsabilidad, el patrimonio intelectual del mismo le pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



---

**Mora Garcia Carlos Alberto**

**AUTOR**



---

**Sanchez Cabrera Bryan Bolivar**

**AUTOR**

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal la implementación de un sistema de monitoreo de oleaje remoto con alimentación solar utilizando módulos embebidos electrónicos para proporcionar información verídica y en tiempo real sobre las condiciones del oleaje en la costa peninsular del cantón Salinas. Este sistema se basa en tecnología IoT (Internet de las Cosas) y utiliza sensores avanzados que permiten abordar la necesidad de obtener datos confiables para futuras investigaciones, y actividades marítimas.

Para el cumplimiento del objetivo general se llevó a cabo una investigación sobre las características del oleaje tales como altura, presión, temperatura a nivel costero, cuyo análisis posterior permitió adecuar el sistema a las condiciones reales del entorno. El sistema está formado por una boya equipada con sensores que recopilan datos del oleaje y los transmite a una estación remota por medio de comunicación inalámbrica LoRa. Se desarrolló un sistema de alimentación solar, para asegurar la autonomía del suministro energético del módulo emisor.

El sistema de monitoreo también consta de una interfaz virtual desarrollada en una plataforma web que permite la visualización de datos ambientales obtenidos del entorno marino, los cuales posteriormente son almacenados en la nube. Esta herramienta facilita el acceso a información relevante tanto de forma numérica como gráfica que permite a un supervisor tomar decisiones. Se realizaron varias pruebas para validar la efectividad del sistema en condiciones y en tiempo real.

Los resultados obtenidos por el sistema de monitoreo de oleaje produjeron datos importantes para la comunidad en cuanto a las mediciones de la altura de ola, temperatura ambiente, temperatura del mar y presión atmosférica. Esta aceptación refuerza la confianza en el sistema de monitoreo desarrollado y su capacidad para facilitar datos exactos y selectos para el análisis del comportamiento del mar.

**Palabras Claves:** Monitoreo, alimentación solar, IoT, comunicación inalámbrica, datos en tiempo real y sostenibilidad marina.

## ABSTRACT

The main objective of this project is the implementation of a solar-powered remote wave monitoring system using embedded electronic modules to provide truthful and real-time information on the wave conditions on the peninsular coast of the Salinas canton. This system is based on IoT (Internet of Things) technology and uses advanced sensors to address the need for reliable data for future research and maritime activities.

In order to fulfill the general objective, an investigation was carried out on the characteristics of the waves such as height, pressure, temperature at coastal level, whose subsequent analysis allowed the system to be adapted to the real conditions of the environment. The system consists of a buoy equipped with sensors that collect wave data and transmit it to a remote station via LoRa wireless communication. A solar power system was developed to ensure the autonomy of the energy supply of the emitter module.

The monitoring system also consists of a virtual interface developed on a web platform that allows the visualization of environmental data obtained from the marine environment, which are later stored in the cloud. This tool facilitates access to relevant information both numerically and graphically that allows a supervisor to make decisions. Several tests were carried out to validate the effectiveness of the system in conditions and in real time.

The results obtained from the wave monitoring system produced important data for the population in terms of measurements of wave height, ambient temperature, sea temperature and atmospheric pressure. This acceptance reinforces confidence in the developed monitoring system and its ability to provide accurate and relevant data for the analysis of sea behavior.

**Keywords:** Wave monitoring, solar power, IoT technology, wireless communication, real-time data and marine sustainability.

# Contenido

<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	iii
<b>DEDICATORIA</b> .....	v
<b>DEDICATORIA</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	x
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>CAPÍTULO I</b> .....	1
<b>1.1. ANTECEDENTES</b> .....	1
<b>1.2. DESCRIPCIÓN</b> .....	3
<b>1.3. OBJETIVOS</b> .....	7
<b>1.3.1. Objetivo General:</b> .....	7
<b>1.3.2. Objetivos Específicos:</b> .....	7
<b>1.4. ALCANCE</b> .....	8
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN</b> .....	9
<b>1.6. METODOLOGÍA</b> .....	11
<b>CAPÍTULO II</b> .....	12
<b>2.1. MARCO CONTEXTUAL</b> .....	12
<b>2.1.1. Localización del Sistema de Monitoreo</b> .....	13
<b>2.1.2. Temperatura y Salinidad en Salinas</b> .....	14
<b>2.1.3. Oleaje en Salinas</b> .....	14
<b>2.2. MARCO CONCEPTUAL</b> .....	16
<b>2.2.1. Boyas Utilizadas en la Medición de Oleaje</b> .....	16
<b>2.2.2. Sensores de Oleaje</b> .....	18
<b>2.2.3. Alimentación Mediante Panel Solar</b> .....	19

<b>2.2.4. Microcontroladores</b> .....	20
<b>2.2.5. Módulos y Protocolos de Comunicación</b> .....	21
<b>2.2.6. Datos de Oleaje y Viento en Ambientes Marinos</b> .....	23
<b>2.2.8. Ondas Electromagnéticas en Agua Dulce y Agua Salada</b> .....	26
<b>2.2.9. Características Físicas del Medio y Potencia de Señales Inalámbricas</b> .....	27
<b>2.3 MARCO TEÓRICO</b> .....	28
<b>CAPITULO III</b> .....	30
<b>3.1. COMPONENTES DE LA PROPUESTA</b> .....	30
<b>3.1.1. Componentes Físicos</b> .....	30
<b>3.1.2. Componentes Lógicos</b> .....	40
<b>3.2. DISEÑO DE LA PROPUESTA</b> .....	51
<b>3.2.1 Diseño e Implementación del Hardware</b> .....	51
<b>3.2.2 Diseño e Implementación del Software</b> .....	65
<b>3.3 PRUEBAS Y RESULTADOS</b> .....	88
<b>3.3.1 Validación de consumo de energía del sistema de alimentación</b> .....	88
<b>3.3.2 Adquisición y Filtrado de Señales</b> .....	91
<b>3.3.3 Visualización e Interpretación de Datos del Sistema de Monitoreo</b> .....	97
<b>3.3.4 Validación y Comparación de Datos mediante una Plataforma de Monitoreo Externa</b> .....	99
<b>3.3.5 Medición de Alcance de Comunicación LoRa</b> .....	104
<b>3.4 CONCLUSIONES</b> .....	106
<b>3.5 RECOMENDACIONES</b> .....	108
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	110
<b>ANEXOS</b> .....	118

## INDICE IMÁGENES

<i>Figura 1 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de monitoreo. Fuente: Autoría propia</i>	4
<i>Figura 2 Flujo básico de comunicación en una arquitectura LoRa. Fuente: Autoría propia</i>	5
<i>Figura 3 Diseño del sistema de comunicación. Fuente: Autoría propia</i>	5
<i>Figura 4 Diseño de adquisición de datos. Fuente: Autoría propia</i>	6
<i>Figura 5 Diseño del sistema de alimentación. Fuente: Autoría propia</i>	7
<i>Figura 6 Localización del sistema de monitoreo de oleaje. Fuente: Autoría propia</i>	13
<i>Figura 7 Temperaturas del mar de Salinas en los últimos tres meses del año 2024. Fuente: [9].</i>	14
<i>Figura 8 Comportamiento de oleaje en el mar de Salinas. Fuente: [9]</i>	15
<i>Figura 9 Altura de olas y dirección. Fuente: [9]</i>	15
<i>Figura 10. Boya oceanográfica. Fuente: Autoría propia</i>	16
<i>Figura 11 Anclaje superficial Fuente: [12]</i>	18
<i>Figura 12 Vista global de la boya Fuente: Autoría propia</i>	18
<i>Figura 13 Sensor de oleaje comercial. Fuente: [12]</i>	19
<i>Figura 14 Microcontroladores. Fuente: [18]</i>	21
<i>Figura 15 Escala Beaufort. Fuente: [27]</i>	25
<i>Figura 16 Velocidad de propagación. Fuente: [28]</i>	26
<i>Figura 17 Coeficiente de absorción. Fuente: [28]</i>	27
<i>Figura 18 Boya. Fuente: Autoría propia</i>	31
<i>Figura 19 Panel solar Newpowa. Fuente: [33]</i>	31
<i>Figura 20 Renogy controlador de carga. Fuente: [34]</i>	33
<i>Figura 21 Batería recargable seca 12V 7Ah. Fuente: [35]</i>	34
<i>Figura 22 Modulo ESP32. Fuente: [36]</i>	35
<i>Figura 23 Modulo MPU9265 GY-87. Fuente: [37]</i>	37
<i>Figura 24 Sensor de temperatura DS18B20. Fuente: [38]</i>	38
<i>Figura 25 . Módulo bluetooth LoRa. Fuente: [39]</i>	39
<i>Figura 26 Arduino IDE. Fuente: Autoría Propia</i>	40
<i>Figura 27 Protocolo MQTT. Fuente:</i>	43
<i>Figura 28 Protocolo MySQL. Fuente: [50]</i>	44
<i>Figura 29 Interfaz HeidiSQL. Fuente: [51].</i>	44
<i>Figura 30 Software Putty. Fuente: [52].</i>	45
<i>Figura 31 Software MobaXterm. Fuente: [53].</i>	46
<i>Figura 32 Plataforma EMQX Fuente: [54].</i>	46
<i>Figura 33 Servidor virtual privado. Fuente: [55].</i>	47
<i>Figura 34 Protocolo de red SSH. Fuente: [56].</i>	48

<i>Figura 35 Software Google Cloud. Fuente: [57].</i>	48
<i>Figura 36 Software Grafana. Fuente [58].</i>	49
<i>Figura 37 Software autodesk Revit. Fuente: [59].</i>	50
<i>Figura 38 Sistema de Monitoreo Marítimo con Sensores y Alimentación Autónoma. Fuente: Autoría propia</i>	52
<i>Figura 39 . Esquema eléctrico fotovoltaico. Fuente: Autoría propia</i>	55
<i>Figura 40 Implementación de sistema de alimentación solar. Fuente: Autoría propia</i>	57
<i>Figura 41 Diagrama de conexión del emisor. Fuente: Autoría propia</i>	58
<i>Figura 42 Diagrama de conexiones emisor Fuente: Autoría propia</i>	58
<i>Figura 43 Diagrama de conexiones emisor Fuente: Autoría propia</i>	60
<i>Figura 44 Prototipo de sensor emisor. Fuente: Autoría propia</i>	60
<i>Figura 45 Diagrama de conexión del receptor. Fuente: Autoría propia</i>	61
<i>Figura 46 Diagrama de conexiones del receptor. Fuente: Autoría propia</i>	61
<i>Figura 47 Diseño PCB 3D del receptor. Fuente: Autoría propia</i>	63
<i>Figura 48 Prototipo de sensor receptor. Fuente: Autoría propia</i>	63
<i>Figura 49 Modelado global 3D de la Boya. Fuente: Autoría propia</i>	64
<i>Figura 50 Diseño CAD en 3D de cajas protectoras. Fuente: Autoría propia</i>	65
<i>Figura 51 Funciones de presión y temperatura. Fuente: Autoría propia</i>	67
<i>Figura 52 Diagrama de flujo del Trasmisor. Fuente: Autoría propia</i>	68
<i>Figura 53 Código de mediciones de altitud. Fuente: Autoría propia</i>	69
<i>Figura 54 Código obtención de temperatura DS18B20. Fuente: Autoría propia</i>	69
<i>Figura 55 Definiciones de variables para mediciones de altitud. Fuente: Autoría propia</i>	70
<i>Figura 56 Código para agregar nuevas mediciones al buffer circular. Fuente: Autoría propia</i>	70
<i>Figura 57 Definición de la función Agregar_valor para calcular la media de las mediciones. Fuente: Autoría propia</i>	71
<i>Figura 58 Código de creación de mensajes y envío de paquetes LoRa. Fuente: Autoría propia</i>	72
<i>Figura 59 Diagrama de flujo del receptor parte 1. Fuente: Autoría propia</i>	73
<i>Figura 60 Diagrama de flujo del receptor parte 2. Fuente: Autoría propia</i>	74
<i>Figura 61 Definición de pines y banda de frecuencia. Fuente: Autoría propia</i>	75
<i>Figura 62 Configuración para establecer conexión a la red. Fuente: Autoría propia</i>	75
<i>Figura 63 Configuraciones del publicador MQTT. Fuente: Autoría propia</i>	76
<i>Figura 64 Funciones de publicación de datos. Fuente: Autoría propia</i>	76
<i>Figura 65 Manejo de datos recibidos por el módulo LoRa. Fuente: Autoría propia</i>	77
<i>Figura 66 Configuraciones de escalas de beaufort. Fuente: Autoría propia</i>	78
<i>Figura 67 Configuraciones de instancias de VM. Fuente: Autoría propia</i>	79

<b>Figura 68 Sistema operativo ubuntu. Fuente: Autoría Propia</b> .....	80
<b>Figura 69 Configuración de máquina virtual y firewall. Fuente: Autoría propia</b> .....	80
<b>Figura 70 Creación de VPS. Fuente: Autoría propia</b> .....	81
<b>Figura 71 Configuración clave SSH. Fuente: Autoría propia</b> .....	82
<b>Figura 72 Clave SSH. Fuente: Autoría propia</b> .....	82
<b>Figura 73 Configuración de credenciales e IP en MobaXterm. Fuente: Autoría propia</b> .....	83
<b>Figura 74 Código index de datos de monitoreo de olas. Fuente: Autoría propia</b> .....	84
<b>Figura 75 Configuración de HeidiSQL. Fuente: Autoría propia</b> .....	85
<b>Figura 76 Contraseña de acceso EMQX. Fuente: Autoría propia</b> .....	86
<b>Figura 77 Puertos habilitados. Fuente: Autoría propia</b> .....	87
<b>Figura 78 Interfaz gráfica de Grafana. Fuente: Autoría propia</b> .....	87
<b>Figura 79 Enlace de Grafana con MySQL. Fuente: Autoría propia</b> .....	88
<b>Figura 80 Visualización de monitoreo de oleaje. Fuente: Autoría propia</b> .....	88
<b>Figura 81 Medición de consumo de corriente del módulo ESP32 y modulo LoRa</b> .....	89
<b>Figura 82 Prueba 1 comportamiento de dimensión de Ventana 10. Fuente: Autoría propia</b> .....	92
<b>Figura 83 Prueba 2 comportamiento de dimensión de Ventana 15. Fuente: Autoría propia</b> .....	93
<b>Figura 84 Prueba 3 comportamiento de dimensión de Ventana 20. Fuente: Autoría propia</b> .....	94
<b>Figura 85 Prueba 4 comportamiento de dimensión de Ventana 40. Fuente: Autoría propia</b> .....	95
<b>Figura 86 Prueba 5 comportamiento de dimensión de Ventana 50. Fuente: Autoría propia</b> .....	96
<b>Figura 87 Determinación de la altura de oleaje en tiempo real</b> .....	97
<b>Figura 88 Monitoreo en tiempo real de la altura de olas y condiciones ambientales. Fuente: Autoría Propia</b> .....	98
<b>Figura 89 Comparación y análisis histórico de temperaturas del mar y ambiente. Fuente: Autoría Propia</b>	99
<b>Figura 90 Comportamiento de la presión atmosférica. Fuente: Autoría propia</b> .....	99
<b>Figura 91 Comportamiento de altitud de la Ola domingo 17 de noviembre. Fuente: Autoría Propia</b> .....	100
<b>Figura 92 Comportamiento de altura de la ola y dirección del 17 de noviembre. Fuente: [9]</b> .....	100
<b>Figura 93 Comportamiento de altitud de la Ola del 21 de noviembre. Fuente: Autoría Propia</b> .....	101
<b>Figura 94 Comportamiento de altura de la ola y dirección del 21 de noviembre. Fuente: [9]</b> .....	102
<b>Figura 95 Comportamiento de la presión atmosférica en Pascales. Fuente: Autoría propia</b> .....	102
<b>Figura 96 Datos ambientales, temperatura y presión. Fuente: [9]</b> .....	103
<b>Figura 97 Comparativas de temperaturas. Fuente: Autoría propia</b> .....	104
<b>Figura 98 Temperatura del mar del 21 y 22 de noviembre. Fuente: [9]</b> .....	104
<b>Figura 99 Alcance LoRa. Fuente: Autoría propia</b> .....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1 Escala Douglas</b> .....	24
<b>Tabla 2 Características técnicas del panel solar Newpowa</b> .....	32
<b>Tabla 3 Características técnicas del Renogy controlador de carga solar</b> .....	33
<b>Tabla 4 Características técnicas de la Batería Recargable</b> .....	34
<b>Tabla 5 Características Técnicas de la ESP32</b> .....	36
<b>Tabla 6 Características técnicas del MPU9265 GY-87</b> .....	37
<b>Tabla 7 Características técnicas del DS18B20</b> .....	38
<b>Tabla 8 Características técnicas de LoRa</b> .....	39
<b>Tabla 9 Valores de consumo del circuito emisor</b> .....	53
<b>Tabla 10 Pines digitales a utilizar para la obtención y envío de datos</b> .....	59
<b>Tabla 11 Pines digitales a utilizar para la obtención y envío de datos</b> .....	62
<b>Tabla 12 Consumo teórico y práctico de voltaje y corriente de los componentes del sistema emisor</b> .....	89
<b>Tabla 13 Comparativa de potencias teóricas y practicas</b> .....	89

# CAPÍTULO I

## 1.1. ANTECEDENTES

Los sistemas de seguimiento de los océanos han cambiado drásticamente a lo largo de los años, impulsados por los avances tecnológicos y la necesidad de comprender mejor el océano y sus procesos [1].

Siglo XIX: Durante esta era, se desarrollaron los primeros instrumentos oceanográficos para medir la temperatura, la salinidad y la profundidad del océano. Algunos de los pioneros en este campo incluyen a Matthew Maury y Charles Wyville Thomson [1].

Siglo XX: Con la llegada de la tecnología electrónica, se desarrollaron instrumentos más sofisticados para medir los parámetros oceánicos. Los datos oceánicos a escala se recopilan mediante boyas equipadas con sensores y estaciones de observación fijas colocadas en el océano [2].

Década de 1970: Se introduce la tecnología satelital de vigilancia de los océanos. Los satélites permiten obtener grandes cantidades de datos oceánicos en tiempo real, como la temperatura de la superficie del mar, la altura de las olas y la concentración de clorofila [3].

Siglo XXI: Actualmente, el sistema de monitoreo oceanográfico utiliza una amplia gama de tecnologías, como boyas oceanográficas autónomas, vehículos submarinos no tripulados y sensores remotos. Estas herramientas permiten la recopilación continua de datos oceanográficos a diferentes profundidades y ubicaciones geográficas [4].

Las mediciones de las olas realizadas mediante teledetección generalmente se efectúan con sensores de microondas activos (radares) que envían ondas electromagnéticas. La señal de retorno permite deducir características del estado de las olas. En los apartados siguientes se describen brevemente los sistemas de teledetección desde satélite y en superficie que se utilizan con frecuencia en el ámbito del análisis y el pronóstico de las olas. Antes de

considerar los diversos sensores, se examinarán algunas características de la interacción entre ondas electromagnéticas y la superficie del mar [5].

El **laboratorio meteorológico oceanográfico y atlántico (NOAA)** es la división de monitoreo y observación global del océano que junto al programa global de Vagabundos extendió su apoyo a las oficinas de Investigación Naval de la Armada de Estados Unidos. Estos dispositivos están especializados para medir el oleaje, además de los vientos y temperatura de la superficie, que proporcionan datos importantes para la previsión de huracanes [5]. El despliegue de este instrumento ayuda a mantener una red esparcida de vagabundos para los pronósticos meteorológicos de posibles ciclones tropicales que sirven para los pronósticos de posibles huracanes y también de vigilancia del océano [5].

El programa que usan en el laboratorio de investigación federal de Miami para la medición de temperatura y salinidad es **Argo Data**, proporciona 10.000 perfiles T/S y mediciones de referencia por año. Esta red mundial de boyas se ha convertido en un importante sistema de monitoreo, gracias a este programa se cambió el método de recopilación de datos, este tipo de datos es de suma importancia para los pronósticos meteorológicos y también nos proporcionan datos del clima y la biología del océano [6].

Según el INOCAR (Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada) donde ya se han evaluado los datos sísmicos y nivel del mar obtenidos, nos indica cómo es posible determinar si en primer lugar los sismos que se generen en el mar podrían ocasionar un tsunami. Las obtenciones de los datos deben ser en tiempo real y causa-real, este tipo de componente es fundamental para obtener los datos que nos arroje nuestro sistema de monitoreo, para esto existen las herramientas informáticas y softwares especializados que nos brindan la obtención de los datos de oleaje en el mar [7].

En el Ecuador existen diferentes tipos de medios para la obtención de datos en la cual nuestro tema se enfocará en los datos obtenido por medios de las boyas costeras, unas de las más importantes en el Ecuador son las boyas DART. Las boyas DART son dispositivos que son sensores de presión en el que la boya puede detectar cuando se registra una columna de agua más grande y una variación en el piso oceánico. Entonces se puede saber si se generó un tsunami y qué tan grande puede ser. Las boyas transmiten los datos de la superficie que luego son transmitidas la información vía satélite a los centros de alerta de ahí será monitoreada,

donde se modela el tsunami en evolución y se crean pronósticos para la altura y la trayectoria de las olas del tsunami [7].

Esta boya se encuentra ubicada al suroeste de la ciudad de Esmeraldas. Este fue el primer instrumento en registrar la ocurrencia del Tsunami, dos minutos después del terremoto, lo que garantiza y demuestra la efectividad de este instrumento para fines de alerta de tsunamis [7].

## **1.2. DESCRIPCIÓN**

El sistema de monitoreo de oleaje remoto con alimentación solar es una solución tecnológica que permite medir y monitorear de forma remota las condiciones del oleaje en tiempo real.

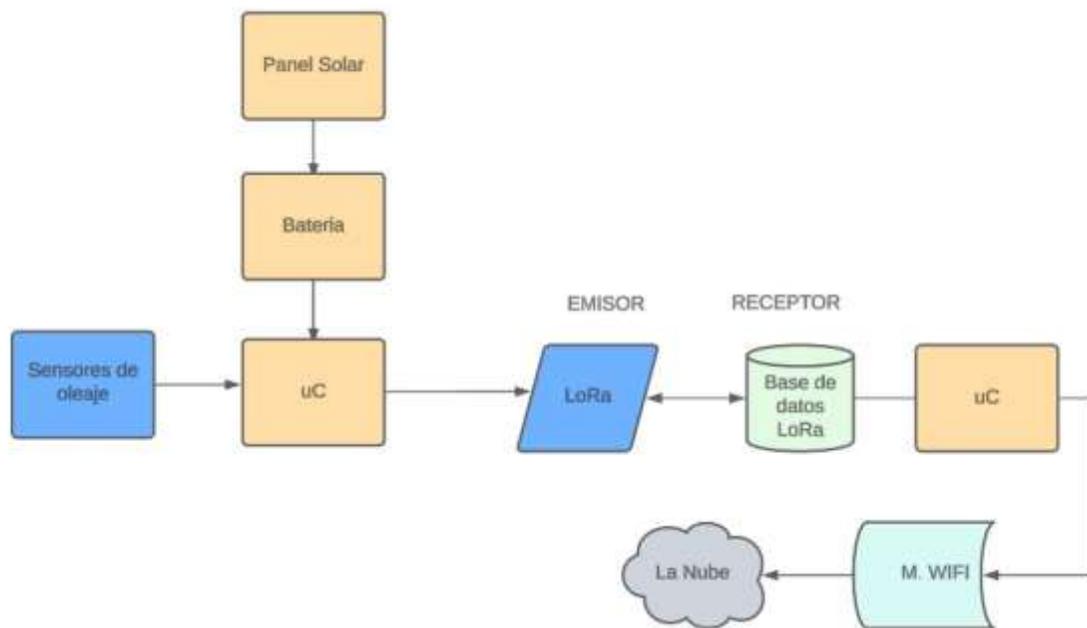
El sistema funciona con energía solar, lo que lo convierte en una excelente opción y duradera para la vigilancia marítima. Esto proporciona una visión general sencilla y completa para explicar, y analizar el sistema integrando la información relevante de diversas fuentes bibliográficas.

Componentes del Sistema:

- a) **Boyas de Monitoreo:** Las boyas están equipadas con sensores diseñados para detectar y registrar diversas lecturas, como la amplitud de las olas, las marcas de tiempo de las ráfagas, la dirección del viento y la temperatura del agua. Los sensores compilan la información y la transmiten de forma inalámbrica a la estación principal.
- b) **Estación base:** Es donde los datos transmitidos por las boyas de monitoreo para luego procesarlos para un análisis. También es responsable de enviar los datos a un centro de control remoto.
- c) **Paneles solares:** Los paneles solares están instalados en las boyas de monitoreo y se utilizan para generar electricidad a partir de la luz solar. Esta energía se utiliza para alimentar los sensores y otros componentes tecnológicos.
- d) **Transmisión de datos:** La información inscrita por los bloques de monitoreo llegan a una estación base sin necesidad de cableado, utilizando métodos como Wi-Fi, señales de radio o sistemas de red móvil. Esta estación base maneja un enlace para enviar datos al centro, garantizando su disponibilidad.

- e) Sensor de oleaje: Es un dispositivo específicamente diseñado para medir las características de las olas en el océano este equipo proporciona información valiosa sobre la dinámica del mar, lo que permite un análisis detallado de las condiciones oceánicas.
- f) Existen varios tipos de sensores de oleaje, pero los más comunes son los sensores de presión, los sensores de radar y los sensores de láser.

Uno de los métodos a utilizar para el establecimiento de una conexión de comunicación inalámbrica a distancia es el uso de módulos uno de ellos son los módulos LoRa que son soluciones integradas que son por medio inalámbrico para la interconexión y comunicación entre dispositivos. Estos son módulos que utilizan protocolo LoRaWAN, el cual es esencial para administrar la comunicación entre las redes de los dispositivos, para acceder a una eficiente organización de la red y logrando así la comunicación entre varios dispositivos como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema de monitoreo. Fuente: Autoría propia**

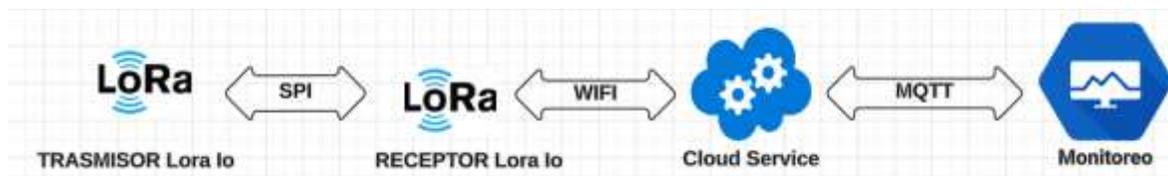
En el sistema de comunicación de una arquitectura LoRa se recolectan datos y se los envían a un gateway LoRa, que luego transmite esos datos a la nube para su procesamiento y

visualización en un servidor web o aplicación, tal y como se muestra en el diagrama de la Figura 2. Este tipo de arquitectura es común en aplicaciones IoT donde los sensores están distribuidos en áreas extensas y se necesita una conexión de largo alcance y bajo consumo energético.



*Figura 2 Flujo básico de comunicación en una arquitectura LoRa. Fuente: Autoría propia*

El sistema de comunicación basado en LoRa permite la recolección de datos de sensores remotos y su monitoreo en tiempo real mediante almacenamiento en la nube. El proceso comienza con un transmisor LoRa Io (Figura 3), que recopila los datos y los envía de forma inalámbrica usando modulación LoRa. A través del protocolo SPI, el transmisor se conecta al receptor LoRa Io que recibe la señal y utilizando WiFi envía los datos a un servidor en la nube. En la nube, los datos se almacenan, procesan y pueden ser accedidos y monitoreados mediante una interfaz web a través de un MQTT como se muestra en la Figura 3. Este sistema es ideal para aplicaciones de IoT.



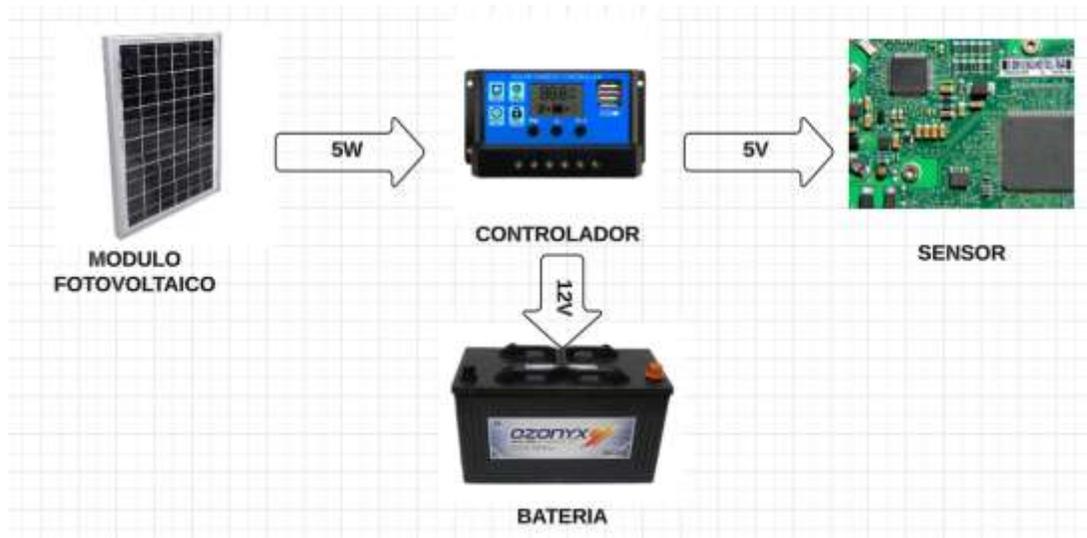
*Figura 3 Diseño del sistema de comunicación. Fuente: Autoría propia*

El diseño del sistema para la recopilación de datos incorpora un módulo electrónico GY-87, junto con módulos ESP-32 y LoRa para la recolección y transmisión remota de información, tal como señala en la Figura 4. El GY-87 integra sensores que incluyen un acelerómetro, un giroscopio y un barómetro, que se comunica con el ESP-32 a través del protocolo I2C, lo que facilita la recopilación de datos sobre movimiento y presión atmosférica. Posteriormente el ESP-32 procesa esta información y la envía al módulo LoRa utilizando el protocolo SPI, para optimizar el proceso de transmisión de datos.



*Figura 4 Diseño de adquisición de datos. Fuente: Autoría propia*

Para conseguir la autonomía del sistema de monitoreo de oleaje se necesitará una fuente de alimentación sustentable como por ejemplo una basada en energía solar. En la Figura 5 se muestra el diagrama de diseño de un sistema de alimentación que utiliza un módulo fotovoltaico para cargar una batería y alimentar un sensor a través de un controlador de carga. El módulo fotovoltaico convierte la energía solar en energía eléctrica, generando 5W de potencia. Esta energía es gestionada por el controlador que regula la carga de la batería y la entrega al sensor, además de almacenar la en una batería.



*Figura 5 Diseño del sistema de alimentación. Fuente: Autoría propia*

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo General:

Implementar un sistema de monitoreo de oleaje remoto con alimentación solar utilizando módulos embebidos electrónicos para proporcionar información precisa y en tiempo real sobre las condiciones del oleaje en una zona determinada.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos:

1. Recopilar información sobre las características de oleaje, altura, presión y temperatura a nivel costero, para el análisis y desarrollo de un sistema de monitoreo de oleaje.

2. Diseñar el módulo de alimentación solar del sistema de monitoreo de oleaje mediante paneles solares, para reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales.
3. Diseñar planos CAD del prototipo propuesto, para obtener el acoplamiento de los dispositivos electrónicos en la boya.
4. Implementar el módulo de alimentación energética por medio de un panel solar colocado en la boya para el sistema de monitoreo.
5. Desarrollar un prototipo de sensor de oleaje para la obtención de datos.
6. Desarrollar un sistema de comunicación inalámbrica con módulos de comunicación para la obtención de datos a una cierta distancia determinada.
7. Utilizar una interfaz en una plataforma web para la visualización de los datos subidos a la nube en tiempo real sobre las condiciones del oleaje.
8. Evaluar el prototipo de sistema de monitoreo de oleaje considerando datos públicos, para la precisión de los sensores.

#### **1.4. ALCANCE**

En el tema propuesto se va implementar un sistema de monitoreo de oleaje remoto con alimentación solar utilizando módulos embebidos electrónicos para proporcionar información precisa y en tiempo real sobre las condiciones del oleaje en una zona determinada, en donde se recopilará datos precisos de fuentes de información sobre las características del oleaje, como la altura, la frecuencia y temperatura para el análisis y la planificación del sistema de monitoreo en donde se diseñará la planimetría CAD del prototipo propuesto, para obtener el acoplamiento de los dispositivos electrónicos en la boya como también el módulo de alimentación solar del sistema de monitoreo de oleaje mediante paneles solares, para reducir la dependencia de fuentes de energía convencionales, luego implementar el módulo de alimentación energética por medio de un panel solar colocado en la boya para el sistema de monitoreo, como también se diseñará el sensor de oleaje considerando los parámetros del sistema de monitoreo para el correcto dimensionamiento con el cual compararemos el sensor diseñado con un sensor comercial para la validez de los datos medidos.

Se desarrollará un sistema de comunicación inalámbrica con módulos como por ejemplo los módulos LoRa para la obtención de datos a una cierta distancia determinada y una interfaz en una plataforma web para la visualización de los datos subidos a la nube en tiempo real sobre las condiciones del oleaje que nos proporcionará información adecuada sobre el monitoreo de oleaje para que los usuarios puedan tomar decisiones rápidas y precisas.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN**

Un sistema de monitoreo de oleaje remoto con alimentación solar tiene varias ventajas sobre los sistemas de monitoreo tradicionales que utilizan fuentes de alimentación convencionales, que usan fuentes de alimentación que proporcionan una tensión de salida estable y confiable para así poder alimentar los dispositivos electrónicos del sistema de monitoreo de oleaje (alimentación de AC-DC), que corresponde a una conversión de corriente alterna a corriente directa. Este método puede ser regulado o no regulado, eso dependerá de si la tensión de salida es constante o no. Otro método de alimentación convencional es el uso de las baterías, ya que, si se necesita una fuente de alimentación portátil, las baterías recargables pueden proporcionar una tensión de salida estable para nuestro sistema, pero solo por un determinado tiempo.

El sistema de monitoreo de oleaje remoto con alimentación solar utiliza energía renovable, lo cual reduce la dependencia de fuentes de energía no renovable, que también permite el ahorro de los costos de energía a largo plazo también son accesibles, no se necesita conexión a la red eléctrica, lo que permite su instalación en cualquier lugar remoto en donde no se tiene acceso a la energía eléctrica, esto aumenta la capacidad de monitoreo de oleaje en áreas que antes no se podían monitorear.

El sistema de monitoreo de oleaje remoto propuesto con alimentación solar será utilizado con módulos embebidos electrónicos para proporcionar información precisa y en tiempo real sobre las condiciones del oleaje en una zona determinada, en donde se recopilará datos precisos de fuentes de información sobre las características del oleaje, como la altura, la frecuencia y temperatura para el análisis de datos. El Centro de Monitoreo Oceánico del Ecuador, tiene como funciones principales:

- Monitorear los eventos sísmicos que ocurren en la cuenca del Pacífico para determinar la amenaza de tsunamis para las costas ecuatorianas y la región insular.
- Monitorear el sistema de balizamiento marítimo.
- Monitorear las condiciones océano - atmosféricas en las costas ecuatorianas y la región insular a través de las boyas de oleaje.
- Visualizar en línea las salidas de modelos operacionales de parámetros océano atmosféricos.

Estas estaciones monitorean las 24 horas del día parámetros de temperaturas del aire, humedad, presión atmosférica, viento, radiación solar, radiación ultravioleta y precipitaciones. La información recibida es almacenada en la memoria. Sus promedios horarios son transmitidos a través del sistema GOES y estos a su vez son recibidos en el Inocar, luego son guardados en el Sistema de Información Hidrográfico y Oceanográfico (SIHO). Esto permite evaluar las condiciones meteorológicas de la costa ecuatoriana, emitir pronósticos a corto plazo y también alimentar los modelos océano-atmosféricos [8].

Las boyas EBM22-TSU transmiten sus datos mediante un sistema de comunicación IRIDIUM hacia un centro de acopio que se encuentra en el Instituto Oceanográfico de la Armada y que en la actualidad es el Centro de Monitoreo Oceánico antes Centro Nacional de Alerta de Tsunami, mientras que para conocer si la maniobra de fondeo de los sistemas está correcta y cerciorarse que el sensor de presión esté comunicándose con el dispositivo de recepción ubicado en la cola de la boya, fue necesario adquirir un servicio de internet satelital para el BAE ORIÓN con el objetivo de verificar que la transmisión/recepción de ambas con el Centro de Monitoreo sea efectiva, correcta e ininterrumpida, lo cual se pudo comprobar durante la maniobra, optimizando de esta manera, el tiempo de verificación de las transmisiones de datos en ambos puntos [8].

Cada una de las boyas de detección de tsunamis en realidad constituye un sistema, el cual consta de una boya de superficie con un control de mando, ocho paneles solares, dos antenas iridium, una antena de radar activo, un sensor de transmisión/recepción denominado transceptor ubicado en su parte inferior (cola de la boya); un sensor de presión, cuya función es detectar los cambios mínimos (3 cm) producidos por movimientos sísmicos (y/o de naturaleza geológica) en el área específica de ubicación de la boya o perturbaciones

ocasionadas por las ondas generadas por eventos lejanos (tsunamis generados lejos del territorio ecuatoriano) [8].

Mientras el sistema de monitoreo de oleaje en la boya propuesto contará con un panel solar, una batería para su respectiva alimentación energética, dos sensores comerciales de oleaje la cual se usará para realizar comparativas, módulos de comunicación que contarán con un emisor y receptor donde se establecerá su comunicación de interfaz de sensores a larga distancia y por último un módulo WiFi para subir los datos y monitorearlos en tiempo real.

## **1.6. METODOLOGÍA**

En el presente proyecto los tipos de metodología en los cuales se orientará el proceso de investigación e implementación están dados por el estudio cualitativo y cuantitativo, donde se usará la investigación cualitativa para el uso de la recopilación de información. Con respecto al método experimental la propuesta de inspección y análisis del comportamiento del sistema, cuya selección de antecedentes proporcionará la creación de la base de datos.

Por consiguiente, el sistema a implementar se alimentará por medio de energía renovable, por esta razón se optó la utilización de paneles solares los cuales alimentarán todo el sistema. El funcionamiento de este proyecto está dado por la obtención captada de la energía que proporciona el sol convirtiéndola en electricidad la cual energizará la batería en donde se ubicará la boya, por consiguiente, se procederá a la conexión de los dispositivos a utilizar durante esta propuesta, como siguiente proceso se tendrá que codificar el microcontrolador para que este de la orden al sensor y este a su vez receptorá los datos generados del mismo.

Posteriormente, los datos que se proporcionaron se procederán a enviar y serán recibidos mediante vía WiFi. Seguidamente se usarán dos módulos cuyos funcionamientos serán de emisor y receptor, el emisor se ubicará con los demás dispositivos en la boya, mientras que el funcionamiento del otro módulo será de receptor el cual estará ubicado en el muelle de la capitania del puerto de Salinas, donde recibirá los datos emitidos por las boyas y se almacenará en la nube gracias al uso de un módulo WiFi, el cual jugará un papel importante a la hora de subir dichos datos.

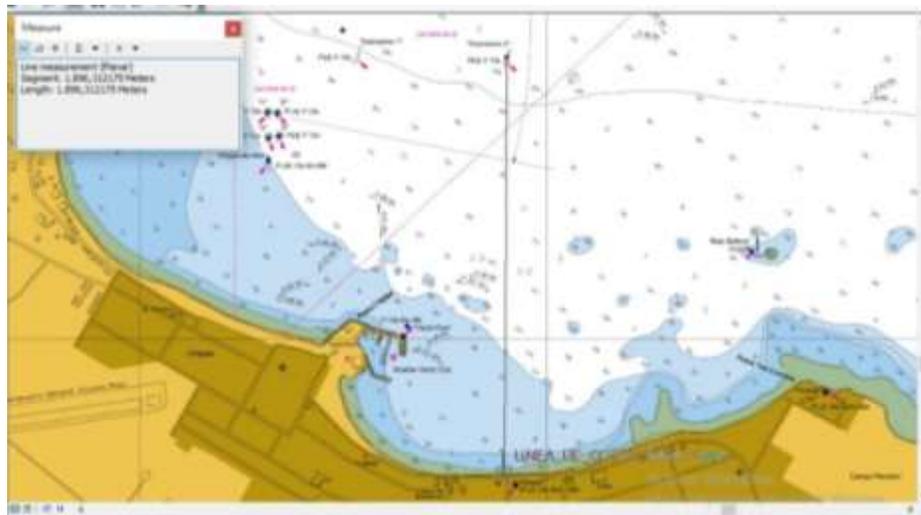
## **CAPÍTULO II**

### **2.1. MARCO CONTEXTUAL**

Para la implementación de un sistema de monitoreo de oleaje remoto con alimentación solar es fundamental entender la importancia de la adquisición de estos datos, lo cual ha motivado a la implementación de este proyecto. El monitoreo de oleaje es de gran importancia en diferentes sectores tales como la gestión costera, la navegación marítima y la investigación medioambiental, ya que permite recoger datos precisos sobre las condiciones del mar en tiempo real.

### 2.1.1. Localización del Sistema de Monitoreo

El sensor de oleaje estará ubicado en una boya en alta mar del Cantón de Salinas en la Provincia de Santa Elena. Este sensor permitirá recolectar datos como el nivel de las olas que se medirán en metros, además de permitir la adquisición de la temperatura y la presión atmosférica. Esta estación contará con un transmisor inalámbrico el cual enviará la información obtenida hacia un receptor que estará ubicado en el puerto del Cantón Salinas como se puede observar en la Figura 6.



*Figura 6 Localización del sistema de monitoreo de oleaje. Fuente: Autoría propia*

El sistema de monitoreo incluye una boya proporcionada por el INOCAR, cuyo objetivo principal es contener los equipos electrónicos que permitan medir y registrar parámetros relacionados con el oleaje y condiciones atmosféricas del mar. Para obtener estos datos, se instalará un prototipo de sensor de oleaje equipado con un módulo GY-87, que integra varios sensores, entre ellos un sensor barométrico BMP180. Este sensor medirá la presión atmosférica, permitiendo calcular la altura de las olas.

Para garantizar la operación continua y autónoma del sistema de monitoreo, se utilizará una fuente de energía renovable, como la energía solar. Los paneles solares se instalarán en la boya para capturar la energía solar y cargar las baterías, lo cual permitirá el funcionamiento del sistema incluso en áreas remotas sin acceso a la red eléctrica.

Los datos recopilados por los sensores se transmitirán de forma inalámbrica a un centro de monitoreo o estación base en tierra, que en este caso será el puerto de Salinas. En el centro de monitoreo, los datos recibidos serán procesados y analizados para extraer información relevante sobre las condiciones del oleaje.

### 2.1.2. Temperatura y Salinidad en Salinas

Según mediciones de la temperatura del agua en la última década, la temperatura más alta en el Océano Pacífico cerca de Salinas en esta fecha se registró en 2020, alcanzando los 24.1°C, mientras que la más baja se obtuvo en 2007, con 20.7 °C. En Salinas, entre enero y diciembre, la temperatura del agua no desciende de los 20°C. En promedio, la temperatura del agua en Salinas en invierno es de 25.4°C, en primavera sube a 25.9°C, en verano alcanza los 23.7°C y en otoño es de 22.8°C. En la Figura 7 se muestra los valores promedio, mínimo y máximo de temperatura del mar en Salinas de los últimos tres meses del año 2024 [9].

Otros de los factores importantes de mencionar es la salinidad del mar de Salinas, la cual es del 33.81%. La salinidad media de los océanos del mundo es del 35% [9].

Mes	Prom.	Min	Máx	
Temperatura del agua en Salinas en septiembre				
octubre	22.8°C	19.4°C	25.6°C	cálido
Temperatura del agua en Salinas en octubre				
noviembre	23.1°C	20.2°C	25.6°C	cálido
Temperatura del agua en Salinas en noviembre				
diciembre	24.2°C	20.8°C	26.3°C	cálido
Temperatura del agua en Salinas en diciembre				

*Figura 7 Temperaturas del mar de Salinas en los últimos tres meses del año 2024. Fuente: [9].*

### 2.1.3. Oleaje en Salinas

Además de la temperatura del mar en Salinas, existen otros indicadores relevantes en la playa que son la presencia y tamaño de las olas, junto con la velocidad y dirección del viento. En

la Figura 8 se muestra un pronóstico del comportamiento de la ola en la primera semana del mes de noviembre del año 2024 que reflejan la altura de las olas (oleaje), la cual se define como la altura promedio (de valle a cresta) del tercio más alto de las olas [9].

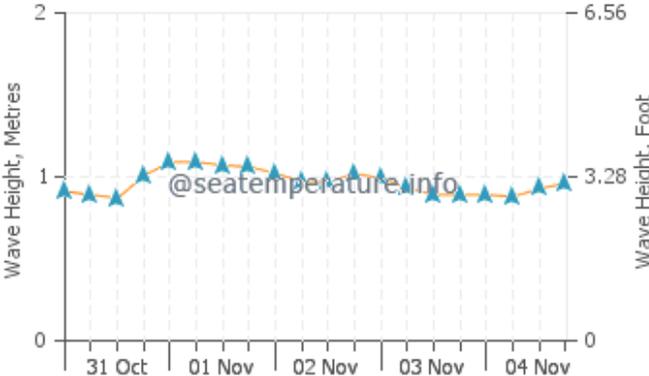


Figura 8 Comportamiento de oleaje en el mar de Salinas. Fuente: [9]

Según los datos obtenidos de la referencia [9], la altura de las olas en Salinas no excede 1 metro (3 pies 3 pulgadas). En la Figura 8 también se puede observar que, en los últimos días del mes de octubre y principios de noviembre, el mar permaneció tranquilo. La Figura 9 ofrece información específica sobre las condiciones del mar del día 26 de octubre del año 2024, desglosada por hora. Estos datos muestran la altura de las olas, la dirección de las olas [9].

Sáb 26	DOM 27	LUN 28	MAR 29	Mié 30	JUE 31	VIE 01	Sáb 02	DOM 03	LUN 04
26 octubre 2024									
0-3 hr	3-6 hr	6-9 hr	9-12 hr	12-15 hr	15-18 hr	18-21 hr	21-24 hr		
3' 5"	3' 2"	3' 0"	3' 0"	3' 0"	3' 1"	3' 1"	3' 0"		
1.03 m	0.96 m	0.92 m	0.92 m	0.92 m	0.93 m	0.94 m	0.92 m		
▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S		
3	3	3	3	3	3	3	3		

Figura 9 Altura de olas y dirección. Fuente: [9]

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL

En esta sección se describen las boyas utilizadas en los sistemas de monitoreo de océanos y se describen los tipos de sensores involucrados en la recolección de datos de las ondas de oleaje, dirección del viento temperatura, presión y los módulos de comunicación permiten transmitir datos recolectados.

Se describen las características del sistema de energía solar fotovoltaica y se describen los elementos de alimentación, placas solares y los módulos de comunicación implicados en la elaboración del proceso de recolección de datos, transmisión de datos, protocolos de comunicación.

Al final se estudian los problemas de transmisión de ondas electromagnéticas en ambientes acuáticos y los métodos de análisis de datos para estudiar el oleaje y condiciones atmosféricas, subrayando la relevancia de estos datos para el ámbito de la seguridad marítima y la ingeniería costera.

### 2.2.1. Boyas Utilizadas en la Medición de Oleaje

En la Figura 10 se muestra un modelo típico de boya utilizada en los procesos de medición de oleaje. Las boyas oceanográficas son dispositivos que sirven para monitorear y realizar estudios oceanográficos. El diseño mecánico debe asegurar su durabilidad, estabilidad y un eficiente desempeño en condiciones desfavorables.



*Figura 10. Boya oceanográfica. Fuente: Autoría propia*

A continuación, se describirán los elementos esenciales que conforman la estructura mecánica de una boya oceanográfica [11].

- **Cuerpo flotante**

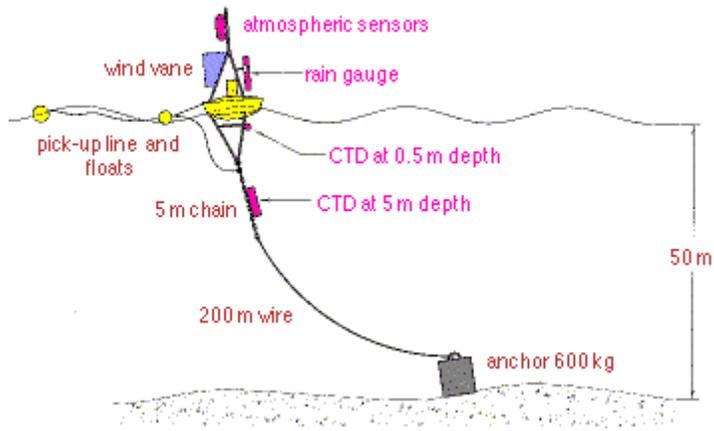
El cuerpo flotante conforma la base estructural de la boya oceanográfica, la cual tiene como objetivo principal proporcionar flotabilidad suficiente para poder mantener su propio peso y de los dispositivos electrónicos, cuando hay fuertes vientos que aumentan las fuerzas de las olas. El cuerpo flotante se compone de materiales con alta resistencia mecánica, baja densidad y durabilidad ocasionada por la corrosión marina [10].

El material que se utiliza para el cuerpo flotante de la boya combina alta resistencia mecánica, baja densidad y alta durabilidad que ayuda a prevenir la corrosión marina y el deterioro de la estructura [10]. El polietileno es mayormente utilizado por su calidad y resistencia a los impactos, otro de los motivos es que es prácticamente insumergible, lo cual permite preservar los equipos que se encuentren en la boya; además se utiliza la pintura poliuretano para recubrir la estructura de la boya ya que es resistente a los rayos UV y al ambiente marino [10].

- **Sistema de Anclaje**

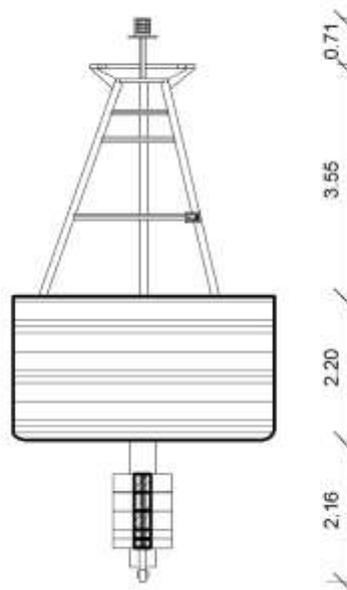
El anclaje permite que la boya se mantenga estable y no se vuelque, pero el tipo de anclaje a utilizar depende de la profundidad del agua. Los elementos básicos del anclaje dependen de la cantidad de peso muerto, el cabo y son los elementos flotantes que permitirán que el anclaje se mantenga estable [11].

El tipo de anclaje que tiene la boya es el anclaje superficial donde el principal elemento que permite flotabilidad es la boya de tamaño regular que flota en la superficie y que sostiene los dispositivos meteorológicos. En océanos profundos este tipo de anclaje frecuentemente son de tipo “anclajes tensos”, ya que cuenta con un cabo para el anclaje y se diseña más pequeño respecto a la profundidad de agua, lo que permite que la cuerda se estire y haga tensión para mantenerse vertical, como se muestra en la Figura 11 [11].



**Figura 11 Anclaje superficial Fuente: [12]**

En la Figura 12 se muestra un diseño CAD de cómo está compuesta la boya con sus componentes físicos, la estructura metálica, su cuerpo flotante de polietileno y por último esta su anclaje o contrapeso que le da estabilidad a la boya para que no se vuelque.



**Figura 12 Vista global de la boya Fuente: Autoría propia**

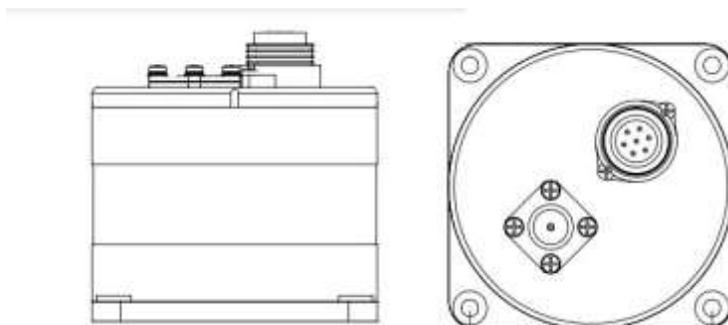
### 2.2.2. Sensores de Oleaje

Los sensores de oleaje comerciales son dispositivos diseñados para medir y monitorear las características del oleaje en entornos marinos y costeros. Estos sensores proporcionan datos precisos sobre la altura, dirección, período y formación de las olas. La información que

generan es fundamental para diversas aplicaciones, como la navegación, la ingeniería costera y la investigación oceanográfica [12].

En la Figura 13 se presenta un módulo de oleaje comercial que destaca por ser un sensor eficiente, integral, versátil, compacto y de bajo consumo, además de tener un precio accesible. Este sensor está diseñado para la caracterización de olas direccionales, ofreciendo un alto rendimiento y una amplia gama de parámetros de medición [12].

El sensor de oleaje comercial incluye un sistema AHRS (Attitude and Heading Reference System) que consta de tres acelerómetros, tres giroscopios y tres magnetómetros. También incorpora un sensor de temperatura que permite realizar compensaciones en las medidas. Además, integra un sistema GNSS (Global Navigation Satellite System) que proporciona información precisa sobre la hora y la posición, mejorando así los cálculos estadísticos [12].



*Figura 13 Sensor de oleaje comercial. Fuente: [12]*

### **2.2.3. Alimentación Mediante Panel Solar**

La alimentación mediante paneles solares representa una fuente de energía renovable y limpia, lo cual implica que no produce contaminación. Este tipo de energía es abundante y accesible en las zonas costeras, y entre sus beneficios destaca la reducción de costos energéticos a largo plazo y la independencia energética. A continuación, se enumeran los componentes que componen un sistema de energía fotovoltaica.

- **Paneles Solares Fotovoltaicos:** Estos dispositivos convierten la luz solar en electricidad mediante el efecto fotovoltaico. Estos paneles están compuestos por células fotovoltaicas fabricadas en silicio que generan electricidad cuando reciben la luz solar [13].
- **Regulador de Carga:** Es un componente fundamental en los sistemas de alimentación solar, encargado de gestionar la energía almacenada en las baterías. Su principal función es proteger las baterías de una posible sobrecarga, asegurando que se mantenga un nivel de carga adecuado y eficiente para el correcto funcionamiento del sistema [14].
- **Baterías:** Son dispositivos de almacenamiento de energía captada por los paneles solares a lo largo del día. Esta energía acumulada permite disponer de electricidad durante la noche o en días nublados, cuando la luz solar es insuficiente o inexistente [15].
- **Medidor de Energía:** Es un equipo que proporciona un seguimiento detallado de la electricidad generada por los paneles solares y del consumo energético del sistema en general. Gracias a este dispositivo, se puede llevar un control preciso sobre la cantidad de energía producida y utilizada, optimizando la gestión y eficiencia del sistema solar [16].

#### **2.2.4. Microcontroladores**

Como se muestra en la Figura 14, los microcontroladores son pequeños circuitos integrados que se pueden programar para realizar tareas o ejecutar instrucciones como queremos. La incorporación de microcontroladores ayuda a mejorar la confiabilidad operativa y reducir el consumo de energía [17].



Un protocolo de comunicación es un conjunto de especificaciones y estándares que definen como deben funcionar los dispositivos y sistemas. La comunicación entre dispositivos es fundamental en muchos de los sistemas electrónicos. Para lograr una buena conexión estos protocolos definen formatos de mensajes, secuencias de intercambio de datos, como se codifican y decodifican además de los métodos para verificar que la información se transmite sin errores. A continuación, se presentan algunos ejemplos de protocolos de comunicación:

- **Protocolo I2C:** Este protocolo utiliza dos líneas de comunicación, conocidas como SDA (Serial Data Line) y SCL (Serial Clock Line), para la transmisión de datos entre dispositivos. Un dispositivo toma el rol de maestro, iniciando y controlando la comunicación, mientras que los demás dispositivos actúan como esclavos, respondiendo a las solicitudes del maestro [22].
- **Protocolo SPI (Serial Peripheral Interface):** Este un protocolo de comunicación síncrono utilizado para transferir datos entre un dispositivo maestro y uno o más dispositivos esclavos. Fue desarrollado por Motorola en la década de 1980 y desde se ha utilizado ampliamente en diversas aplicaciones, especialmente en sistemas integrados y electrónicos [23].

El protocolo SPI se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, como la comunicación entre microcontroladores y periféricos, memorias flash, sensores, convertidores de datos, y otros dispositivos en sistemas electrónicos y embebidos. Su simplicidad, rapidez y flexibilidad lo convierten en una opción popular para la transferencia de datos en muchas aplicaciones [23].

- **Protocolo Bluetooth:** Es un protocolo de comunicación inalámbrica utilizado para conectar dispositivos cercanos entre sí. Permite la transferencia de datos y la conexión de dispositivos como teléfonos móviles, auriculares, teclados y ratones [24].
- **Protocolo LoRa:** Este protocolo es una tecnología que está diseñada para establecer comunicación de baja potencia, pero de largo alcance lo que lo hace ideal para proyectos de Internet de las Cosas (IoT). Utiliza modulación por espectro ensanchado que se basa en chirp (CSS), el cual permite conservar conexiones estables a largas distancias, incluso estando con ruido ocasionado por el entorno y con bajo consumo de energía [25].

### **2.2.6. Datos de Oleaje y Viento en Ambientes Marinos**

La recolección de datos sobre las olas consiste en reunir y registrar información acerca de las características de las olas en entornos marinos y costeros. Este proceso se realiza con sensores y técnicas de medición, lo que permite obtener datos puntuales sobre aspectos como la altura, el periodo, la dirección y la forma de las olas. Al analizar esta información, se puede percibir mejor el comportamiento de las olas en diferentes contextos, lo que resulta fundamental para múltiples aplicaciones, desde la navegación hasta la investigación ambiental, este enfoque busca transmitir la información de manera más natural y accesible.

Factores importantes que afectan la recopilación de datos. La información sobre las olas es el viento, que incide directamente en la formación, altura y dirección de las olas. Cuanto más viaja el viento sobre el agua, más energía transfiere al agua, creando ondas de diferentes tamaños y frecuencias. Los vientos en ambientes marinos son causados por diferencias en la presión atmosférica, que a su vez son causadas por diferencias en la temperatura y la humedad del aire y están organizados por centros de alta y baja presión. En el centro se tiene mayor presión que la periferia cuando el aire seco y frío desciende de niveles superiores hacia los niveles inferiores. En un centro de baja presión atmosférica el comportamiento es inverso, la presión es menor en el centro que en la periferia, el aire húmedo y caliente asciende de niveles inferiores hacia niveles superiores.

Los vientos se mueven hacia donde la presión es menor y por efecto de la rotación de la tierra hacia la derecha en el hemisferio norte. Por esta razón la circulación resultante es anticiclónica (a favor de las manecillas del reloj) [27]. La velocidad de los vientos es mayor cuanto mayor es la diferencia de presión atmosférica, la alta y baja presión atmosférica generan oleaje.

La escala de Beaufort, como se muestra en la Figura 15, describe el viento relacionando su velocidad con la altura del oleaje y las condiciones en mar y tierra. Mientras la escala Douglas de la Tabla 1 describe el oleaje relacionado su altura con su origen, es decir mar local o mar de leva. Esta última es la aceptada por la organización meteorológica mundial para caracterizar el estado del mar [27].

*Tabla 1 Escala Douglas*

<b>Escala</b>	<b>Altura del oleaje (m)</b>	<b>Descripción del mar local</b>	<b>Descripción del mar de leva</b>
0	0	Llana	Sin olas
1	0 - 0.10	Rizada	Olas cortas y pequeñas
2	0.10 - 0.50	Marejillada	Olas largas y pequeñas
3	0.50 - 1.25	Marejada	Olas cortas y moderadas
4	1.25 - 2.50	Fuerte marejada	Olas medianas y moderadas
5	2.50 - 4.0	Gruesa	Olas largas y moderadas
6	4.0 - 6.0	Muy gruesa	Olas cortas y grandes
7	6.0 - 9.0	Arbolada	Olas medianas y grandes
8	9.0 - 14.0	Montañosa	Olas largas y grandes
9	14	Enorme	Olas de longitud y altura variable

Escala	Velocidad del viento		Descripción	Altura del oleaje		Condiciones en mar	Condiciones en tierra
	Kph	Nudos		Metros	Pies		
0	<1	<1	Calma	0	0	Superficie del mar lisa.	El humo sube verticalmente.
1	2-4	1-2	Ventolina	0.1	0.3	Superficie del mar rugosa.	El movimiento del viento es visible en el humo
2	6-19	3-10	Brisa suave	0.6	2	Oleaje de longitud corta. Rompimiento parcial de crestas. Espuma cristalina.	El viento se siente en la piel y las hojas susurran. Las hojas en constante movimiento.
3	20-28	11-15	Brisa moderada	1	3.3	Incremento en la longitud del oleaje. Rompimiento parcial de crestas. Espuma blanca. El sonido es suave y se disipa rápidamente.	El polvo y papel suelto se eleva. Pequeñas ramas comienzan a moverse.
4	30-37	16-20	Brisa regular	2	6.6	Oleaje de longitud mediana. Rompimiento total de crestas. Espuma blanca. El sonido es suave pero perdura por más tiempo.	Ramas de tamaño moderado se mueven. Pequeños árboles comienzan a balancearse.
5	39-48	21-26	Brisa fuerte	3	9.9	Oleaje de longitud mediana e incremento en la altura del oleaje. Superficie del mar con áreas de espuma blanca. El sonido es fuerte.	Ramas grandes se mueven. Los cables silban. Se hace difícil el uso de sombrillas. Depósitos vacíos de basura se vuelcan.
6	50-61	27-33	Temporal moderado	4	13.1	Superficie del mar encrespado. La espuma tiende a alinearse en bandas en la dirección del viento.	Los árboles se mueven. Se requiere un esfuerzo para caminar contra el viento. Se puede sentir el balanceo en los últimos pisos de edificaciones altas.
7	63-87	34-47	Temporal regular	7	23	Incremento de la longitud y altura del oleaje como de la longitud de sus crestas. Las bandas de espuma acortan distancia.	Se rompen las ramas de los árboles. Los carros son desviados por la fuerza del viento. Se caen pequeños árboles, señales de construcciones temporales y barricadas. Daños en carpas.
8	89-117	48-63	Temporal fuerte	11.5	37.7	Oleaje de gran altura y longitud de cresta. Rompimiento constante del oleaje. Formación rápida de bandas de espumas. Superficie del mar con grandes áreas de espuma blanca. Visibilidad reducida.	Se rompen los árboles o son sacados de raíz. Árboles jóvenes son doblados y deformados. Se levantan láminas mal sujetadas de los techos. Daños extendidos en la vegetación. En la mayoría de techos se desprenden láminas.
9	>117	>63	Huracán	>14	>46	Oleaje de enorme altura en constante rompimiento. El aire está saturado de agua pulverizada por el viento. Visibilidad mínima.	Daños considerables y extendidos en la vegetación. Algunas ventanas rotas. Daños estructurales a casas móviles y edificaciones mal construidas. Basura arrojada o lanzada por el viento.

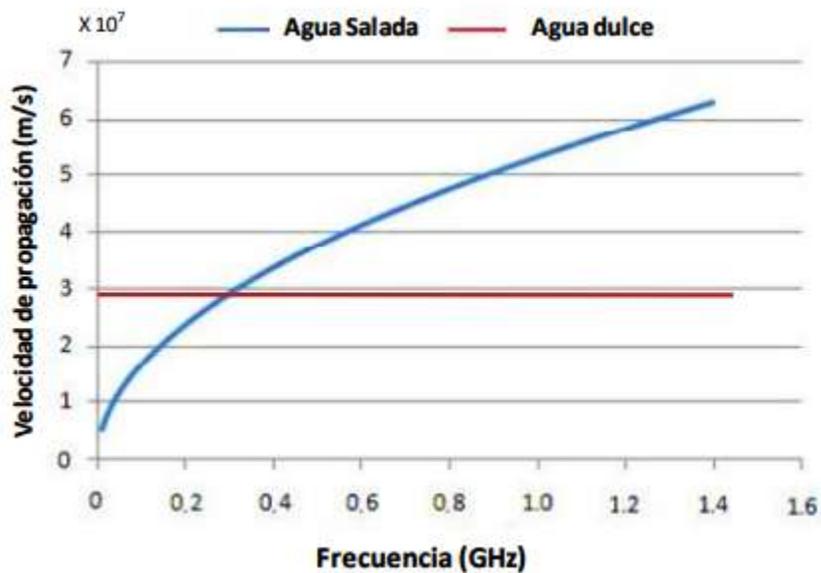
**Figura 15 Escala Beaufort. Fuente: [27]**

### 2.2.8. Ondas Electromagnéticas en Agua Dulce y Agua Salada

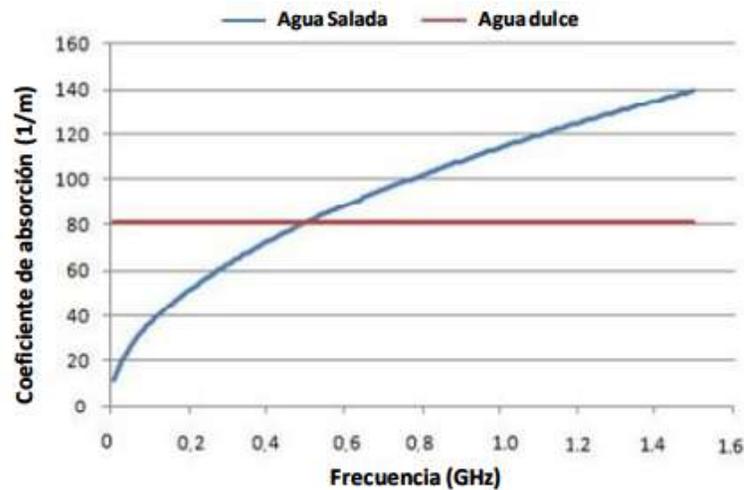
En el agua dulce, las ondas electromagnéticas (EM) experimentan bajas pérdidas debido a su baja conductividad eléctrica, lo que permite que las señales viajen más lejos con menos atenuación en comparación al agua salada. La velocidad de propagación de las ondas EM en agua dulce es más cercana a la velocidad en el aire ya que el medio no es tan disperso ni absorbente como muestra la Figura 16. [28].

Por otro lado, en el agua salada las ondas EM sufren mayores pérdidas debido a la alta conductividad eléctrica causada por la salinidad. El agua salada absorbe y atenúa las señales EM mucho más que en el agua dulce como lo demuestra en la Figura 17.

La velocidad de propagación en el agua salada es significativamente menor, especialmente a frecuencias más altas, debido a la mayor absorción de la energía de las ondas electromagnéticas, estos comportamientos se pueden apreciar en las Figuras 16 y 17 [28].



*Figura 16 Velocidad de propagación. Fuente: [28]*



*Figura 17 Coeficiente de absorción. Fuente: [28]*

### **2.2.9. Características Físicas del Medio y Potencia de Señales Inalámbricas**

Para la transmisión de datos, es importante tener en cuenta que puede estar sujetos a diversas interferencias, como las condiciones ambientales y salinidad, entre otros factores, que pueden causar una significativa reducción de la señal.

Las señales se propagan por medio del agua gracias a las propiedades fisicoquímico del agua y las propiedades físicas de la luz transmitida en el agua de mar, la absorción la cantidad de radiación que retiene y la turbidez, el uso de las ondas electromagnéticas en la banda de frecuencias de radiofrecuencia (RF) presentan varias ventajas sobre las ondas acústicas, sobre todo porque es más rápido y se puede utilizar en las frecuencias de trabajo más altas (lo que se traduce en un mayor ancho de banda) [28].

El RSSI (Received Signal Strength Indicator) es métrica para evaluar la calidad de la señal en redes inalámbricas como LoRa se mide en dBm, que indica la intensidad relativa de la señal en relación con 1 mW, donde 0 dBm equivale a 1 mW. Un valor de RSSI positivo sugiere una señal fuerte, mientras que un valor negativo indica pérdida de señal. Cuanto más bajo (o más negativo) sea el valor, mayor será la disminución de la conexión en sistemas inalámbricos, ya que una señal más débil significa una mayor susceptibilidad a interferencias y problemas de comunicación. Para evaluar adecuadamente la calidad de la señal, es fundamental comparar la intensidad de la señal con los niveles de ruido presentes en el

entorno. En el caso de LoRa se han definido algunas especificaciones importantes relacionadas con el RSSI se ajustó el texto para que sea más claro y accesible manteniendo el contenido esencial [29]:

- Valor mínimo de RSSI = -120 dBm.
- Un valor de -30 dBm indica que la señal es fuerte y estable.
- Un valor de -120 dBm indica que la señal es débil e inestable.

El cálculo del RSSI se basa en la potencia de transmisión, la ganancia de las antenas y las pérdidas de propagación. A continuación, se indica la fórmula para calcular el RSSI.

$$RSSI = P_{tx} + G_{tx} + G_{rx} - L_{total} \quad \text{Ec.(1)}$$

Donde:

- $P_{tx}$ : Potencia de transmisión en dBm.
- $G_{tx}$ : Ganancia de la antena de transmisión en dBi
- $G_{rx}$ : Ganancia de la antena de recepción en dBi
- $L_{total}$ : Pérdida total del enlace en dB, que incluye la pérdida por obstáculos y otras pérdidas. Donde la pérdida por espacio libre se determina mediante:

$$L_{fs} = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) - 147.55 \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde,  $d$  es la distancia entre el transmisor y el receptor en metros,  $f$  la frecuencia de operación en MHz (para el LoRa SX1278 Ra-02, es 433MHz). El valor 127.55 es una constante derivada de las propiedades de la velocidad de la luz y de las conversiones entre unidades

## 2.3 MARCO TEÓRICO

En marzo del 2018, en el Golfo de México se instalaron las primeras boyas oceanográficas y metrológicas (BOMM), fueron creadas por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), es un proyecto que tenía como fin recolectar información oceanográfica por medio de una red de boyas oceanográficas colocadas en el Golfo marino de México, estas boyas miden 14m de altura, en la parte sumergida se encuentran acoplados los diferentes sensores que detectaran las variables de medición como

lo son temperatura y salinidad, oxígeno disuelto, pH, espectro direccional del oleaje y corriente, en la parte que se encuentra en la parte externa se encontraran una estación meteorológica y un anemómetro sónico y sensor de CO2 este sistema es autónomo y cuenta con una alimentación solar [30]

El 30 de Agosto del 2014, en las playas de Jambeli provincia de El Oro Ecuador, es el cuarto dispositivo que se integra a la zona costera, dicho dispositivo tambien fueron instalados en las costas de Salinas, Manta y Esmeraldas, estas boyas tienen como finalidad la recopilación de datos oceanograficos como son la altura y periodo de las olas, temperatura de la superficie del mar, magnitud y dirección, cuando se obtienen dichos datos que son transmitidos de manera satelital y observados en el Centro de Monitoreo Oceanico del Instituto Oceanografico de la Armada [30].

En el 2016, en la Universidad Superior Politecnica del Litoral (ESPOL), se presento un trabajo de titulación llamado “Telemetria de boya meteorologica costera con software y hardware libre”, este dispositivo sera implementado en las zonas costeras que nos permitira obtener datos oceanograficos como son la temperatura, humedad, Ph, conductividad y salinidad, la cual dichos datos seran presentados en una interfaz web para su respectiva lectura sin importar el lugar donde se encuentre y siempre tendra una facil comprensión para el usuario [31].

## CAPITULO III

### 3.1. COMPONENTES DE LA PROPUESTA

En la siguiente sección se describirán detalladamente tanto los componentes físicos como los componentes lógicos que se utilizarán en este proyecto. Para cada componente, se presentarán sus características técnicas y las especificaciones más importantes, justificando cada selección en función de los requerimientos del sistema, además se incluirá una breve explicación del funcionamiento y la integración del diseño global. También se expondrán los elementos que se utilizaron para el prototipo, junto con los cálculos y las librerías que se utilizaron para el código.

#### 3.1.1. Componentes Físicos

Para implementar el sistema de monitoreo de oleaje remoto con alimentación solar, diseñado para captar datos claves de altura, dirección, presión y temperatura del oleaje, se utilizarán diversos equipos y componentes electrónicos. Estos datos serán transmitidos a la red, donde serán utilizados para la prevención de oleajes peligrosos y desastres naturales, con el apoyo de técnicas de visión artificial. Los detalles sobre los equipos y componentes empleados se describirán a continuación.

##### 3.1.1.1. Boya

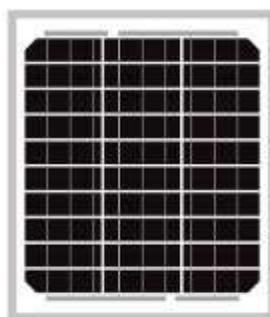
Las boyas marinas son dispositivos flotantes esenciales para la monitorización y recopilación de datos de oleaje. Construidas con materiales altamente resistentes a la corrosión, como lo es el acero inoxidable, fibra de vidrio o polietileno de alta densidad, ya que las boyas están diseñadas para soportar duras condiciones del mar, mientras operan durante largos periodos, como se observa en la Figura 18 [32].



*Figura 18 Boya. Fuente: Autoría propia*

### **3.1.1.2. Panel Solar Newpowa Monocristalino**

El panel solar Newpowa destaca por su resistencia y eficiencia, características que lo hacen especialmente adecuado para alimentar pequeñas cargas de baterías en sistemas de energía autónomos fuera de la red. Este panel incorpora tecnología de celdas solares monocristalinas, reconocida por ofrecer una alta eficiencia en la conversión de energía solar y una durabilidad superior, lo que garantiza un rendimiento confiable a largo plazo en dispositivos electrónicos de bajo consumo. Su diseño robusto lo convierte en una opción ideal para aplicaciones que requieren un suministro de energía estable y eficiente en entornos exigentes, como se muestra en la Figura 19. En la Tabla 2 se presentan las características técnicas de este panel solar [33].



*Figura 19 Panel solar Newpowa. Fuente: [33]*

*Tabla 2 Características técnicas del panel solar Newpowa.*

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
<b>Potencia máxima (Pmax)</b>	5W
<b>Voltaje a potencia máxima (Vmp)</b>	17.0V
<b>Corriente a potencia máxima (Imp)</b>	0.29 A
<b>Voltaje de circuito abierto (Voc)</b>	21.6V
<b>Corriente de cortocircuito (Isc)</b>	0.31 A
<b>Eficiencia del modulo</b>	15-18%
<b>Dimensiones</b>	250mm x 245mm x 17mm
<b>Peso</b>	0.8kg
<b>Tipo de celdas</b>	Monocristalinas
<b>Temperatura de operación</b>	-40°C a +85°C
<b>Material del marco</b>	Aluminio resistente a la corrosión

### **3.1.1.3. Controlador de Carga Solar Renogy**

Los controladores de carga solar Renogy son dispositivos electrónicos únicos en sistemas solares diseñados para controlar eficientemente el flujo de energía desde los paneles solares hasta la batería o el circuito que de alimentación. Su función principal es proteger la batería de sobrecargas, sobre descargas y cortocircuitos, garantizando así la duración de la batería y un rendimiento óptimo. Renogy ofrece una variedad de controladores, incluidos modelos que utilizan tecnología PWM (Modulación por Ancho de Pulso) y MPPT (Seguimiento del Punto de Máxima Potencia) [34].

La elección entre estos controladores depende de la aplicación específica y del nivel de eficiencia requerido: los controladores MPPT son ideales para maximizar la captura de energía en sistemas más complejos y exigentes. Estos controladores son cruciales para garantizar la seguridad y la eficiencia del sistema solar, garantizando un funcionamiento confiable y a largo plazo, como se muestra en la Figura 20, y sus especificaciones se muestran en la Tabla [34].



Figura 20 Renogy controlador de carga. Fuente: [34]

Tabla 3 Características técnicas del Renogy controlador de carga solar

Parámetros	Valor
<b>Modelo</b>	Renogy Rover 40 <sup>a</sup> MPPT
<b>Voltaje nominal del sistema</b>	12V/24V
<b>Corriente nominal</b>	40 A
<b>Eficiencia MPPT</b>	Hasta 99%
<b>Rango de voltaje de entrada PV</b>	110V – 150V
<b>Protecciones incorporadas</b>	Sobrecarga, cortocircuito, polaridad inversa, sobrecalentamiento
<b>Tipos de batería soportados</b>	Plomo – acido, Litio – Ion, LiFePO4
<b>Pantalla y controles</b>	Pantalla LCD, botones de configuración
<b>Temperatura de operación</b>	-35°C a 55°C
<b>Conectividad</b>	Opcional: Bluetooth, WiFi

#### 3.1.1.4. Batería Recargable Seca

La batería recargable es un dispositivo de carga de energía que es utilizado como un sistema de energía de respaldo, para dispositivos electrónicos donde se requiere de un consumo bajo de energía. Este tipo de batería son selladas o secas, lo que quiere decir que no requieren mantenimiento, ya que no contienen líquidos corrosivos a diferencia de los otros tipos de batería, en cambio contienen electrolitos en forma de gel que es absorbida por fibras de vidrio

como se muestra en la Figura 21, ya que así las hace seguras y adecuadas para lugares cerrados [35]. En la Tabla 4 se muestra las características técnicas de la batería.



*Figura 21 Batería recargable seca 12V 7Ah. Fuente:[35]*

**Tabla 4 Características técnicas de la Batería Recargable**

<b>Parámetros</b>	<b>Especificaciones</b>
Voltaje nominal	12V
Capacidad	7Ah
Tipo de batería	Batería recargable seca
Tecnología	Sellada, libre de mantenimiento
Corriente máxima de descarga	15 <sup>a</sup>
Corriente de carga recomendada	0.5A a 1A
Peso	1.6kg-2.0kg
Dimensiones	Aproximadamente 90mm x 70mm x 101mm
Vida útil	3 a 5 años
Temperatura de operación	-15°C a 50°C
Aplicaciones	Energía solar, UPS, juguetes eléctricos, sistema de alarmas

### 3.1.1.5. Módulo Microcontrolado ESP32

La ESP32 es un microcontrolador de bajo costo y alto rendimiento, desarrollado por Espressif Systems. La ESP32 es compatible con el entorno de desarrollo Arduino IDE, donde se utiliza el lenguaje de programación C++. Además, es compatible con una amplia gama de bibliotecas que facilitan la implementación de protocolos de comunicación, la integración de sensores, y el control de dispositivos en red, lo que la hace extremadamente versátil para diversas aplicaciones tecnológicas, como se muestra en la Figura 22, además en la Tabla 5 se muestran las características técnicas del mismo [36].

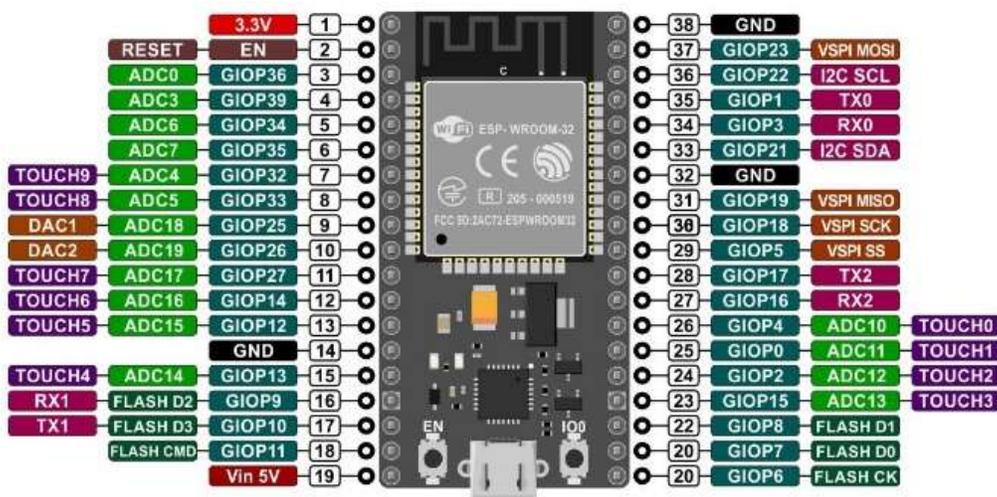


Figura 22 Módulo ESP32. Fuente: [36]

*Tabla 5 Características Técnicas de la ESP32*

<b>Características</b>	<b>Detalle</b>
<b>Procesador</b>	Doble núcleo Xtensa LX6 de 32 bits, hasta 240MHz
<b>Memoria RAM</b>	52 KB SRAM
<b>Memoria Flash</b>	Hasta 16 MB
<b>Memoria ROM</b>	448KB
<b>PSRAM (opcional)</b>	Hasta 8MB (según el modelo)
<b>Wi-Fi</b>	IEEE 802.11b/g/n, 2.4GHz, modo AP, STA y Wi-Fi direct
<b>Bluetooth</b>	Clásico v4.2 y Bluetooth Low Energy
<b>GPIOs</b>	Hasta 36 pines de propósito general
<b>ADC</b>	18 canales de 12 bits
<b>DAC</b>	2 canales de 8 bits
<b>PWM</b>	Hasta 16 canales
<b>Interfaces de Comunicación</b>	3 UART, 2I2C, 4SPI, 2 I2S, SDIO
<b>Interfaz Ethernet</b>	Soporte para PHY externo
<b>Sensores Integrados</b>	Sensor de temperatura interna, sensores táctiles capacitivos (hasta 10 canales)
<b>Modos de Energía</b>	Active mode, Light-sleep, Deep-sleep (hasta 10 $\mu$ A)
<b>Cifrado y Seguridad</b>	AES-128/192/256, SHA-2, RSA, Secure Boot, Cifrado de memoria Flash
<b>Voltaje de Operación</b>	2.2V – 3.6V
<b>Consumo de Energía</b>	Hasta 240mA en modo activo, 10 $\mu$ A en modo Deep - Sleep
<b>Generador de Números Aleatorios</b>	RNG por hardware
<b>Soporte de Desarrollo</b>	ESP-IDF, Arduino IDE, PlatformIO, MicroPython

### 3.1.1.6. Módulo MPU GY-87

El módulo GY-87 es un dispositivo electrónico que compone múltiples sensores MEMS (MicroElectroMechanical Systems) en un formato compacto, que lo convierte en una herramienta versátil para diversas aplicaciones. Este módulo combina un acelerómetro, un giroscopio, un magnetómetro y un sensor de presión de aire para proporcionar un recurso integral para la detección de movimiento, orientación y altitud.

Debido a su diseño flexible, el GY-87 es utilizado ampliamente en diversos campos como la robótica, drones, sistemas de navegación inercial (INS) y otros sistemas embebidos que solicitan mediciones precisas y confiables para el control y la navegación. En la Figura 23 se muestra la apariencia física del módulo MPU GY-87 y en la Tabla 6 se indican sus características técnicas [37].

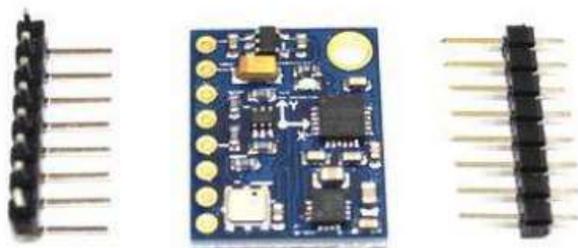


Figura 23 Modulo MPU9265 GY-87. Fuente: [37]

Tabla 6 Características técnicas del MPU9265 GY-87

Sensor	Características	Valor
<b>MPU-9250</b>	Rango de acelerómetro	$\pm 2g, \pm 4g, \pm 8g, \pm 16g,$
	Resolución del Acelerómetro	16 bits
	Rango de Giroscopio	$\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ grados/seg
	Resolución de Giroscopio	16 bits
<b>HMC5883L</b>	Rango del Magnetómetro	$\pm 1.3$ a $\pm 8.1$ gauss
	Resolución del Magnetómetro	12 bits
<b>BMP180</b>	Rango de presión	300 – 1100hPa
	Resolución de presión	0.01hPa
	Precisión de presión	$\pm 0.12hPa$

### 3.1.1.7. Sensor de Temperatura DS18B20

El DS18B20 es un sensor de temperatura digital muy popular en proyectos que requieren mediciones precisas y confiables. El sensor es fácil de usar porque se comunica mediante un bus de datos de un solo hilo (One-Wire), lo que simplifica enormemente las conexiones y reduce la cantidad de pines necesarios para su funcionamiento. Gracias a su diseño eficiente y su capacidad para facilitar datos precisos lo hacen ideal para una variedad de aplicaciones, desde sistemas de monitoreo ambiental hasta proyectos de automatización. En la Figura 24 se muestra la apariencia física del sensor y en la Tabla 7 se indican sus características técnicas [38].

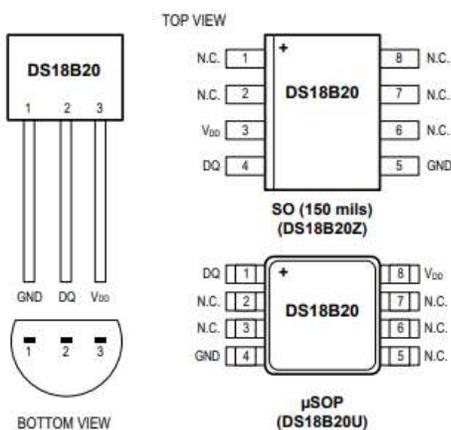


Figura 24 Sensor de temperatura DS18B20. Fuente: [38]

Tabla 7 Características técnicas del DS18B20

Parámetro	Valor
<b>Rango de Temperatura</b>	-55°C a +125°C
<b>Precisión</b>	±0.5°C (de -10°C a +85°C)
<b>Resolución</b>	9 a 12 bits (configurable)
<b>Voltaje de Operación</b>	3.0V a 5.5V
<b>Protocolo de Comunicación</b>	One-Wire
<b>Tiempo de Conversión</b>	93.75ms a 750ms (dependiendo la resolución)
<b>Encapsulado</b>	TO-92, entre otros

### 3.1.1.8. Módulo Bluetooth LoRa

El módulo bluetooth LoRa es una tecnología inalámbrica avanzada, comparable a sistemas inalámbricos incorporados en dispositivos como la ESP32 (módulo WiFi), Xbee y Zigbee. Sin embargo, a diferencia de estas tecnologías, LoRa se distingue por su capacidad para operar mediante modulación por radiofrecuencia, ofreciendo un alcance de comunicación excepcional de 10 a 20 km. Esta característica, junto con su alta tolerancia a la interferencia, hace que los módulos LoRa sean especialmente adecuados para aplicaciones en sectores militares y espaciales, donde se requiere una transmisión de datos confiable a largas distancias y en entornos con condiciones adversas, En la Figura 25 se muestra la apariencia física del módulo bluetooth LoRa y en la Tabla 8 se indican sus características técnicas [39].



Figura 25 . Módulo bluetooth LoRa. Fuente: [39]

Tabla 8 Características técnicas de LoRa

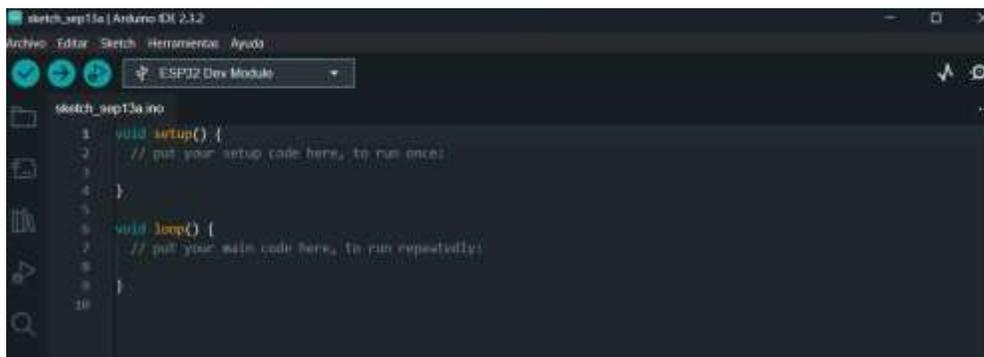
Parámetros	Valor
Rango de frecuencia	868/915 MHz
Potencia de salida	Hasta +20dBm
Sensibilidad	Hasta -148dBm
Rango de comunicación	Hasta 15 km
Versión de Bluetooth	BLE 4.2 o 5.0
Velocidad de datos	Hasta 2Mbps
Procesador	ARM Cortex – M4
Voltaje de operación	3.3V
Consumo de energía	Modo de bajo consumo disponible
Interfaz	GPIO, UART, SPI, I2C

### 3.1.2. Componentes Lógicos

En la siguiente sección se presentan los softwares utilizados para llevar a cabo la implementación de este proyecto.

#### 3.1.2.1. Entorno de Desarrollo Integrado de Arduino

El Arduino IDE es una herramienta de desarrollo de código abierto diseñado para programar microcontroladores, como lo son Arduino, mediante el lenguaje basado en C/C++, donde nos ofrece una interfaz amigable y accesible, la cual es compatible con una gran variedad de placas y módulos, para así facilitar el desarrollo de proyectos de IoT, robótica y automatización. En la Figura 26 se muestra el IDE que integra bibliotecas preinstaladas, verificación y compilación de código y también tiene un soporte para la colaboración de proyectos a través de plataformas como GitHub [40].



*Figura 26 Arduino IDE. Fuente: Autoría Propia*

#### 3.1.2.2. Librerías de Adquisición de Datos

Arduino IDE cuenta con una biblioteca de recopilación de datos que permite la recolección de datos para almacenar y procesar información que proviene de los sensores y de dispositivos conectados a placa de Arduino, esta librerías ayudan en la simplificación de la lectura de las señales emitidas por sensores analógicos y digitales lo que permite adquirir información en tiempo real, esto beneficia a diversos proyectos de monitoreo, automatización y análisis de variables físicas como: temperatura, humedad, luz, aceleración, entre otros.

A continuación, se dará una breve descripción de las librerías utilizadas en este proyecto:

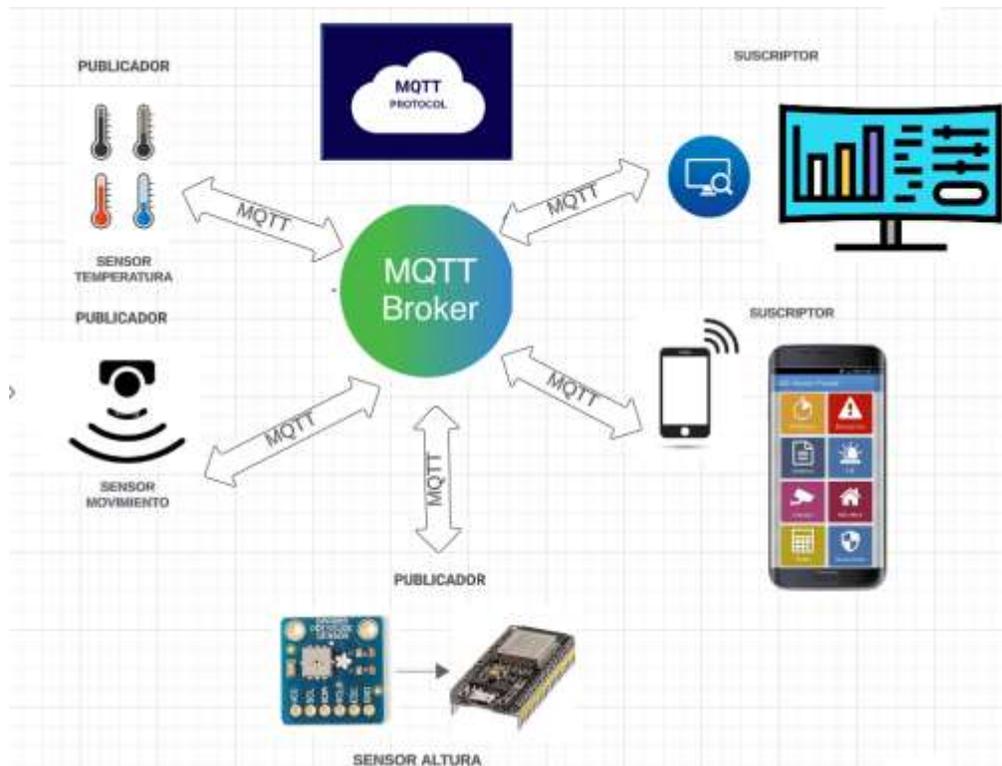
- **Wire.h:** Esta librería permite establecer la comunicación I2C y a su vez acceder a la interconexión de múltiples dispositivos a través de dos cables (SDA y SCL). Facilita la comunicación entre los sensores, actuadores y otros componentes, esta librería es muy utilizada en proyectos de monitoreo y control usando funciones claves como *Wire.begin()*, *Wire.requestFrom()*, *Wire.write()* y *Wire.read()*. Estas funciones permiten inicializar la comunicación, envío y recepción de datos entre los dispositivos y los diferentes elementos en sistemas embebidos e IoT [41].
- **SPI.h:** Esta librería permite la comunicación mediante el protocolo Serial Peripheral Interface (SPI) facilitando la transferencia de datos entre un microcontrolador y sensores o pantallas, utilizando el método maestro – esclavo. Esta librería simplifica la configuración de su velocidad, siendo así ideal para proyectos donde se requiere envío de datos con una velocidad de transmisión alta, para el control de módulos de comunicación LoRa y de sensores [42].
- **LoRa.h:** Esta librería permite la implementación de la comunicación inalámbrica de largo alcance, donde se puede configurar los parámetros como la frecuencia, potencia y el ancho de banda, para así optimizar la transmisión y recepción de datos entre los dispositivos que se encuentran en un rango de 10 km. Esta librería es compatible con microcontroladores como Arduino y ESP32, también está diseñada para proyectos que tienen un bajo consumo de energía [43].
- **Adafruit\_BMP085.h:** Esta librería facilita la incorporación del sensor barométrico BMP085, el cual permite medir la presión atmosférica y la temperatura. Esta librería simplifica la lectura de los datos por medio de la interfaz I2C, siendo útil en sistemas de monitoreo ambiental y de navegación [44].
- **DallasTemperature.h:** Esta librería es utilizada para proyectos de monitoreo donde se requiera medir temperatura mediante el sensor DS18B20. Facilita la comunicación mediante el protocolo One-Wire, para así obtener la lectura precisa de diferentes sensores conectados entre sí. También permite el ajuste de la resolución de la lectura entre 9 y 12 bits, lo que la convierte en una herramienta de gran utilidad para proyectos de monitoreo ambiental e industrial donde se requieren datos precisos y flexibles [45].

- **WiFi.h:** Esta librería es una herramienta utilizada para el desarrollo de aplicaciones de IoT, ya que cuenta con la capacidad de conectar dispositivos a redes inalámbricas por medio de WiFi. Esta librería es utilizada con el microcontrolador ESP32 el cual integra módulos de conectividad por medio de WiFi y bluetooth. Para poder conectarte a la red solo se necesita el SSID y contraseña, lo cual facilita la comunicación entre el dispositivo y la red que es esencial para proyectos de monitoreo donde se recopilan los datos de los sensores que se subirán a una plataforma web para el análisis remoto en tiempo real [46].
- **HTTPClient.h:** Es una librería que ayuda a los microcontroladores conectados a WiFi o Ethernet a realizar solicitudes HTTP a servidores web. Es clave para el envío y recepción de datos desde una plataforma y hacia otra que están en la nube, donde utilizan protocolos HTTP o HTTPS. La codificación HTTP sirve para interactuar con APIs que ayudan a enviar datos desde los sensores como, por ejemplo: temperatura, presión, altura entre otros, a servidores web como lo son Tagoio, ThingSpeak o entre otras plataformas [47].
- **PubsubClient.h:** Esta librería es una herramienta que permite la comunicación MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) en dispositivos Arduino y está diseñada para el control de mensajes MQTT de manera eficaz en proyectos IoT. Permite conectar pequeños dispositivos a redes por medio del protocolo MQTT y gracias a su compatibilidad y arquitectura permite trabajar con microcontroladores como el ESP8266 y el ESP32, facilitando la comunicación entre el emisor y receptor para transmitir los datos en proyectos de monitoreo remoto [48].

### 3.1.2.3. Herramientas y Protocolos de Sistemas IoT

Durante el desarrollo de sistemas IoT y la administración de redes, se utilizan una serie de herramientas y protocolos indispensables para una conexión eficiente en la administración y optimización de los recursos. A continuación, se describen los elementos utilizados en el desarrollo de nuestra plataforma de control de monitoreo de oleaje.

- MQTT:** Es un protocolo de mensajes, que está diseñado para transmitir de manera eficiente los datos entre diferentes dispositivos. Utiliza un servidor central conocido como “broker”, lo que permite distribuir los datos a los dispositivos suscriptos divididos en categorías de información, como son los datos de los sensores a utilizar en el sistema IoT (ver Figura 27). Cuenta con una arquitectura accesible y confiable lo que la hace ideal para el ahorro de ancho de banda y el consumo de energía [49].



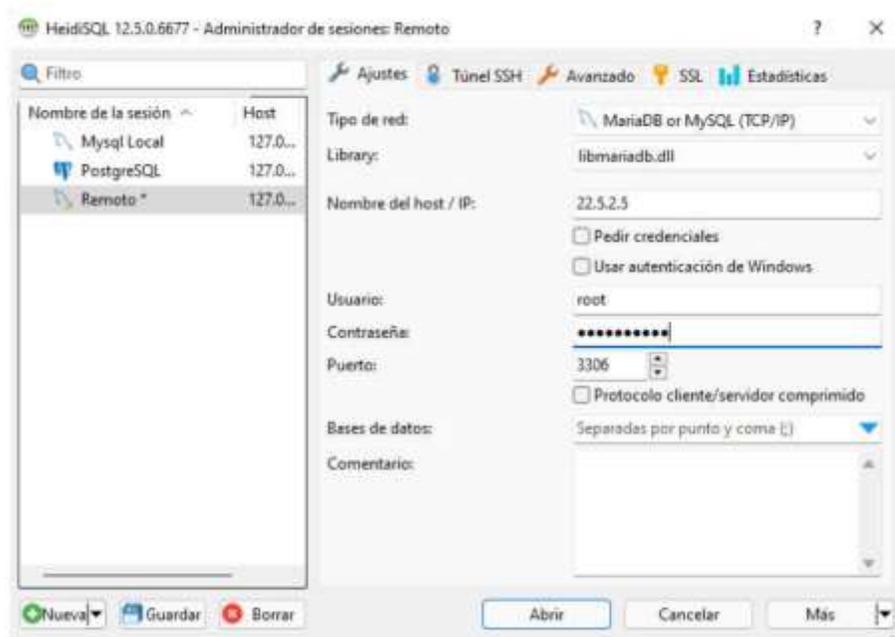
*Figura 27 Protocolo MQTT. Fuente:*

- MySQL:** En la Figura 28 se muestra un sistema de gestión de base de datos, ampliamente utilizado por su manejo de una gran cantidad de datos y por su compatibilidad con el protocolo SQL. Este protocolo realiza tareas complejas como la búsqueda, almacenamiento y el análisis de los datos, lo que lo hace ideal para el desarrollo de páginas web y sistemas de gestión [50].



*Figura 28 Protocolo MySQL. Fuente: [50].*

- **HeidiSQL:** Es una interfaz gráfica que facilita la administración de datos y la organización de la misma en MySQL, junto con otros sistemas. Contiene herramientas que ayuda a realizar consultas, manipular y enviar datos, para optimizar el trabajo en la gestión de los datos, tal y como se muestra en la Figura 29. Por su rápido acceso y eficiencia es utilizada para el desarrollo de páginas web y la administración de base de datos sin requerir a programaciones complejas [51].



*Figura 29 Interfaz HeidiSQL. Fuente: [51].*

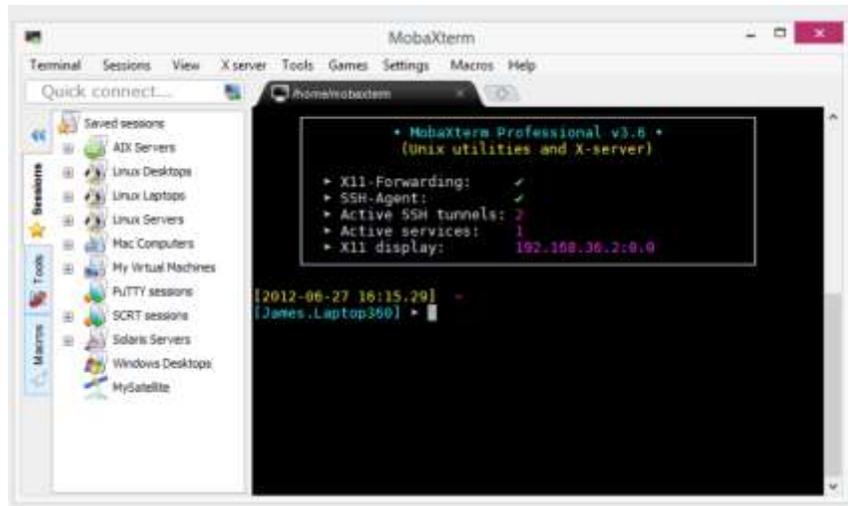
- **Putty:** Es una herramienta de software de código abierto muy utilizada para la conexión remota a través de diferentes protocolos como lo son SSH (Secure Shell), Telnet, Rlogin y conexiones en serie. Fue desarrollada principalmente para Windows,

ya que permite que los usuarios gestionen los servidores y dispositivos remotos, por su interfaz gráfica y configuraciones. Esta herramienta no solo ayuda en la conexión, sino que también en la personalización del usuario (ver Figura 30), lo que permite almacenar todas las configuraciones de sesiones específicas ofreciendo una mayor seguridad por medio de generación de claves SSH, con esto minimiza el riesgo de ataques externos, ya que se cuenta con el usuario, una contraseña pública y una privada, donde la pública es instalada en el servidor y la privada al cliente [52].



*Figura 30 Software Putty. Fuente: [52].*

- **MobaXterm:** Es una herramienta administrativa de sistemas y conexiones de red, en la cual se requieran múltiples protocolos. Este software permite integrar un terminal de pestañas para sesiones SSH, Telnet, RSH, VNC, FTP y SFTP, donde ayuda a gestionar los servidores remotos y una amplia gama de herramientas para una sola interfaz. También incorpora el servidor X11, que permite visualizar las gráficas Linux o Unix en Windows (ver Figura 31), simplificando la transferencia de datos con las conexiones SSH. Gracias a su capacidad multifunción permite operar simultáneamente entre múltiples servidores [53].



*Figura 31 Software MobaXterm. Fuente: [53].*

- **EMQX:** Es una plataforma encargada de la administración de datos por medio del protocolo MQTT que habilita y gestiona las aplicaciones IoT y el entorno de datos en tiempo real. En la Figura 32 muestra su arquitectura distribuida y escalable que es de gran ayuda, ya que soporta más de 100 millones de conexiones en uno solo nodo. Además, las reglas SQL facilitan la extracción, filtrado, enriquecimiento y transformación de los datos en tiempo real. EMQX optimiza la administración y monitoreo de datos, mejorando significativamente la confiabilidad y seguridad de la información transmitida [54].



*Figura 32 Plataforma EMQX Fuente: [54].*

- **VPS:** El servidor privado virtual (VPS), es un simulador de servidores que se encuentra dentro de un servidor físico más grande. Este permite que el usuario tenga

el control total sobre el mismo espacio, que se los designan como CPU, RAM (ver Figura 33), lo que lo hace ideal para proyectos que necesiten un alto desempeño al de un hosting compartido. Los VPS son escalables lo cual permite el ajuste de recursos según lo que se necesite. También pueden ser administrados o no. Un VPS administrado se encarga de las actualizaciones y mantenimientos, en el caso de los no administrados el usuario tiene el control total, que es controlado por aquellos que tienen los conocimientos necesarios, ya que ellos prefieren personalizarlo a profundidad [55].



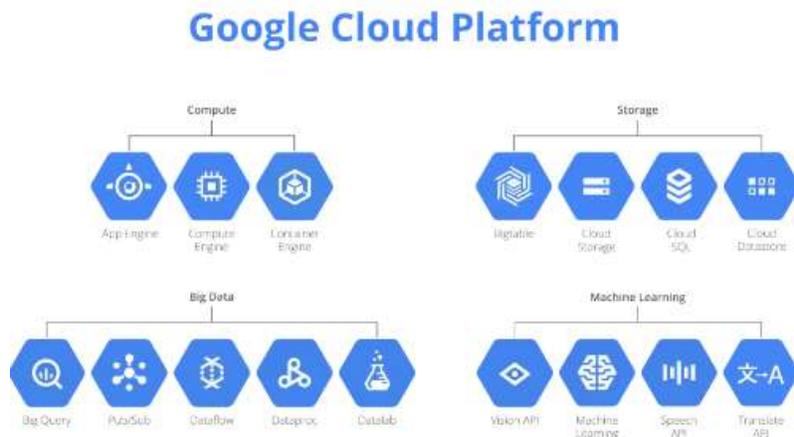
*Figura 33 Servidor virtual privado. Fuente: [55].*

- **SSH:** Es un protocolo de red que permite establecer una red remota y segura mediante encriptaciones avanzadas, para proteger el envío de datos. Es mayormente utilizado para la administración de redes puesto que permiten que el usuario pueda enviar y gestionar de manera segura los dispositivos conectados a la red, ya sean enrutadores y conmutadores, para que la información no quede expuesta a terceros. El tipo de cifrado que utilizan son dos el simétrico y asimétrico, en el caso del simétrico emplea una clave compartida para encriptar y desencriptar la comunicación, mientras que el asimétrico utiliza pares de claves públicas y privadas, en el cual solo la clave privada puede descifrar la información de la clave pública. El asimétrico es utilizado para autenticar usuarios y dispositivos, ya que con la sesión SSH se realiza el intercambio de claves públicas para realizar la conexión como se muestra en la Figura 34 [56].



*Figura 34 Protocolo de red SSH. Fuente: [56].*

- Google Cloud:** Es una herramienta que tiene diferentes servicios en la nube que ofrece Google y permite a los usuarios construir, desplegar y escalar aplicaciones sin la necesidad de tener una infraestructura física. Es un conjunto de infraestructuras y servicios que Google emplea internamente y que ahora está disponible para cualquier organización, permitiendo su aplicación en diversos procesos empresariales. En la Figura 35 se muestra que Google Cloud reúne todas las herramientas en la nube de Google que anteriormente se ofrecían de forma independiente. Este conjunto de servicios abarca una amplia variedad de funcionalidades, que incluyen desde aprendizaje automático e inteligencia artificial [57].



*Figura 35 Software Google Cloud. Fuente: [57].*

#### 3.1.2.4. Plataforma de Monitoreo

El monitoreo de oleaje es importante para entender y estudiar los diferentes fenómenos marinos, como también para la prevención de riesgos que están relacionados con el oleaje en las áreas que se encuentran cercanas a la costa. El desarrollo de una plataforma de monitoreo en tiempo real es de mucha importancia para informar de las condiciones en la que se encuentra el océano, esencialmente las que se puede visualizar los datos de una manera intuitiva y accesible. Existen varias plataformas que cumplen con estos requisitos como es la plataforma Grafana, la cual es muy utilizada debido a su capacidad de integrar diferentes tipos de fuentes de datos y su versatilidad para crear dashboards interactivos.

Grafana es una plataforma web de software libre para la visualización de datos, que son utilizados para el monitoreo y análisis de datos en tiempo real (ver Figura 36). Permite incorporar diversas fuentes y crear paneles de control, cuadros de alertas e historial, desde los datos son obtenidas de diferente fuente, para facilitar la supervisión de datos [58].



*Figura 36 Software Grafana. Fuente [58].*

Para este proyecto se propone el diseño y la implementación de una plataforma de monitoreo de oleaje creada por Grafana, la cual tiene como finalidad la recopilación y análisis de los datos obtenidos como: temperatura, presión y altura de la ola, ya que se registran y transmiten en tiempo real mediante el protocolo de comunicación inalámbrica LoRa. Los datos obtenidos son enviados al servidor central, donde se van ir almacenando y procesando, para que posteriormente el usuario pueda acceder a ellos.

### 3.1.2.5. Software de Diseño

El uso de la herramienta de diseño Autodesk Revit, tiene un papel importante para el desarrollo y modelado del sistema, ya que permite diseñar, simular y visualizar a detalle la integración de todos los componentes físicos que integran el sistema de monitoreo, como lo es la boya la cual se encontrará expuesta a condiciones climáticas adversas del entorno marino. Mediante el modelado 3D, se puede conocer el comportamiento y disposiciones físicas del sistema, permitiendo posteriormente evaluar en campo la estabilidad y durabilidad del mismo.

Revit es una herramienta que se especializa en diferentes tipos de modelado y siendo utilizada en diversos proyectos arquitectónicos como la construcción, y en la ingeniería para modelar sistemas complejos (ver la Figura 37), el programa tiene la capacidad para crear modelos en 3D que no solo representan la geometría si no también permite incorporar especificaciones técnicas, como el cálculo de cargas y materiales. Una de las funcionalidades más destacadas de Revit es su sistema de diseño paramétrico, que no solo sincroniza de manera automática las vistas y planos en diferentes escalas, sino que también permite realizar análisis de interferencias y revisiones coordinadas. También brinda herramientas avanzadas para la simulación de los materiales, análisis de estructura y optimiza el proceso del diseño y construcción [59].



*Figura 37 Software autodesk Revit. Fuente: [59].*

Este proyecto se enfoca en el diseño y modelado 3D del sistema de monitoreo, utilizando el programa Revit, el cual lo componen sensores, módulos de comunicación y la implementación de un módulo de alimentación mediante panel solar, todo a través del modelado, el cual busca garantizar la fiabilidad de la estructura y funcionalidad de la boya, para así poder integrar los componentes electrónicos que conforman el sistema de monitoreo y también obtener el máximo rendimiento de energía solar para asegurar la autonomía del sistema .

## **3.2. DISEÑO DE LA PROPUESTA**

En esta sección se presenta el diseño e implementación del hardware y software para el sistema de monitoreo de oleaje basado en módulos emisores y receptores con tecnología LoRa. Se inicia con la representación del hardware del sistema autónomo enfocado en la recolección y transmisión de datos en tiempo real desde zonas marítimas. Se incluye el diseño de un sistema de alimentación solar para avalar la autonomía energética, el desarrollo del módulo emisor con sensores y comunicación LoRa, y el módulo receptor para la transferencia de datos hacia la nube.

Para garantizar un rendimiento óptimo y la sostenibilidad en entornos marinos, se desarrolló un diseño de PCBs que integra sensores de alta precisión para medir variables ambientales clave, como temperatura y salinidad. Además, se diseñó una estructura CAD de boya, reforzada con materiales resistentes a la corrosión marina, así como cajas protectoras que aseguran la integridad de los componentes electrónicos antes impactos y filtraciones de agua. En el ámbito de software, se implementaron algoritmos para la recolección y transmisión de datos en tiempo real, optimizados para reducir el consumo de energía. La plataforma de monitoreo en la nube fue elaborada en Google Cloud, utilizando sus capacidades de análisis y almacenamiento. Herramientas como PuTTY y MobaXterm se configuraron para facilitar el control de manera remota del sistema, lo que resultó especialmente útil durante las pruebas de campo. También se define la aplicación de técnicas como el filtrado de ventana y la clasificación de oleajes, avalando la precisión en los datos y eficiencia en la operación del sistema.

### **3.2.1 Diseño e Implementación del Hardware**

La propuesta de diseño e implementación del hardware para un sistema de monitoreo de oleaje nace de la necesidad de contar con una solución autónoma y eficiente para recopilar y transmitir datos en tiempo real desde zonas costeras o marítimas (ver la Figura 38), donde el acceso a la red eléctrica es limitado o nulo. Este diseño es fundamental porque permite la observación continua de variables importantes como altura de ola, temperatura y presión, lo cual es crucial para estudios ambientales, actividades de navegación y alertas tempranas en la prevención de riesgos.

Para cumplir con estos objetivos, se desarrolló un sistema de alimentación solar que asegura la autonomía energética del dispositivo, incluso en condiciones de baja radiación, mediante el uso de un panel solar, un regulador de carga y una batería de respaldo. Además, se empleó un módulo de comunicación LoRa para transmitir los datos recopilados a largas distancias con bajo consumo de energía, facilitando así la actualización en tiempo real de la plataforma de monitoreo Grafana. Este diseño, apoyado por modelado CAD en 3D, buscó optimizar la disposición y protección de los componentes electrónicos en el entorno marino, asegurando un funcionamiento continuo y una adecuada sostenibilidad energética para aplicaciones de monitoreo remoto. A continuación, se abordará con mayor detalle el diseño y las conexiones eléctricas de los diferentes dispositivos que conforma el sistema de monitoreo de oleaje.



*Figura 38 Sistema de Monitoreo Marítimo con Sensores y Alimentación Autónoma. Fuente: Autoría propia*

### 3.2.1.1 Sistema de Alimentación Solar

El sistema de alimentación solar para el módulo de monitoreo de oleaje está conformado por un panel solar capaz de proporcionar la energía necesaria al sistema y fue dimensionado teniendo en cuenta factores críticos como la capacidad del panel y de la batería de respaldo, el consumo de voltaje y corriente de cada componente electrónico, y el tiempo de operación requerido. Este sistema autónomo, está pensado para operar en entornos remotos, facilitando la captura de datos sobre el oleaje y su transmisión a un puerto de monitoreo en una plataforma web.

En el siguiente apartado se explicará el análisis de consumo de energía de todos los dispositivos que conforman el sistema de transmisión y en base a lo cual posteriormente se dimensionó el sistema de alimentación solar. Luego se mostrarán los diferentes esquemas de conexión eléctrica del sistema de alimentación fotovoltaica.

#### Análisis del Consumo de Energía

En este apartado se realiza el análisis de consumo de energía en base a los diferentes dispositivos eléctricos que conforma el sistema de transmisión, los cuales se encuentran localizados sobre la estructura de la boya. En la Tabla 9 se muestra los equipos junto a sus parámetros eléctricos de consumo con carga y sin carga.

*Tabla 9 Valores de consumo del circuito emisor*

<b>Componentes</b>	<b>Voltaje de operación</b>	<b>Corriente sin carga</b>	<b>Corriente máxima bajo carga</b>
<b>ESP32</b>	3.6V	10Ma	100 mA
<b>MPU9250 GY-87</b>	3.6V	3.9Ma	3.9 mA
<b>DS18B20</b>	5.5V	1 $\mu$ A	1.5 mA
<b>LoRa</b>	3.7V	2 $\mu$ A	130 mA

Tomando en consideración la corriente máxima y el voltaje de operación del módulo ESP32 y los sensores conectados al mismo, se calculan las siguientes potencias de consumo:

- Módulo ESP32:

$$P_{ESP32_e} = I * V = (100mA) * 3.6V = 0.36W$$

- Sensores:

$$P_{MPU9250} = I * V = (3.9mA) * 3.6V = 0.01404W$$

$$P_{DS18B20} = I * V = (1.5mA) * 5.5V = 8.25mW$$

- Módulo de comunicación

$$P_{LoRa} = 3.7V * 130mA = 0.481W$$

El consumo total del circuito emisor es la suma de las potencias obtenidas por los componentes que lo conforman:

$$P_{emisor} = P_{ESP32_e} + P_{MPU9250} + P_{DS18B20} + P_{LoRa}$$

$$P_{emisor\_3d} = 0.36W + 0.01404W + 8.25mW + 0.481W = 0.86329W$$

$$P_{diaria} = P_{emisor} * 24h$$

$$P_{diaria} = 0.86329W * 24h = 20.71896 Wh$$

Si se elige un panel que genere 5W de potencia y se considera 5 horas de radiación solar pico al día, se tendrá la siguiente energía generada por el panel:

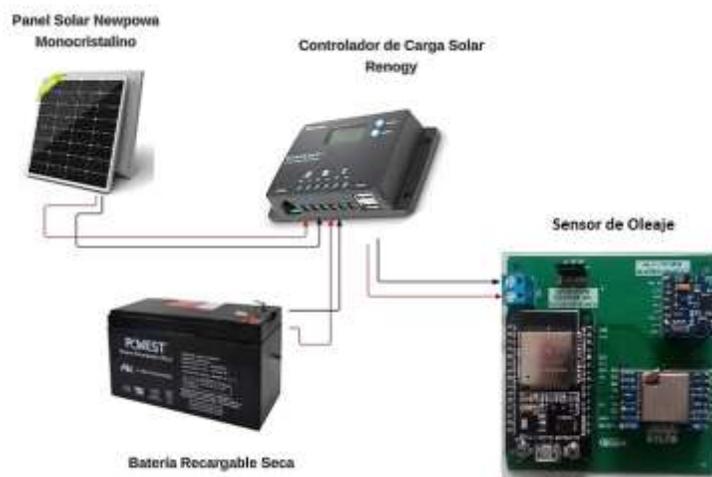
$$E_{solar} = 5 W * 5 h = 25 Wh$$

Este valor de 25 Wh de energía solar en comparación con los 20.72 Wh de consumo total de los equipos del sistema de transmisión, indica que el panel seleccionado es capaz de abastecer de energía a todo el circuito transmisor de monitoreo, ya que la energía requerida es menor a la que genera el panel solar considerando la hora pico mencionada. Pero existirán casos en donde se produzca disminuciones en el tiempo de radiación solar, por lo cual se consideró colocar una batería recargable de 12 V 7Ah como alternativa de alimentación y de esta manera permitir que el sistema pueda seguir funcionando con normalidad.

Para garantizar un suministro energético continuo, el panel solar de 5W se complementa con un regulador de carga y una batería de 12V 7Ah, asegurando que el sistema funcione de manera estable incluso en condiciones de baja radiación solar.

### Esquema Eléctrico Fotovoltaico

La Figura 39 muestra el esquema eléctrico fotovoltaico destinado a proporcionar energía al sistema de transmisión de monitoreo de oleaje. Este sistema de alimentación se compone de un panel solar de 5W 12V monocristalino, un regulador de carga solar y una batería recargable de 12 V 7 Ah (según el análisis de consumo de energía realizado en el apartado anterior), La batería permite optimizar la obtención, almacenamiento y distribución de la energía solar de manera eficiente.



*Figura 39 . Esquema eléctrico fotovoltaico. Fuente: Autoría propia*

El panel fotovoltaico transforma la radiación solar en energía eléctrica en DC, la que es regulada por el controlador de carga. Este dispositivo cumple la función de proteger el sistema sobre posibles sobrecargas y fluctuaciones de voltaje, lo que permite prolongar la vida útil de la batería. La energía almacenada en la batería permite que el sensor de oleaje trabaje de forma continua aun sin luz solar.

En la Figura 40 se puede observar la disposición real de todos los que conforma el sistema transmisor junto con la fuente de alimentación solar. Los dispositivos fueron colocados estratégicamente para garantizar la operación de manera continua del sistema emisor. El panel solar ubicado en la parte superior de la caja de registro metálico es el responsable de

captar la luz solar para transformarla en electricidad de corriente continua. Este componente es la fuente principal para alimentar todo el sistema de transmisión así como a la batería que sirve como fuente de energía de respaldo. La disposición del panel que se muestra en la Figura 39 es la más óptima ya que después de varias pruebas se corroboró que esta permite una mejor recepción de luz solar, maximizando la eficiencia en la generación de energía.

El controlador de carga solar se encuentra en la parte interna superior de la caja y cumple la función de regular la energía generada por el panel solar. La tarea principal de este equipo es prevenir sobrecargas y descargas de la batería para así optimizar el flujo de energía hacia los dispositivos que se encuentren conectados al mismo y así prolongar la vida útil de la batería. El controlador también tiene incorporado una pantalla de visualización encargada de mostrar los datos en tiempo real, como la energía solar que genera el panel, el estado de carga de la batería y la corriente que provee, todo ello facilita el monitoreo y gestión de energía del sistema.

La batería seca, que se encuentra ubicada en la parte inferior es la encargada de almacenar energía que produce el panel solar para proporcionar energía estable y continua. La batería permite que el sistema funcione cuando llegue la noche o en condiciones donde haya baja radiación solar para asegurar la autonomía de energía en el sistema emisor.



*Figura 40 Implementación de sistema de alimentación solar. Fuente: Autoría propia*

El esquema eléctrico diseñado e implementado produce una fuente de energía limpia y renovable, lo que permite que el sistema de monitoreo pueda trabajar en lugares donde no se disponga de red eléctrica, ya sea en zonas costeras o marítimas. El sistema aporta a la sostenibilidad ambiental y a la independencia energética, lo que facilita la obtención de datos de oleaje.

### **3.2.1.2 Sistema Electrónico del Módulo Emisor**

En la Figura 41 se muestra las conexiones del circuito emisor encargado de recopilar los datos obtenidos por los sensores. El circuito emisor está compuesto por el módulo microcontrolador ESP32 encargado de obtener los datos de los sensores MPU9265 GY-87 y el sensor de temperatura DS18B20. Además, este circuito cuenta con un módulo de comunicación LoRa que es el encargado del envío de datos de forma inalámbrica.

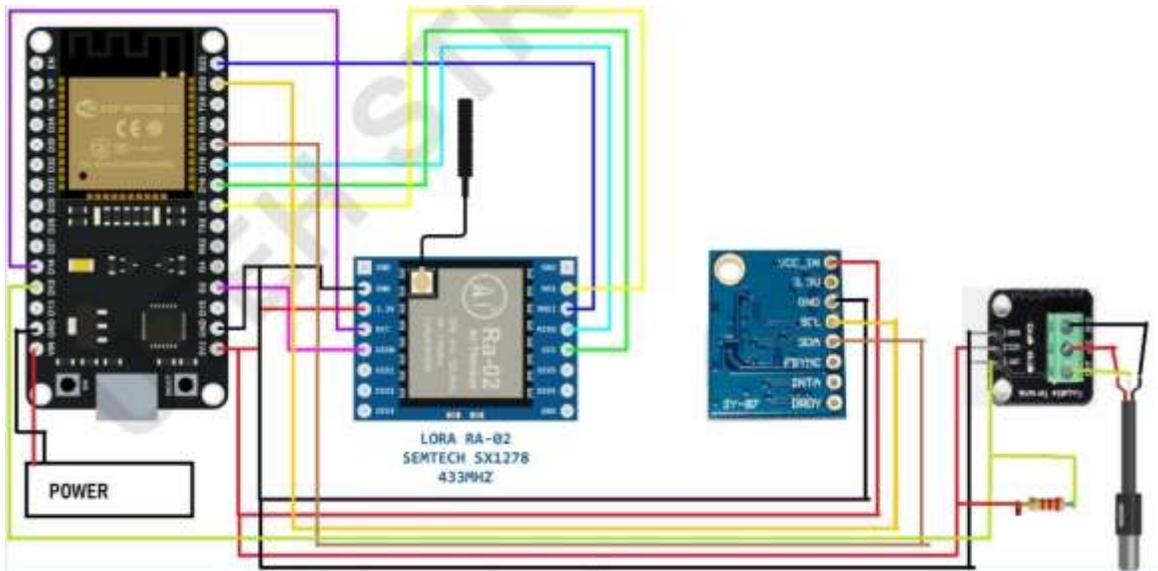


Figura 41 Diagrama de conexión del emisor. Fuente: Autoría propia

En la Figura 42 se puede observar las conexiones entre los pines digitales del microcontrolador ESP32, los sensores y el módulo de comunicación LoRa. Todos los dispositivos son alimentados por sus pines GND y VCC. En la Tabla 10 se indican los diferentes pines utilizados del módulo ESP32 para el envío y recepción de datos de los diferentes componentes del sistema emisor mostrado en la Figura 40.

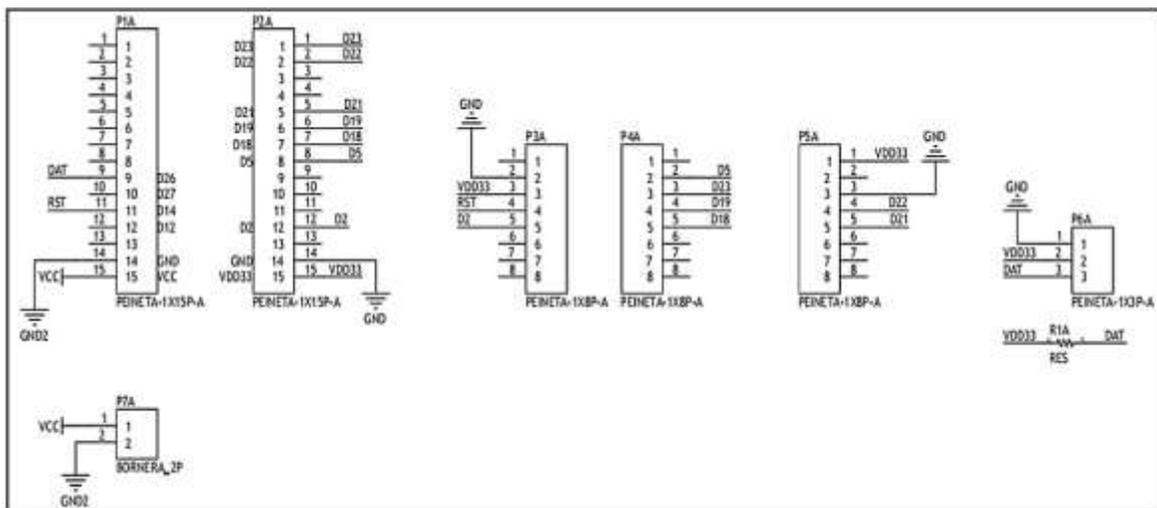


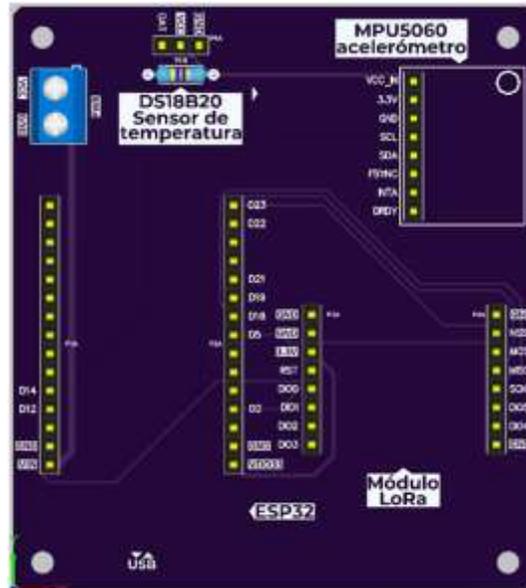
Figura 42 Diagrama de conexiones emisor Fuente: Autoría propia

**Tabla 10 Pines digitales a utilizar para la obtención y envío de datos**

<b>Sensores y Módulos</b>	<b>Pines del ESP32</b>	<b>Descripción</b>
MPU5060	D21	Pines utilizados para la lectura de datos del sensor
	D22	
DS18B20	D26	Pin encargado de la lectura de temperatura del sensor
Modulo LoRa	D5	Pines utilizados para la obtención de datos para después enviarlos al receptor.
	D18	
	D19	
	D23	

Para obtener los datos del sensor MPU9265 GY-87 se han conectado los pines SCL y SDA a los pines digitales D21 y D22 del módulo ESP32. El sensor MPU9265 GY-87 proporcionara datos sobre nivel de oleaje, presión atmosférica y temperatura. Para obtener los datos del sensor de temperatura DS1B20 se usará el pin DATA del sensor que estará conectado al pin digital D26; este dato permitirá posteriormente realizar una comparativa de temperaturas con el sensor MPU9265 GY-87. Por último, se realizó la conexión del módulo de comunicación LoRa empleando los pines RST, DI00, NSS, MOSI, MISO y SCK, junto con los pines digitales D14, D2, D5, D18, D19 y D23 del módulo ESP32, como se muestra en la Figura 42.

En la Figura 43 se muestra el diseño 3D de la PCB donde se colocaron los diferentes dispositivos mencionados anteriormente. La PCB fue diseñada tomando en consideración que su interpretación en el momento de la colocación de los diferentes dispositivos sea fácil para cualquier usuario, es decir, en ella se han estampado mediante etiquetas todos los nombres de los elementos del sistema de trasmisión, así como el esquema representativo de cada uno junto con las etiquetas de todos sus pines.



*Figura 43 Diagrama de conexiones emisor Fuente: Autoría propia*

La Figura 44 muestra la estructura física del circuito eléctrico del sistema de transmisión de datos. La caja protectora organiza los componentes y conecta la antena externa al módulo LoRa para mejorar la recepción y transmisión de la señal inalámbrica. También cuenta con conectores y cables de conexión para facilitar la integración con el resto del sistema de sensor de olas. Esta conexión captura y transmite eficazmente variables como altura de las olas, temperatura, presión en tiempo real.



*Figura 44 Prototipo de sensor emisor. Fuente: Autoría propia*

### 3.2.1.3 Sistema Electrónico del Módulo Receptor

En la Figura 45 se muestra la conexión de todos los elementos que componen el circuito receptor. El microcontrolador ESP32 incorpora un módulo WiFi que permite subir los datos obtenidos desde el emisor hacia la página web. El módulo LoRa conectado a varios pines del módulo ESP32 del sistema receptor será el encargado de establecer la comunicación con el sistema de transmisión ubicado sobre la estructura de la boya.

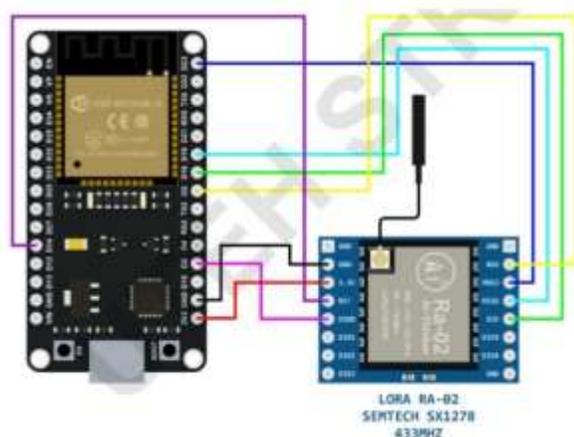


Figura 45 Diagrama de conexión del receptor. Fuente: Autoría propia

En la Figura 46 se puede observar las conexiones entre los pines digitales del microcontrolador ESP32 y el módulo de comunicación LoRa del sistema receptor. Todos los dispositivos son alimentados por sus pines GND y VCC. En la Tabla 11 se indican los diferentes pines utilizados del módulo ESP32 para establecer la comunicación con el módulo LoRa.

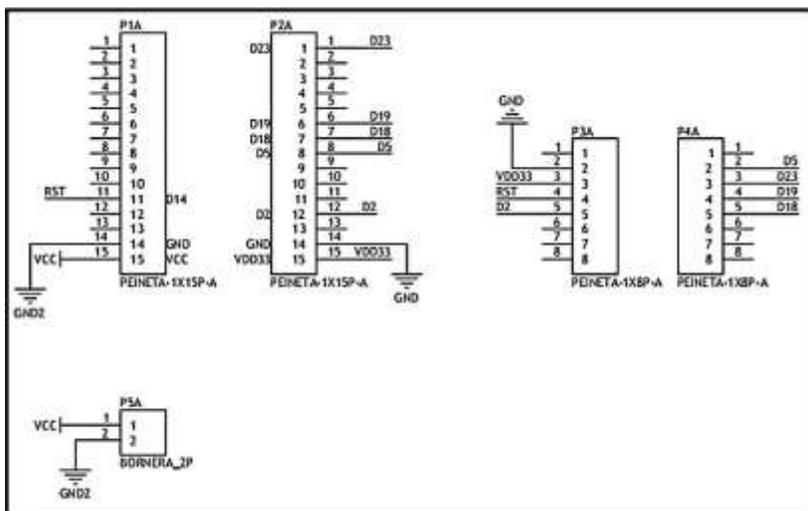


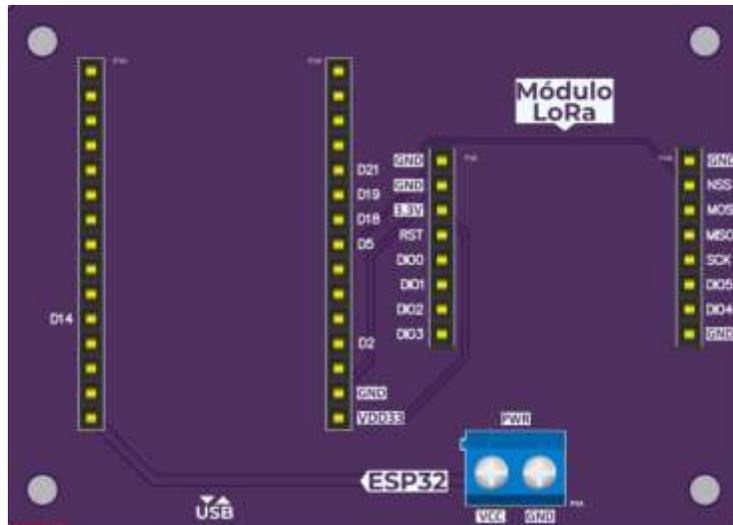
Figura 46 Diagrama de conexiones del receptor. Fuente: Autoría propia

**Tabla 11 Pines digitales a utilizar para la obtención y envío de datos**

<b>Modulo LoRa</b>	<b>Pines del ESP32</b>	<b>Descripción</b>
DIO0	D2	Todos los pines utilizados en el microcontrolador estarán encargados de la recepción de los datos, para que dichos datos sean mostrados en una página Web.
NSS	D5	
RST	D14	
SCK	D18	
MISO	D19	
MOSI	D23	

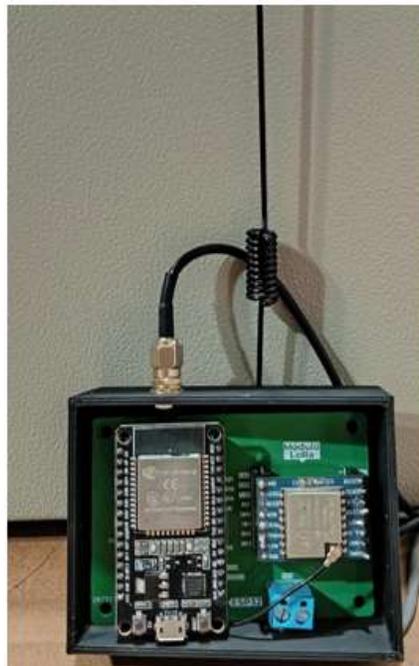
En la Tabla 11 se puede observar que se han empleado los pines digitales del D2, D5, D14, D18, D19 y D23 para establecer las comunicaciones entre el microcontrolador ESP32 el módulo LoRa. En el caso del pin NSS del módulo LoRa se encuentra conectado al pin D5 y es el encargado de la selección de chip en la comunicación SPI; el pin MOSI conectado al pin D23 corresponde al canal de datos de salida del microcontrolador hacia el módulo; el pin MISO conectado al pin D19 es el canal de entrada de datos del microcontrolador al módulo; el pin SCK conectado al pin D18 es el reloj para la comunicación SPI del módulo LoRa y por último el pin DIO0 sirve para interrumpir y señalar el estado del protocolo LoRa.

En la Figura 47 se muestra el diseño 3D de la PCB donde se ubicarán el microcontrolador ESP32 y módulo de comunicación LoRa. La PCB fue diseñada tomando en consideración que su interpretación en el momento de las colocaciones de los diferentes dispositivos sea fácil para cualquier usuario, es decir, en ella se han estampado mediante etiquetas todos los nombres de los elementos del sistema de transmisión, así como el esquema representativo de cada uno junto con las etiquetas de todos sus pines.



*Figura 47 Diseño PCB 3D del receptor. Fuente: Autoría propia*

La Figura 48 muestra como quedó implementado físicamente el circuito eléctrico del sistema de recepción de datos. La caja protectora alberga los componentes de manera organizada, y se ve una antena externa conectada al módulo LoRa para mejorar la recepción de señales inalámbricas. Este receptor permite la captura eficiente en tiempo real de variables claves sobre el oleaje, enviadas por el transmisor desde la ubicación de medición en la boya. Posteriormente estos datos son subidos a la nube para ser monitoreados en la plataforma de Grafana.

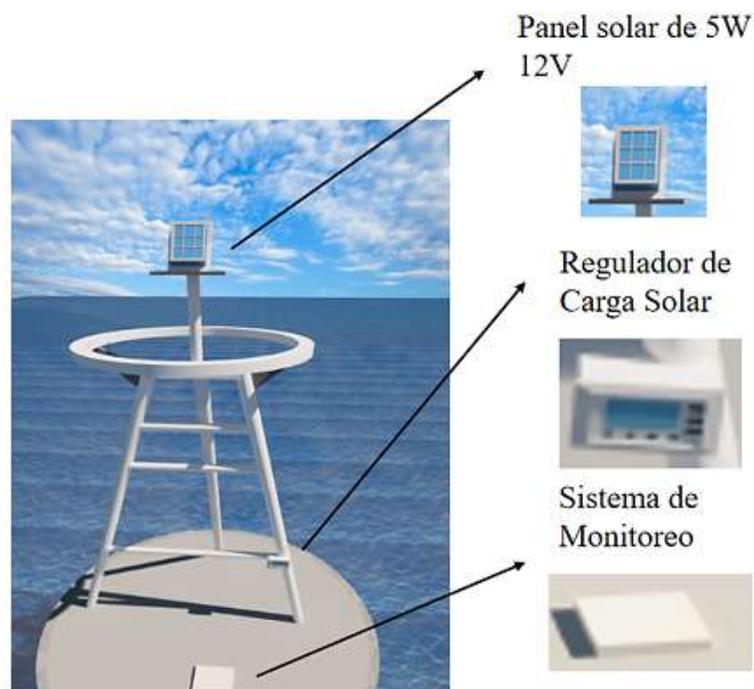


*Figura 48 Prototipo de sensor receptor. Fuente: Autoría propia*

### 3.2.1.4 Diseño CAD del Sistema de Monitoreo

En la Figura 49 se muestra el diseño CAD de la estructura de la boya junto con todos los equipos del sistema de transmisión, los cuales fueron modelados utilizando el programa Revit. Para modelar la boya se necesitaron los datos de sus dimensiones como la altura y el radio de la base. Este diseño inicial permitió determinar los lugares estratégicos donde se colocarían los diferentes equipos, así como determinar la mejor disposición del panel solar utilizado en el sistema de alimentación.

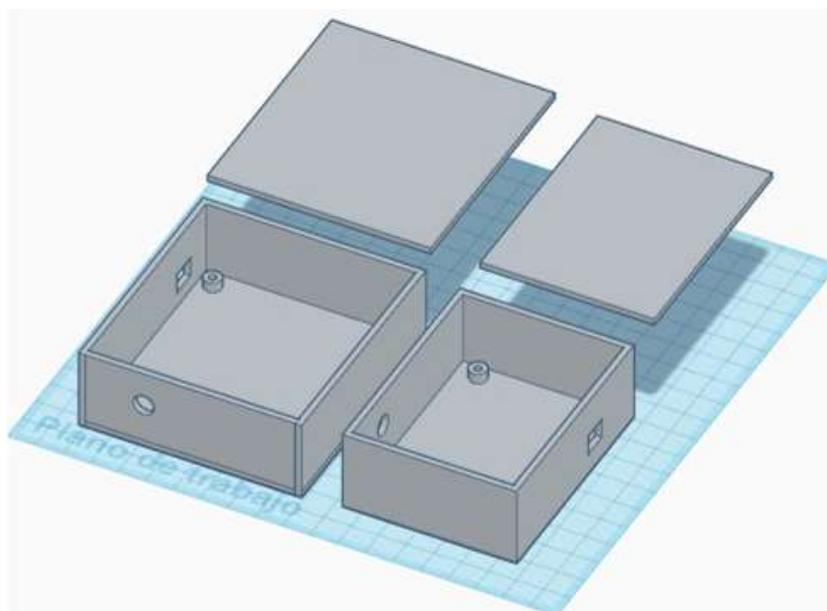
En la Figura 49 se muestra la ubicación virtual del panel solar de 5W 12V cual está colocado en la parte superior para una mejor resección de la luz solar. El regulador de carga solar se lo ubico en la parte baja de la estructura para que esta cerca del sistema de transmisión y así facilitar la alimentación del circuito.



*Figura 49 Modelado global 3D de la Boya. Fuente: Autoría propia*

En la Figura 50 se muestra el diseño CAD en 3D de las cajas protectoras de los equipos que disponen del transmisor y receptor del sistema de monitoreo de oleaje. El diseño se constituye de dos cajas rectangulares, cada una con una tapa extraíble. Cada caja cuenta con hendiduras laterales para los cables y conexiones externas, así como pequeños puntos de soporte para la conexión de componentes electrónicos. Este diseño legaliza la seguridad de los módulos

electrónicos, aprobando fácilmente accesibilidad para el mantenimiento y conexión de equipos auxiliares.



*Figura 50 Diseño CAD en 3D de cajas protectoras. Fuente: Autoría propia*

### **3.2.2 Diseño e Implementación del Software**

El diseño e implementación del software para los módulos emisor y receptor se realizó con el objetivo de crear un sistema de monitoreo eficiente y efectivo. Por otro lado, en el caso del módulo transmisor, se desarrolló un algoritmo que recopila de datos ambientales como la temperatura y la presión mediante sensores especiales. Este programa, que trabaja junto con el módulo físico se encarga de transmitir la información a través de un módulo LoRa, lo que permite una comunicación a larga distancia y de bajo consumo energético.

Por otro lado, el algoritmo del módulo receptor tiene la función de capturar y procesar los datos enviados por el módulo transmisor. El receptor está basado en un microcontrolador ESP32, seleccionado por su capacidad para manejar múltiples interfaces de comunicación y su eficiencia energética. Este dispositivo facilitó la recepción de datos provenientes de los sensores como la temperatura y la humedad, se procede a enviar la información a la plataforma en la nube, configurada en Google Cloud, para un análisis posterior. La implementación de algoritmo como el protocolo de transmisión basado en MQTT, es clave para garantizar un buen funcionamiento ya sea fluido y confiable, permitiendo un monitoreo

en tiempo real sobre las condiciones ambientales en entorno marinos. Durante las pruebas en campo este enfoque demostró ser esencial para detectar rápidamente cambios críticos en las variables monitoreadas.

Además, la implementación del software no solo hizo que los datos estuvieran disponibles para los usuarios a través de un panel interactivo en línea, sino que también permitió integrar herramientas de análisis que facilitaron la toma de decisiones. A continuación, se explicarán con detalle las configuraciones de funcionamiento de los algoritmos de programación tanto del emisor como del receptor.

### **3.2.2.1 Algoritmo de Programación del Módulo Emisor**

En la Figura 51 se muestra el diagrama de flujo general que describe el funcionamiento del sistema emisor encargado de la adquisición y procesamiento de los datos obtenidos de los diferentes sensores. Cada sensor tiene asignado diferentes pines, el proceso comienza con la inicialización de los componentes esenciales, como lo es el módulo de comunicación LoRa, el sensor de presión-temperatura BMP085 y el sensor de temperatura DS18B20, para asegurar que todos los dispositivos estén operativos para la recopilación de los datos.

Una vez iniciado, los datos se almacenan en variables. Para la estimación de la altura de las olas, se emplea un filtrado basado en buffer circular, el cual permite promediar las mediciones en intervalos temporales diferentes, para asegurar que los datos sean más precisos y libres de perturbaciones aleatorias. El dato obtenido de altura de las olas es un parámetro importante para el sistema de monitoreo.

Ya con los datos obtenidos de los sensores, se procede a consolidar la información en un solo mensaje en formato String, para que pueda ser fácilmente enviado por medio el protocolo de comunicación LoRa. Este paso es crucial, ya que garantiza que la información se transmita correctamente al receptor, encargo de subir los datos a la plataforma web para su análisis y visualización en tiempo real. Para verificar que el sistema funcione adecuadamente, los datos también se imprimen en el monitor serial, permitiendo identificar rápidamente posibles errores durante las pruebas iniciales.

A continuación, se describe las configuraciones fundamentales del algoritmo utilizando el módulo transmisor. Entre los apertoso destacados se incluyen las configuraciones de las

credenciales de conexión Wi-Fi, la gestión de paquetes de datos y la implementación de protocolos como MQTT, fundamentalmente para asegurar una comunicación fiable y eficiente entre los dispositivos.

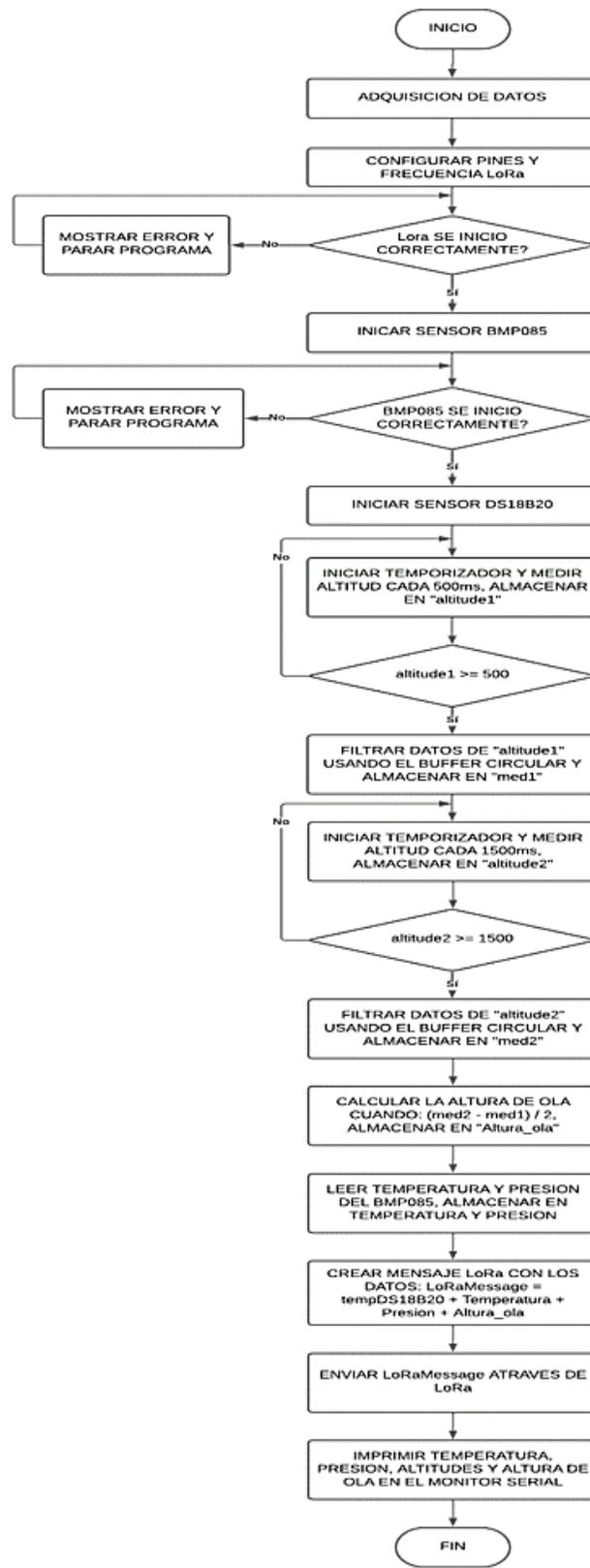
### **Medición de Presión, Altura de Ola y Temperaturas**

Para medir estos parámetros, se empleó el sensor BMP085, un dispositivo confiable para monitorear la presión atmosférica y la temperatura en sistemas ambientales. La comunicación entre el microcontrolador y el sensor se llevó a cabo utilizando la librería *Adafruit\_BMP085*, conocida por su facilidad de integración y soporte robusto. En la función `setup()`, se inicializó el sensor BMP085 y se verificaron sus conexiones eléctricas. Durante las pruebas de campo, este sensor permitió registrar variaciones en la presión que correlacionaron con cambios en la altura de las olas.

Posteriormente, en el bucle principal `loop()`, se utilizaron las funciones `bmp.readPressure()` y `bmp.readTemperature()` para obtener la presión en Pascales y para medir la temperatura en grados Celsius, respectivamente (ver la Figura 52). Esta configuración permitió recopilar datos precisos sobre las condiciones ambientales, lo cual fue esencial para el análisis del oleaje.

```
1. // Obtener datos de temperatura y presión del BMP085
2.   Temperatura = bmp.readTemperature();
3.   Presion = bmp.readPressure();
4.
```

**Figura 51 Funciones de presión y temperatura. Fuente: Autoría propia**



/

Figura 52 Diagrama de flujo del Trasmisor. Fuente: Autoría propia

Para calcular la altura de la ola, se utilizó la función `bmp.readAltitude()` que permitió determinar la altitud del sensor BMP085 en dos instantes diferentes. A las dos mediciones de altitud se les aplicó un filtro que permitió suavizar los resultados. Posteriormente, estos dos valores se restaron para obtener la altura de la ola, tal como se muestra en el extracto del código en la Figura 53.

```
1. // Medir altitudes y calcular altura de ola
2. start_time = millis();
3. while(millis() - start_time < 500) {
4.     altitude1 = bmp.readAltitude();
5.     med1 = Agregar_Valor(altitude1);
6. }
7. 8. start_time = millis();
9. while(millis() - start_time < 1500) {
10.    altitude2 = bmp.readAltitude();
11.    med2 = Agregar_Valor(altitude2);
12. }
13. 14. Altura_ola = (med2 - med1) / 2;
```

**Figura 53 Código de mediciones de altitud. Fuente: Autoría propia**

Para determinar la temperatura del sensor Dallas DS18B20, se utilizaron las librerías `OneWire.h` y `DallasTemperature.h`, Dentro del bucle principal `loop()`, se hizo una solicitud para leer una temperatura mediante la función `sensors.requestTemperatures()`, lo que permitió al sensor tomar una lectura precisa. Posteriormente, se recuperó el valor de temperatura utilizando la función `sensors.getTempCByIndex(0)`, que devolvió la temperatura en grados Celsius como se muestra en las líneas de códigos de la Figura 54. Esta configuración garantizó la obtención de datos confiables sobre la temperatura, esenciales para el análisis del oleaje

```
1. void loop() {
2.     // Obtener temperatura del DS18B20
3.     sensors.requestTemperatures();
4.     tempDS18B20 = sensors.getTempCByIndex(0);
5. }
```

**Figura 54 Código obtención de temperatura DS18B20. Fuente: Autoría propia**

## Implementación del Filtro de Ventana

Como se mencionó anteriormente, para obtener datos más precisos, se optó por implementar un filtrado por ventana, lo que permitió obtener lecturas confiables al suavizar los datos provenientes del sensor barométrico. El filtrado por ventana es una técnica que permitió suavizar datos ruidosos (fluctuaciones y ruidos en las mediciones) mediante promedios móviles. En este caso, se utilizó un buffer circular para almacenar las últimas 20 mediciones de altitud. A medida que se agregaron nuevas lecturas, se eliminaba la más antigua, lo que garantizó que siempre se esté calculando los medios sobre un conjunto fijo de datos recientes. A continuación, se muestran los pasos del desarrollo del filtrado por ventana.

Para la configuración del filtrado se definió el tamaño de la ventana a través de un valor constante de 20 lo cual significó que el buffer circular en el código se mantendría con un máximo de 20 mediciones. La variable *buffer\_circular*, se utilizó como un conjunto para almacenar las mediciones de altitud, mientras que la variable *Accesor\_de\_bufer\_circular*, se empleó para acceder y manipular las posiciones dentro del buffer (ver la Figura 55).

```
1. //*****FILTRADO*****
3. float med1, med2 ;
4. const int Dimension_de_ventana = 10;
5. int buffer_circular[Dimension_de_ventana];
6. int* Accesor_de_bufer_circular = buffer_circular;
```

*Figura 55 Definiciones de variables para mediciones de altitud. Fuente: Autoría propia*

La función *agregar\_al\_bufer(int valor)*, se desarrolló para agregar valores y calcular los medios (ver la Figura 56). Esta función agrega nuevas mediciones al buffer circular y gestiona el desplazamiento del puntero.

```
1. void agregar_al_bufer(int valor)
2. {
3.     *Accesor_de_bufer_circular = valor;
4.     Accesor_de_bufer_circular++;
6.     // Implementar el buffer circular
7.     if (Accesor_de_bufer_circular >= buffer_circular + Dimension_de_ventana) {
8.         Accesor_de_bufer_circular = buffer_circular;
```

*Figura 56 Código para agregar nuevas mediciones al buffer circular. Fuente: Autoría propia*

Mientras que la función *Agregar\_Valor(int valor)*, fue utilizada para la actualizar la suma total dando el nuevo valor del buffer y calculando la media de las mediciones (ver la Figura 57).

```
1. float Agregar_Valor(int valor)
2. {
3.     sum -= *Accesor_de_bufer_circular; // Restar el valor anterior del buffer
4.     sum += valor; // Agregar el nuevo valor
5.     agregar_al_bufer(valor);
6.     if (Contador_de_elementos < Dimension_de_ventana) {
7.         ++Contador_de_elementos; // Incrementar el número de elementos hasta el tamaño del
buffer
8.     }
9. }
11. return (float)sum / Contador_de_elementos; // Devolver la media
12. }
```

*Figura 57 Definición de la función Agregar\_Valor para calcular la media de las mediciones. Fuente: Autoría propia*

## Configuraciones del Módulo LoRa

Antes de enviar datos con el módulo LoRa, es fundamental configurar correctamente los pines que permiten la comunicación SPI entre el microcontrolador y el módulo. Esta etapa inicial asegura que ambos dispositivos se comuniquen de manera eficiente y efectiva y que los datos se transfieren sin problemas, como, por ejemplo, definir pines como MOSI, MISO, SCK y CS de forma adecuada evita errores comunes, como la pérdida de información o conexiones invalidas durante la transmisión. Luego se estableció la frecuencia de operación del módulo LoRa que se configuro en 433 MHz, que es una banda de frecuencia común para aplicaciones en Europa y otras regiones.

Para enviar datos a través del módulo LoRa, se comenzó creando un nuevo paquete mediante la función *LoRa.beginPacket()*, luego mediante la función *LoRa.print(LoRaMessage())* se agregó el mensaje que se deseaba enviar, para finalmente, enviar el paquete de datos mediante la función *LoRa.endPacket()*; como se muestra en la Figura 58.

```

1. // Crear mensaje LoRa
2.   LoRaMessage = String(tempDS18B20) + "&" + String(Temperatura) + "/" + String(Presion) +
"#" + String(Altura_ola) ;
4.   // Enviar mensaje vía LoRa
5.   LoRa.beginPacket();
6.   LoRa.print(LoRaMessage);
7.   LoRa.endPacket();
8.   Serial.println("Tiempo completo");
9. }

```

*Figura 58 Código de creación de mensajes y envío de paquetes LoRa. Fuente: Autoria propia*

### 3.2.2.2 Algoritmo de Programación del Módulo Receptor

El algoritmo de programación del módulo receptor fue diseñado con la finalidad de facilitar la recepción y el procesamiento de datos del sistema de sensores. Dicho modulo combina una serie de microcontroladores y un módulo LoRa con el objetivo de recolectar información sobre las condiciones ambientales en un entorno marino como son temperatura, presión atmosférica y la altura de las olas. Durante este proceso se implementaron varias funciones que nos permitieron gestionar la comunicación entre los componentes, así como también la transmisión de datos a la plataforma web para un posterior análisis.

El algoritmo garantizó una operación eficiente y confiable, asegurando que los datos recopilados fueran accesibles para su monitoreo y evaluación en tiempo real.

El diagrama de flujo representado en la Figura 59 describe de manera detallada la primera parte del proceso de adquisición y transmisión de los datos relacionados con las condiciones de oleaje. Como primer punto el sistema establece la conexión LoRa, para la recepción de los datos enviados por el emisor, posteriormente serán desglosados en variables claves como temperatura, presión atmosférica y la altura de la ola. Seguidamente, se debe conectar el sistema a una red WiFi, para luego enviar los datos obtenidos al servidor MQTT, ya que es fundamental para visualizar la información en tiempo real en la plataforma Web, para su respectivo análisis. Si en algún momento el sistema no logra conectarse a la red, se ha implementado una estrategia de reconexión automática, que consiste en esperar un tiempo de 10 milisegundos para volverlo a intentar y con ello asegurar la transmisión de datos.

En la Figura 60 se muestra el diagrama de flujo donde nos expone la clasificación de las alturas de las olas el cual se basa en la escala de Beaufort, estos valores de variación se van almacenando en una variable llamada  $f\_altitudReal$ . La programación la lógica que se utilizó para la implementación de las escalas de Beaufort consiste en evaluar la altura de las olas en base a las condiciones que se comparan con el resultado numérico de la variable  $f\_altitudReal$ .

A continuación, se explican las principales configuraciones que se implementaron a lo largo del algoritmo de programación para el módulo receptor, que incluyen la configuración del módulo LoRa, la conexión WiFi, el publicador MQTT y el manejo de datos. En cada sección se muestran partes del código que se usaron la programación general del módulo receptor.



Figura 59 Diagrama de flujo del receptor parte 1. Fuente: Autoría propia

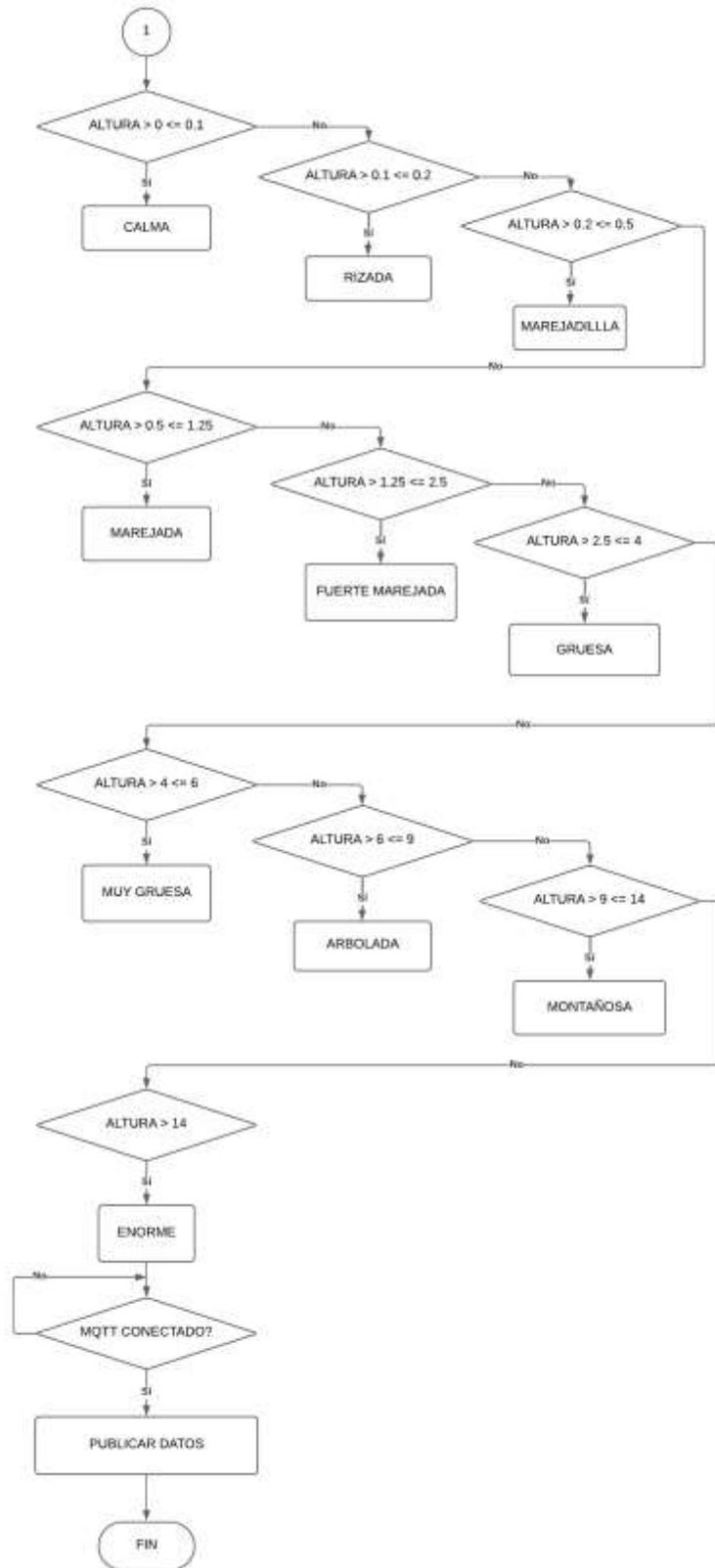


Figura 60 Diagrama de flujo del receptor parte 2. Fuente: Autoría propia

## Configuración del Módulo LoRa

Como punto de partida del algoritmo de programación se definieron los pines necesarios para la comunicación SPI (SCK, MISO, MOSI) y los pines específicos para el módulo LoRa (SS, RST, DIO0). Luego, se inicializo el módulo LoRa en la frecuencia de 433 MHz (ver la Figura 61). Si hubiera un error en la inicialización, se imprime un mensaje y se detiene la ejecución.

```
1. SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS); //Definimos pines SPI
2. LoRa.setPins(SS, RST, DIO0);
3. if (!LoRa.begin(433E6)) { // Frecuencia en MHz
4.     Serial.println("LoRa Error");
5.     while (1);
6. }
7.
```

*Figura 61 Definición de pines y banda de frecuencia. Fuente: Autoría propia*

## Configuración WiFi

Otro punto relevante fue la definición del parámetro SSID y la contraseña de la red WiFi, dentro de la función `setup_wifi()`, en donde se inició la conexión a la red y se esperó hasta que se estableciera correctamente como se muestra en la Figura 62. Una vez la conexión con el receptor, se imprimió la dirección IP asignada al dispositivo.

```
1. //Serial.println(ssid);
2. WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
3.
4. while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
5.     delay(500);
6.     Serial.print(".");
7. }
8.
```

*Figura 62 Configuración para establecer conexión a la red. Fuente: Autoría propia*

## Configuración del Publicador MQTT

En este apartado se definieron las credenciales necesarias para conectarse al servidor MQTT (usuario y clave) y también se especificó la dirección del servidor y el puerto (ver la Figura 63). Los tópicos de publicación se establecieron acorde a cada tipo de dato que se enviaría a través de MQTT.

```

1. // Credenciales Adafruit
2. #define MQTT_USER "web_iot_cliente"
3. #define USER_KEY "web1234abcd"
4. // Servidor
5. #define ADAFRUIT_SERVER "34.123.195.87"
6. #define ADAFRUIT_PORT 1883
7. char ADAFRUIT_ID[30];
8. // Publicar
9. #define TOPIC_DATA_f_tempDS18B20 MQTT_USER "/LoRa/tempDS18B20"
10. #define TOPIC_DATA_f_Temperatura MQTT_USER "/LoRa/Temperatura"
11. #define TOPIC_DATA_f_Presion MQTT_USER "/LoRa/Presion"
12. #define TOPIC_DATA_f_altitudReal MQTT_USER "/LoRa/altitudReal"
13. // Publicar
14. #define TOPIC_DATA_STR MQTT_USER "/LoRa/Ard_Strg"
15. // Suscripción
16. #define TOPIC_DATA_IN MQTT_USER "/LoRa/data_in"
17.

```

*Figura 63 Configuraciones del publicador MQTT. Fuente: Autoría propia*

## **Funciones de Publicación**

Estas funciones permitieron publicar datos en los tópicos definidos anteriormente, verificando si el cliente estaba conectado antes de intentar enviar los datos y mostrando un mensaje en el monitor serial indicando qué datos se estaban publicando (ver la Figura 64).

```

1. // Función para Publicar por MQTT
2. void mqtt_publish(String feed, float val) {
3.   String value = String(val, 2);
4.   if (client.connected()) {
5.     client.publish(feed.c_str(), value.c_str());
6.     Serial.println("Publicando al tópico: " + String(feed) + " | mensaje: " + value);
7.   }
8. }
9.
10. void mqtt_publish_str(String feed, String val) {
11.
12.   if (client.connected()) {
13.     client.publish(feed.c_str(), val.c_str());
14.     Serial.println("Publicando al tópico: " + String(feed) + " | mensaje: " + val);
15.   }
16. }

```

*Figura 64 Funciones de publicación de datos. Fuente: Autoría propia*

## Manejo de Datos Recibidos por LoRa

Se implementó una función encargada de leer los paquetes de datos recibidos por el módulo LoRa, para posteriormente extraer las lecturas específicas utilizando índices para separar cada valor en función del formato esperado. Los valores extraídos fueron almacenados en diferentes variables como se muestra en la Figura 65.

```
1. void getLoRaData() {
2.   Serial.print("Lora packet received: ");
3.   // Read packet
4.   while (LoRa.available()) {
5.     String LoRaData = LoRa.readString();
6.     // LoRaData format: readingID/temperature&soilMoisture#batterylevel
7.     // String example: 1/27.43&654#95.34
8.     Serial.print(LoRaData);
9.
10.    // Get readingID, temperature and soil moisture
11.    int pos1 = LoRaData.indexOf('&');
12.    int pos2 = LoRaData.indexOf('/');
13.    int pos3 = LoRaData.indexOf('#');
14.    tempDS18B20 = LoRaData.substring(0, pos1);
15.    Temperatura = LoRaData.substring(pos1 + 1, pos2);
16.    Presion = LoRaData.substring(pos2 + 1, pos3);
17.    altitudReal = LoRaData.substring(pos3 + 1, LoRaData.length());
18.
19.   }
20. }
```

*Figura 65 Manejo de datos recibidos por el módulo LoRa. Fuente: Autoría propia*

## Escalas de Nivel de Oleaje

Mediante las líneas de códigos mostradas a continuación se establecieron rangos específicos para clasificar el oleaje desde un estado "CALMA" hasta "ENORME", dependiendo del valor contenido en la variable  $f\_altitudReal$  (ver la Figura 66). Esto permitió categorizar las condiciones del mar y facilitar su monitoreo.

```

1.  if ((f_altitudReal > 0) && (f_altitudReal <= 0.1)) {
2.      s_beaufort = "CALMA";
3.  }
4.  if ((f_altitudReal > 0.1) && (f_altitudReal <= 0.2)) {
5.      s_beaufort = "RIZADA";
6.  }
7.  if ((f_altitudReal > 0.2) && (f_altitudReal <= 0.5)) {
8.      s_beaufort = "MAREJADILLA";
9.  }
10. if ((f_altitudReal > 0.5) && (f_altitudReal <= 1.25)) {
11.     s_beaufort = "MAREJADA";
12. }
13. if ((f_altitudReal > 1.25) && (f_altitudReal <= 2.5)) {
14.     s_beaufort = "FUERTE MAREJADA";
15. }
16. if ((f_altitudReal > 2.5) && (f_altitudReal <= 4)) {
17.     s_beaufort = "GRUESA";
18. }
19. if ((f_altitudReal > 4) && (f_altitudReal <= 6)) {
20.     s_beaufort = "MUY GRUESA";
21. }
22. if ((f_altitudReal > 6) && (f_altitudReal <= 9)) {
23.     s_beaufort = "ARBOLADA";
24. }
25. if ((f_altitudReal > 9) && (f_altitudReal <= 14)) {
26.     s_beaufort = "MONTANOSA";
27. }
28. if (f_altitudReal > 14) {
29.     s_beaufort = "ENORME";
30. }
31.

```

*Figura 66 Configuraciones de escalas de beaufort. Fuente: Autoría propia*

### 3.2.2.2 Diseño de la Plataforma Monitoreo

El diseño de la plataforma de monitoreo de oleaje se lleva a cabo con el objetivo de crear un sistema eficiente y estable en la recolección y análisis de datos en tiempo real. Utilizando Google Cloud como infraestructura principal, se implementó un servidor privado virtual (VPS) para respaldar el desarrollo de servicios IoT (Internet de las cosas). Esto es particularmente importante en entornos donde la capacidad de respuesta e interpretación

deben ser precisas. Los datos son fundamentales para mejorar la toma de decisiones y garantiza la seguridad y eficiencia del sistema en general. A continuación, se detallarán los pasos de la configuración para crear 1 b, p s implementar un sistema de. Vitoreo, junto con las herramientas utilizadas en cada etapa.

### Acceso a Google Cloud Console

Primero, se inició sesión en la cuenta de Google Cloud para acceder a la Google Cloud Console, lo cual permitió ajustar fácilmente los recursos del VPS según las necesidades del proyecto. Esto permite aumentar o reducir la capacidad de procesamiento y almacenamiento a medida que cambia la demanda, lo cual fue fundamental para manejar los cambios en el volumen de datos y usuarios sin comprometer el rendimiento.

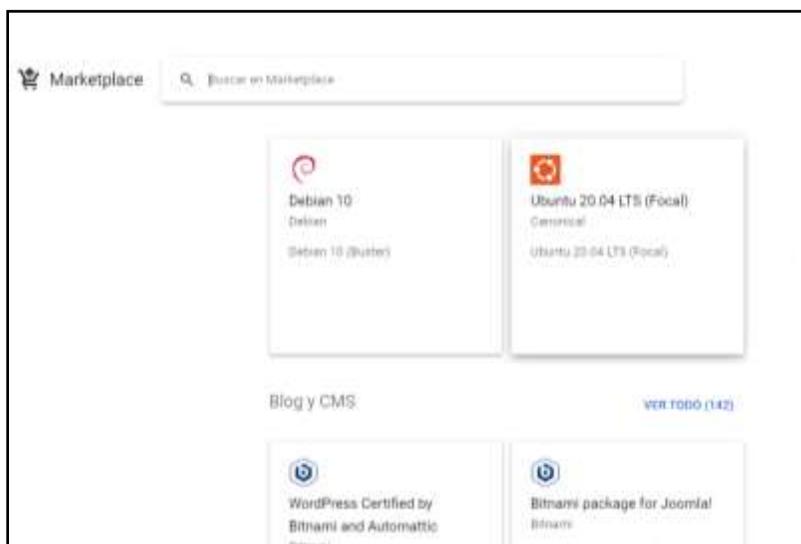
### Creación del Servidor Privado Virtual

El Servidor Privado Virtual (VPS), es la máquina donde se implementaron y ejecutaron todos los servicios IoT. En el apartado de menú de la cuenta de Google Cloud se eligió la opción de Compute Engine y se seleccionó "Instancias de VM" que permitió habilitar el API. Una vez habilitado la API se elige la opción de Marketplace (ver la Figura 67).



Figura 67 Configuraciones de instancias de VM. Fuente: Autoría propia

En Marketplace se seleccionó el Sistema Operativo *Ubuntu 20.04* como máquina operativa para el VPS (ver la Figura 68). Seguidamente se procedió a colar un nombre a la instancia creada, en este caso *vps-monitoreo*.



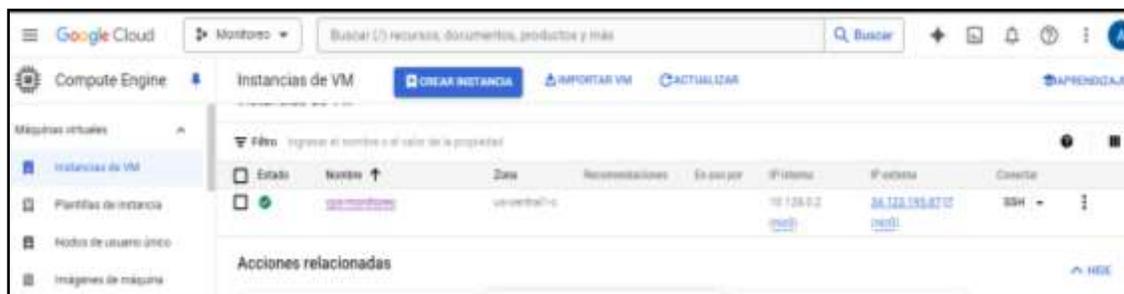
**Figura 68** Sistema operativo ubuntu. Fuente: Autoría Propia

Después se configuró una Máquina Virtual tipo e2-small con 2 CPU virtuales, 2 GB de memoria y un disco SSD persistente para mejorar el rendimiento. Mientras que, en el Firewall, se habilitó el tráfico HTTP y HTTPS, asegurando el acceso web, y completando la configuración de la instancia del VPS mostrada en la Figura 69.



**Figura 69** Configuración de máquina virtual y firewall. Fuente: Autoría propia

Al finalizar la configuración y creación de la instancia VPS se puede visualizar la IP interna como la externa (ver Figura 70). Con esto se cuenta con un entorno listo para alojar servicios adicionales, que incluyen la instalación de un servidor web como Apache, bases de datos como MySQL para gestionar datos de los dispositivos, y servicios como EDMX para implementar el protocolo MQTT, lo cual facilita la comunicación eficiente entre dispositivos IoT.



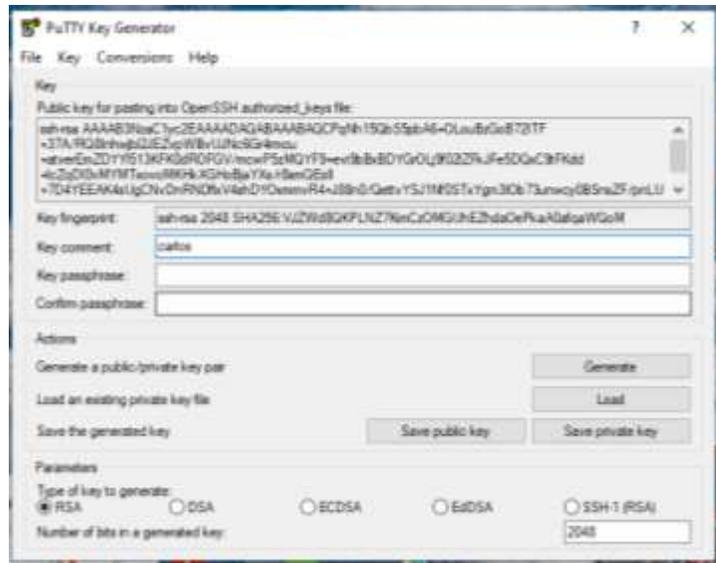
*Figura 70 Creación de VPS. Fuente: Autoría propia*

Este VPS permite gestionar y almacenar datos en la nube de forma segura, facilitando el procesamiento y análisis de la información en tiempo real. Además, esta infraestructura ofrece escalabilidad, lo que asegura que la plataforma pueda adaptarse a un aumento en el volumen de datos y usuarios sin comprometer el rendimiento.

También garantiza alta disponibilidad, permitiendo el acceso a los datos desde cualquier ubicación y en cualquier momento, lo cual es fundamental para la toma de decisiones oportunas y el monitoreo continuo de las variables que se están midiendo. Con esta arquitectura en la nube, se puede integrar diferentes dispositivos y sensores de manera eficiente, consolidando toda la información en un solo sistema centralizado que optimiza la operatividad y la eficiencia del monitoreo.

### **Configuración Putty**

PuTTY es una herramienta esencial para el control de acceso y la administración de un sistema de monitoreo basado en un VPS, asegurando la protección de la infraestructura y optimizando el rendimiento operativo del sistema. En este software se desarrollan credenciales de los VPS para generar claves SSH y así tener acceso al VPS. En la aplicación Putty se genera una clave pública como privada, tal y como se muestra en la Figura 71.



**Figura 71 Configuración clave SSH. Fuente: Autoría propia**

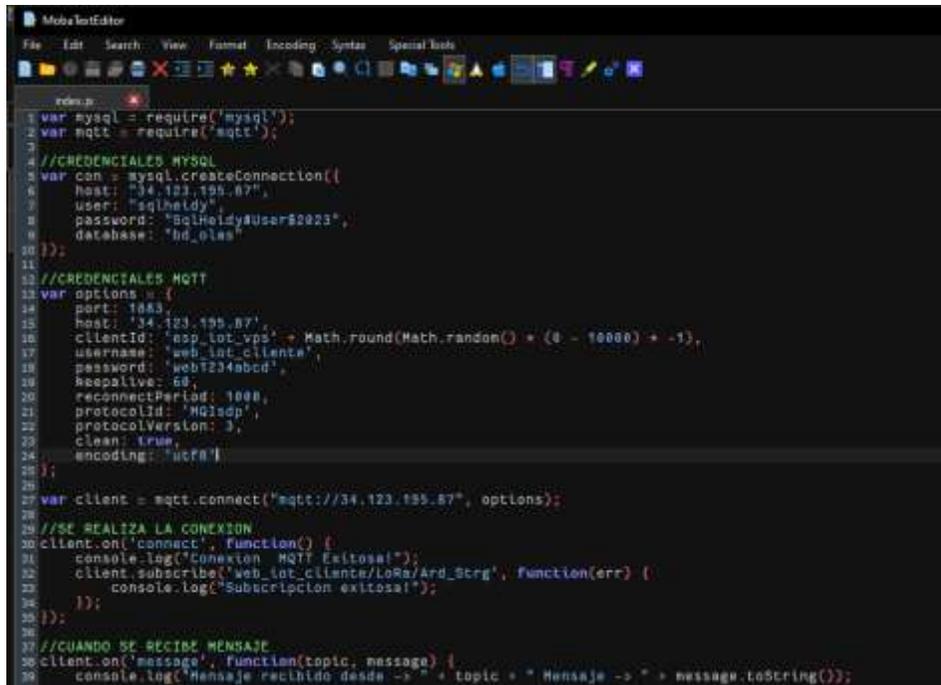
Esta clave es usada en la plataforma de Google cloud donde se creó el vps-monitoreo y con ella se procede editar la clave del SSH que se obtuvo en el Software Putty como se muestra en la Figura 72.



**Figura 72 Clave SSH. Fuente: Autoría propia**

La aplicación PuTTY da acceso remotamente a los servicios de monitoreo alojados en VPS, permitiendo monitorear y administrar lo que son dispositivos y o t en tiempo real desde cualquier lugar. Sin comprometer la seguridad e integridad del cifrado en SSH garantiza que los datos transmitidos, como las métricas de los sistemas de monitoreo estén protegidos





```
1 var mysql = require('mysql');
2 var mqtt = require('mqtt');
3
4 //CREDENCIALES MYSQL
5 var con = mysql.createConnection({
6   host: '34.123.195.87',
7   user: 'sqlheidy',
8   password: 'SqlHeidy#User$2023',
9   database: 'hd_olas'
10 });
11
12 //CREDENCIALES MQTT
13 var options = {
14   port: 1883,
15   host: '34.123.195.87',
16   clientId: 'esp_01_vps' + Math.floor(Math.random() * (4 - 10000) + 1),
17   username: 'web_01_cliente',
18   password: 'webT234abcd',
19   keepalive: 60,
20   reconnectPeriod: 1000,
21   protocolId: 'MQIsdp',
22   protocolVersion: 3,
23   clean: true,
24   encoding: 'utf8'
25 };
26
27 var client = mqtt.connect('mqtt://34.123.195.87', options);
28
29 //SE REALIZA LA CONEXION
30 client.on('connect', function() {
31   console.log('Conexion MQTT Exitosa!');
32   client.subscribe('web_01_cliente/Lora/Ard_Strg', function(err) {
33     console.log('Subscripcion exitosa!');
34   });
35 });
36
37 //CUANDO SE RECIBE MENSAJE
38 client.on('message', function(topic, message) {
39   console.log('Mensaje recibido desde -> ' + topic + ' Mensaje -> ' + message.toString());
40 });
```

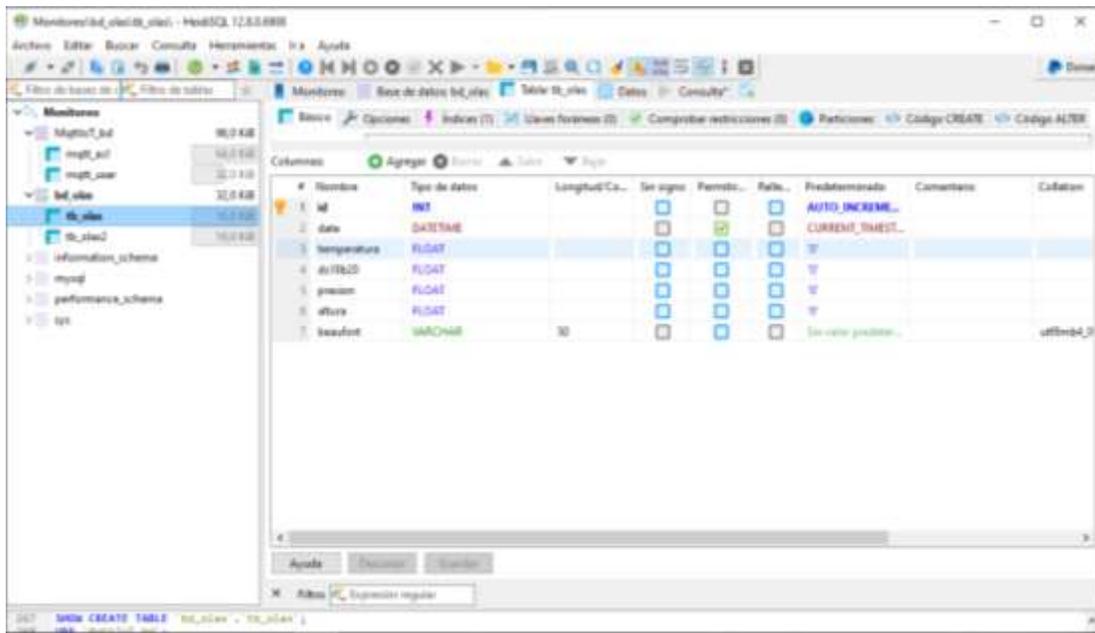
Figura 74 Código index de datos de monitoreo de olas. Fuente: Autoría propia

## Configuración de HeidiSQL

El administrador HeidiSQL se usó para acceder a la base de datos del VPS. Es una herramienta esencial en este proyecto, ya que facilita la administración y gestión de la base de datos MySQL que almacena los datos de monitoreo de olas obtenidos mediante el ESP32 y el módulo GY-87. En este contexto, HeidiSQL se usa para interactuar con la base de datos alojada en el servidor VPS en Google Cloud, permitiendo realizar tareas como la creación de tablas, la visualización de registros, la ejecución de consultas SQL, y la verificación de que los datos, transmitidos a través del protocolo MQTT se almacenan correctamente ver (la Figura 75).

En la interfaz gráfica de HeidiSQL no solamente facilita el acceso y la operación en la base de datos, si no que resultó siendo muy útil para comprobar el rendimiento del sistema y analizar lo que son datos en tiempo real. Permitted detectar posibles errores en el almacenamiento o transmisión de datos lo que se ajustó a las configuraciones de monitorización de una manera rápida y eficiente. Esto garantizó de manera precisa y organizada la obtención de información del módulo GY-87 para un posterior análisis en la

plataforma de monitoreo de Grafana. Dónde nos muestra la información de datos obtenidas de una manera sencilla y dinámica para un posterior estudio de los mismo.



*Figura 75 Configuración de HeidiSQL. Fuente: Autoría propia*

### **Configuración de EMQX con HeidiSQL**

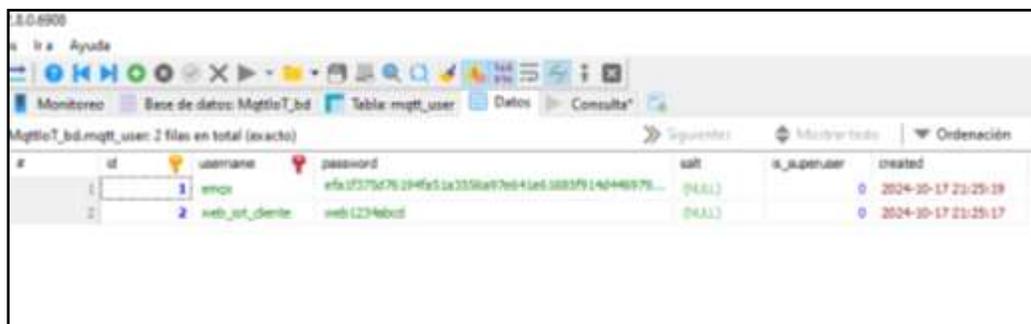
El servidor EMQX Es una plataforma de broker MQTT Diseñada para entornos de alto rendimiento y disponibilidad, es ideal para proyectos como el monitoreo de olas y su principal ventaja es la capacidad de gestionar de manera eficiente la comunicación entre dispositivos IoT, Cómo el microcontrolador ESP 32 con el módulo G 87. El servidor BPS está alojado en Google Cloud, donde se centralizará la información recolectada sobre las olas.

A diferencia de otros brokers MQT como mosquito se eligió EMQX Por su capacidad de manejar, lo que son miles de conexiones simultáneas es un soporte balanceado a la carga y su alta tolerancia a fallos. Dicha característica garantiza el sistema. El sistema continúe operando de una manera estable y confiable incluso cuando aumente el volumen de datos o el número de dispositivos que se encuentran conectados.

En este proyecto, EMQX Se encarga de la recolección de datos. Que son enviados desde la ESP32 y los organiza en tópicos que facilitan tanto el filtrado como el procesamiento de

datos. Posteriormente, la información almacenada en una base de datos MySQL, la cual puede ser gestionada a través de herramientas como HeidiSQ que se muestra en la Figura 76, además se visualiza que los datos están en tiempo real en la plataforma de Grafana.

Este enfoque asegura que el sistema de monitoreo funcione de forma eficiente, en la recolección de la información de las olas y facilitando su análisis y visualización, mejorando así la toma de decisiones y el control en entornos marinos.



*Figura 76 Contraseña de acceso EMQX. Fuente: Autoría propia*

## **Configuración Grafana**

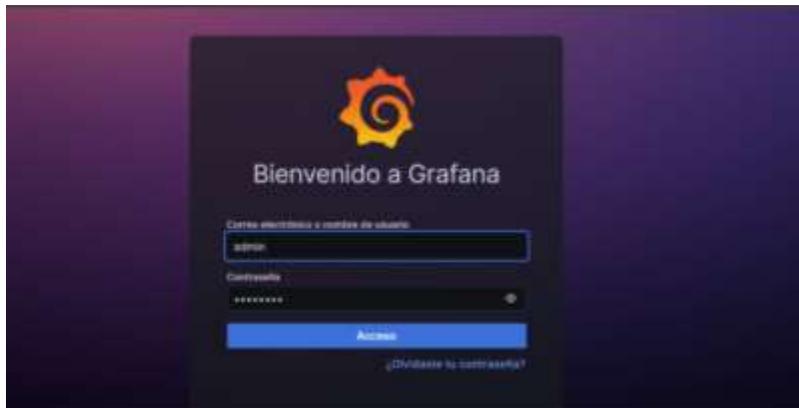
Grafana es una herramienta de visualización y monitoreo de datos en tiempo real, para crear gráficos y paneles a partir de diversas fuentes de datos. Su función es facilitar la interpretación de grandes cantidades de datos e identificar patrones, tendencias o anomalías a través de la representación visual. En el enfoque del seguimiento de olas Grafana permite visualizar datos recopilados por sensores (como temperatura, presión y altura de las olas) y presentarlos de una manera clara y sencilla facilitando la toma de decisiones.

Para configurar Grafana en un servidor VPS, primero se debe instalar el VPS usando comandos en la terminal (generalmente en sistemas basados en Linux como Ubuntu) y abrir el puerto predeterminado (3000) en el firewall para acceder a la interfaz desde el navegador (ver la Figura 77).

<a href="#">puertos-habilitados</a>	Entrada	Aplicar a	Intervalos	tcp:80, 443, 465, 1700, 1880, 1883, 3000, 3306, 5432, 5432, 6379, 8080, 8084, 8086, 8090, 9056, 18083, 18084
-------------------------------------	---------	-----------	------------	--

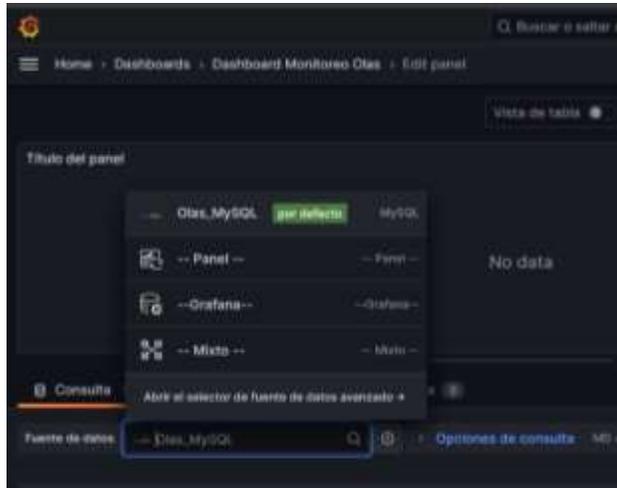
**Figura 77 Puertos habilitados. Fuente: Autoría propia**

Al ingresar a la interfaz, se inicia sesión con credenciales predeterminadas (que deben ser cambiadas por seguridad). Luego, se configura una fuente de datos, como MySQL, ingresando detalles del servidor, base de datos, usuario y contraseña para conectar con los datos almacenados (ver la Figura 78).



**Figura 78 Interfaz gráfica de Grafana. Fuente: Autoría propia**

La aplicación Grafana se vincula con la base de datos MySQL configurada en el VPS de Google Cloud (ver la Figura 79). A partir de aquí, los datos obtenidos del módulo GY-87 son (procesados a través de EMQX y gestionados en la base de datos mediante HeidiSQL) pueden ser consultados y visualizados en un formato accesible y atractivo. Esta herramienta no solo permite monitorear las condiciones en tiempo real, sino también analizar tendencias a lo largo del tiempo, ayudando en la toma de decisiones y en la generación de alertas ante variaciones significativas



*Figura 79 Enlace de Grafana con MySQL.Fuente: Autoría propia*

En la Figura 80 se muestra la interfaz gráfica de monitoreo de oleaje desarrollada en Grafana, en la cual se puede visualizar datos recolectados por los diferentes sensores localizados en módulo transmisor y sobre la boya.



*Figura 80 Visualización de monitoreo de oleaje. Fuente: Autoría propia*

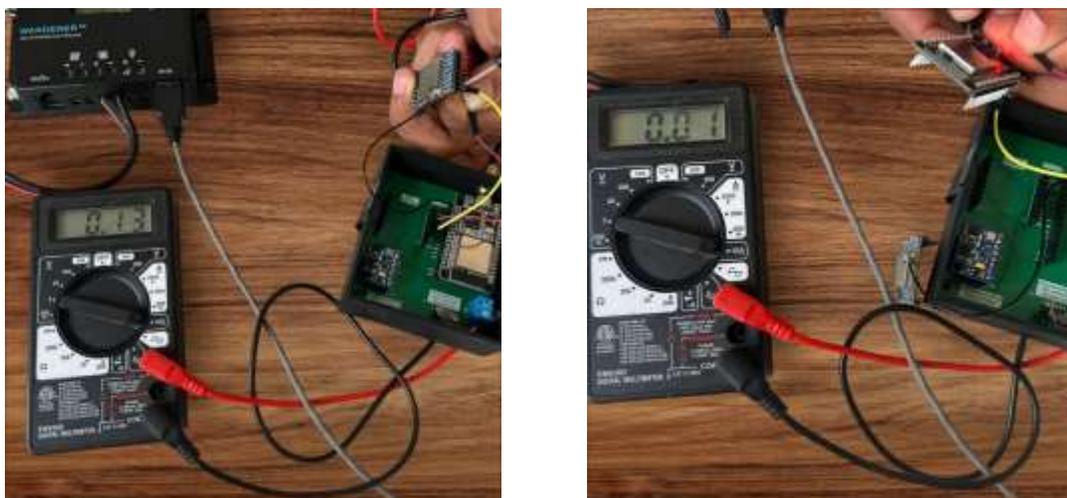
### 3.3 PRUEBAS Y RESULTADOS

#### 3.3.1 Validación de consumo de energía del sistema de alimentación

Para validar el consumo de energía teórico determinado en el apartado 3.2.1.1, se procedió a realizar la lectura de los valores de consumo (voltaje y corriente) de cada elemento que conforma el módulo transmisor que incluye el módulo GY87, el sensor de temperatura DS18B2, el módulo ESP32 y el módulo LoRa. En la Figura 81 se muestra el proceso de

medición de los valores de consumo corriente del módulo ESP32 y modulo LoRa mediante el empleo de un multímetro digital.

En la Tabla 12, se muestra el consumo teórico y práctico de voltaje y corriente de los componentes del sistema emisor, mientras que en la Tabla 13 la comparativa de potencias teóricas y prácticas.



*Figura 81 Medición de consumo de corriente del módulo ESP32 y modulo LoRa*

*Tabla 12 Consumo teórico y práctico de voltaje y corriente de los componentes del sistema emisor*

Componentes	Voltaje de Consumo Teórico	Voltaje de Consumo Práctico	Corriente de Consumo Teórico	Corriente Consumo Practico
ESP32	3.6 V	3,3 V	100 mA	100 mA
MPU9250 GY-87	3.6 V	3,3 V	3.9 mA	3.9 mA
DS18B20	5.5 V	3,3 V	1.5 mA	1.5 mA
LoRa	3.7 V	3,3 V	130 mA	130 mA

*Tabla 13 Comparativa de potencias teóricas y practicas*

Componentes	Potencia Teórica (W)	Potencia Práctica (W)	Diferencia (%)
ESP32	0,36	0,33	-8.33
MPU9250	0,01404	0,01287	-8,34
DS18B20	0,00825	0,00495	-40
LoRa	0,481	0,429	-10

Como se observa en la Tabla 13 la potencia teórica es mayor que la práctica debido a la diferencia en los voltajes de operación utilizados en la Tabla 12 y las condiciones reales de funcionamiento. En promedio se observó una reducción del 16,87% entre los valores del consumo energético de manera real y teórica. En los valores teóricos que se calcularon se consideró que el voltaje máximo permitido para cada componente del sistema es de 3,6V o 5,5V, en base a sus especificaciones técnicas. Por otro lado, los valores reales se obtuvieron trabajando con voltajes de 3,3V, ya que es un estándar común en sistemas de energía regulados.

Es importante destacar que los valores reales que se reflejan en el consumo promedio bajo de carga nominal, mientras que los valores teóricos se basan en la corriente máxima indicada en las hojas de datos. Esta diferencia muestra como las condiciones de operación realistas tienden a ser menos exigentes en comparación con las especificaciones técnicas.

A continuación, se comparó el consumo de energía real obtenido de cada componente del módulo transmisor con su respectivo valor teórico:

- ESP32: Se observó una diferencia pequeña del -8,33%. El valor real de potencia (0,33 W) es ligeramente menor que el valor teórico (0,36 W) porque el ESP32 rara vez opera a la corriente máxima de 200 mA. En condiciones normales, el consumo real es mucho menor, promediando 100 mA.
- MPU9250 (GY-87): La diferencia era pequeña, con un -8,34%. El valor real (0,01287 W) es un valor cercano al valor teórico (0,01404 W), lo que muestra que el sensor de movimiento que mantiene el consumo de energía que es bastante estable entre los valores máximo y medio.
- DS18B20: Se registró una diferencia moderada del -40%. El consumo real (0,00495 W) resultó ser inferior al teórico (0,00825 W) ya que el sensor DS18B20 rara vez alcanza su consumo máximo de 1,5 mA en modo estándar. Esto suele ocurrir únicamente durante lecturas puntuales, en lugar de un uso que sea continuo.
- LoRa: La diferencia observada fue mínima, del -10%. El consumo de energía real (0,429 W) es muy cercano al teórico (0,481 W). esto se debe a que el módulo LoRa

opera frecuentemente cerca de su consumo máximo, especialmente durante la transmisión de datos.

La potencia teórica calculada es de 0,86329 W, lo que representa un 10,02% de incremento que los 0,77682 W reales. Esta discrepancia se debe principalmente al ESP32, cuyo consumo teórico se estimó bajo un escenario de máxima demanda, mientras que la práctica su consumo es más moderado.

### **3.3.2 Adquisición y Filtrado de Señales**

Antes de enviar los datos correspondientes a la altitud medida por el sensor barométrico BMP085 que contiene el módulo GY-87 se verificó que las señales proporcionadas por este sensor presentaban fluctuaciones a pesar de que el mismo se mantenía estático en una determinada ubicación. En base a este antecedente se optó por utilizar un filtro de ventana con diferentes tipos de dimensiones para así mejorar y obtener un comportamiento continuo de la real de altitud medida.

Se realizaron diversas pruebas tomando en consideración diferentes dimensiones de ventanas para el filtro con valores de 10, 15, 20, 40, 50, 60 con la finalidad de verificar que dimensión de ventana sería la más apropiada para el proceso de filtrado. A continuación, se analizarán las pruebas de comportamiento de las señales de altitud tomando en consideración las diferentes dimensiones de ventana en un espacio de tiempo determinado.

#### **3.3.2.1 Prueba 1 con Filtro de Dimensión de Ventana 10**

En la Figura 82 se puede visualizar que existen dos señales en movimiento. La señal original marcada en color azul representa la altitud obtenida directamente del sensor BMP085. Es evidente que esta señal tiene mucho ruido, lo cual es típico en datos de sensores barométricos, especialmente en entornos con movimiento, como puede ser una boya en el mar. Las oscilaciones rápidas reflejan la existencia de un ruido de alta frecuencia.

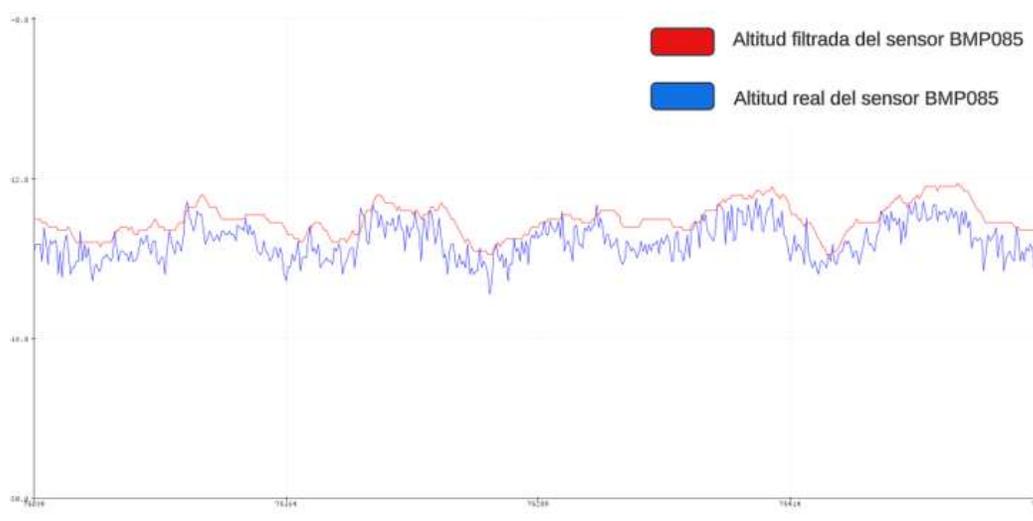
La señal filtrada está representada de color rojo es obtenida mediante un filtro de ventana con media móvil de 10 muestras, donde se aprecia una notable reducción de las fluctuaciones rápidas presentes en la señal original. Dicho filtrado permite identificar con mayor claridad las tendencias generales en las alturas medidas, al eliminar el ruido de alta frecuencia. Sin

embargo, este proceso implica una limitación en la capacidad de capturar variaciones rápidas en la señal.

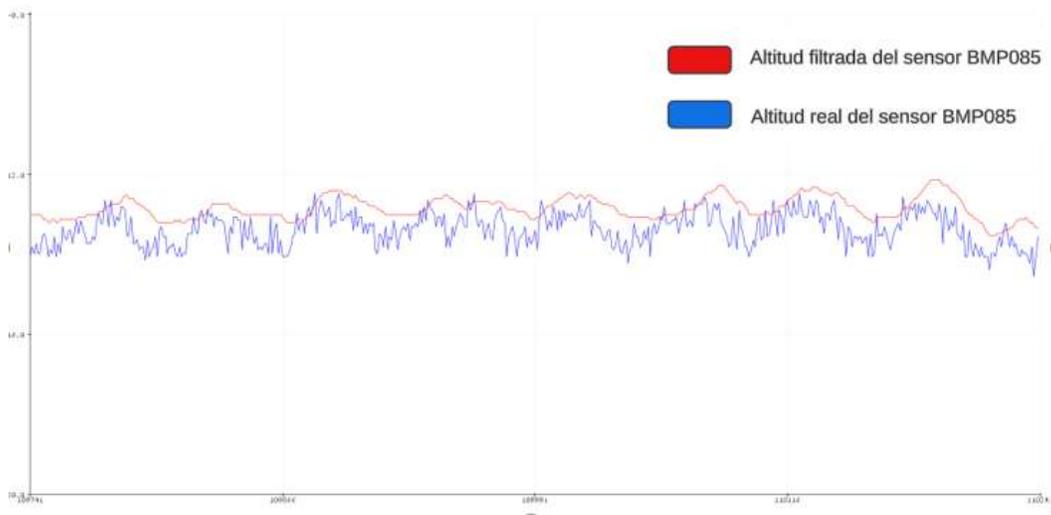
### 3.3.2.2 Prueba 2 con Filtro de Dimensión de Ventana 15

Como se aprecia en la Figura 83, el filtro de tamaño 15 genera una señal más suave al reducir de manera notable el ruido presente, mientras que el filtro de tamaño 10, analizado previamente, deja pasar más detalles de la señal original, preservando en mayor medida las variaciones.

Sin embargo, el filtro de tamaño 15 introduce un desfase más pronunciado entre la señal filtrada y la real ya que utiliza un mayor número de puntos para calcular el promedio. Por el contrario, el filtro de tamaño 10 presenta un desfase menor, ofreciendo respuestas que se ajustan mejor a los datos originales. Además, este último responde con mayor rapidez a los cambios en la señal, lo que lo hace más adecuado para sistemas dinámicos. En cambio, el filtro de tamaño 15, al priorizar la suavidad, resulta menos eficaz para capturar cambios rápidos. La reducción del ruido es más efectiva con la ventana de dimensión 15, logrando una tendencia más clara, mientras que el filtro de dimensión 10 conserva más fluctuaciones residuales.



*Figura 82 Prueba 1 comportamiento de dimensión de Ventana 10. Fuente: Autoría propia*



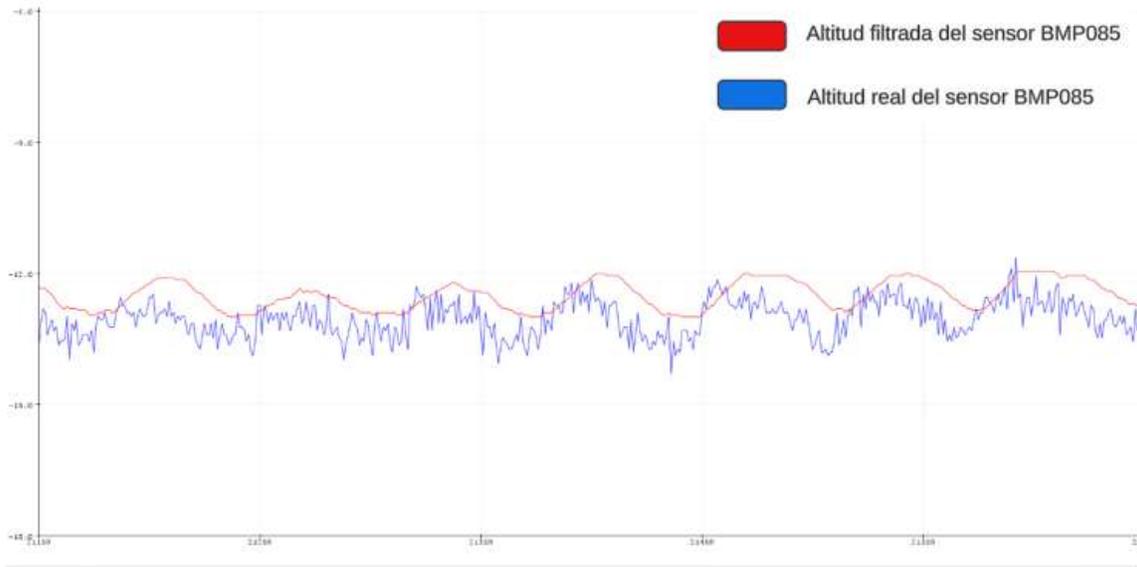
*Figura 83 Prueba 2 comportamiento de dimensión de Ventana 15. Fuente: Autoría propia*

### 3.3.2.3 Prueba 3 con Filtro de Dimensión de Ventana 20

En la Figura 84 se muestra, el tamaño de ventana 20, la línea roja que se muestra es mucho más suave que el filtro con un tamaño de ventana 15. Esto revela que la eliminación de ruido es más rápida, lo que da como resultado una eliminación de ruido de alta velocidad.

La señal filtrada muestra una mayor estabilidad, aunque también un retraso más evidente respecto a la señal real, llegando incluso a quedar desfasada. Este comportamiento es consistente con lo esperado al aumentar el tamaño de la ventana del filtro.

Al comparar los resultados, se observa que la ventana de tamaño 20 es más eficiente para reducir el ruido, pero a costa de un desfase mayor en la señal filtrada. En contraste, la ventana de tamaño 15 representa un equilibrio entre el suavizado y el desfase: aunque no elimina el ruido con tanta eficacia, mantiene una sincronización más cercana con la señal original.

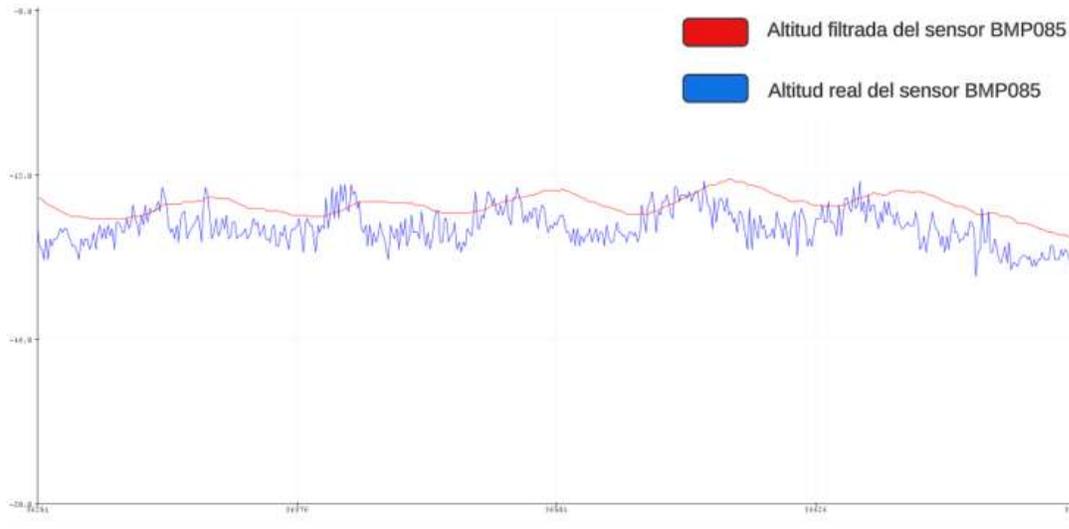


*Figura 84 Prueba 3 comportamiento de dimensión de Ventana 20. Fuente: Autoría propia*

#### **3.3.2.4 Prueba 4 con Filtro de Dimensión de Ventana 40**

En la Figura 85 correspondiente al filtro de ventana 40, la línea roja muestra un suavizado mucho mayor que el filtro de ventana 20, eliminando el ruido de alta frecuencia de manera más efectiva, lo que resulta en una señal filtrada muy estable con cambios más pequeños. Sin embargo, el retraso es más notable en comparación con el filtro de 20 ventanas, ya que la señal filtrada usando la dimensión de ventana de 40 va significativamente por detrás de la señal real.

La comparación muestra que, si bien el filtro de ventana 40 es más eficaz para suavizar el ruido, también introduce un gran cambio de fase en la señal filtrada. Por el contrario, el filtro de ventana 20, aunque menos eficaz para eliminar el ruido, proporciona una mejor sincronización con la señal real.

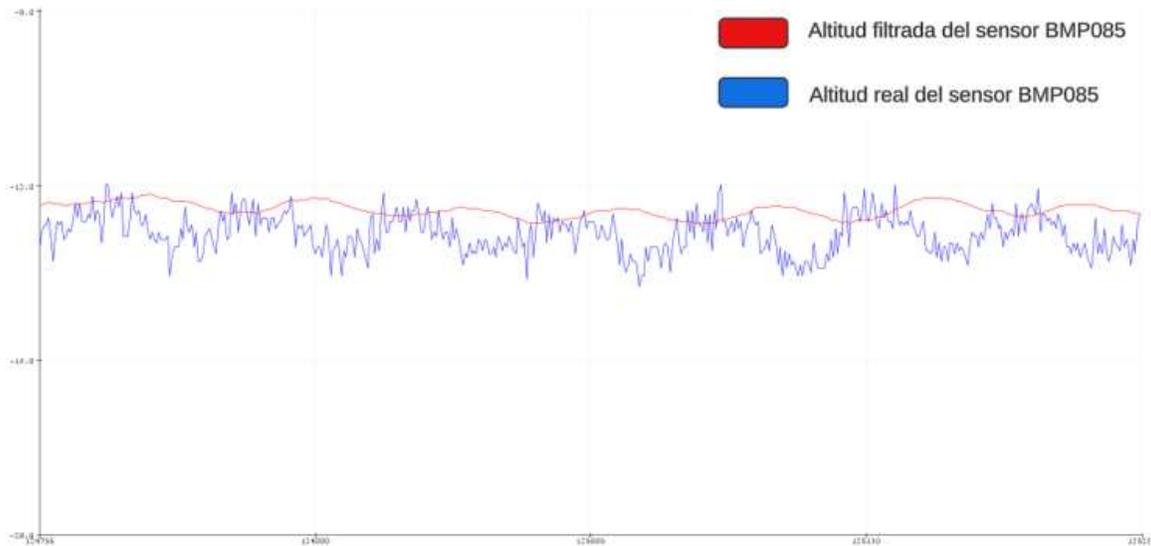


*Figura 85 Prueba 4 comportamiento de dimensión de Ventana 40. Fuente: Autoría propia*

### **3.3.2.5 Prueba 5 con Filtro de Dimensión de Ventana 50**

En la figura 86 se ve la ventana de tamaño 50 que la señal filtrada es roja. Se tiene claro el cambio de la fase en comparación con la señal azul original, que es la del sensor BMP085. Su desplazamiento es proporcional a la mitad del tamaño de la ventana, que es aproximadamente 25 muestras, lo que equivale a un retraso en el tiempo de manera significativa especialmente en aplicaciones en tiempo real.

Dicha característica puede llegar a causar problemas al leer la altura de las olas, ya que los valores filtrados no coinciden de manera inmediata con el evento actual, lo cual puede llegar a afectar la precisión de los cálculos de la altura para las olas más rápidas o repentinas. Si bien el filtrado puede llegar a eliminar, la mayor parte del ruido de la alta frecuencia también puede llegar a suavizar los cambios más pequeños y rápidos en las señales, lo cual puede llevar a una subestimación de la altura de las olas más pequeñas y un retraso en la identificación de la cresta de la ola.



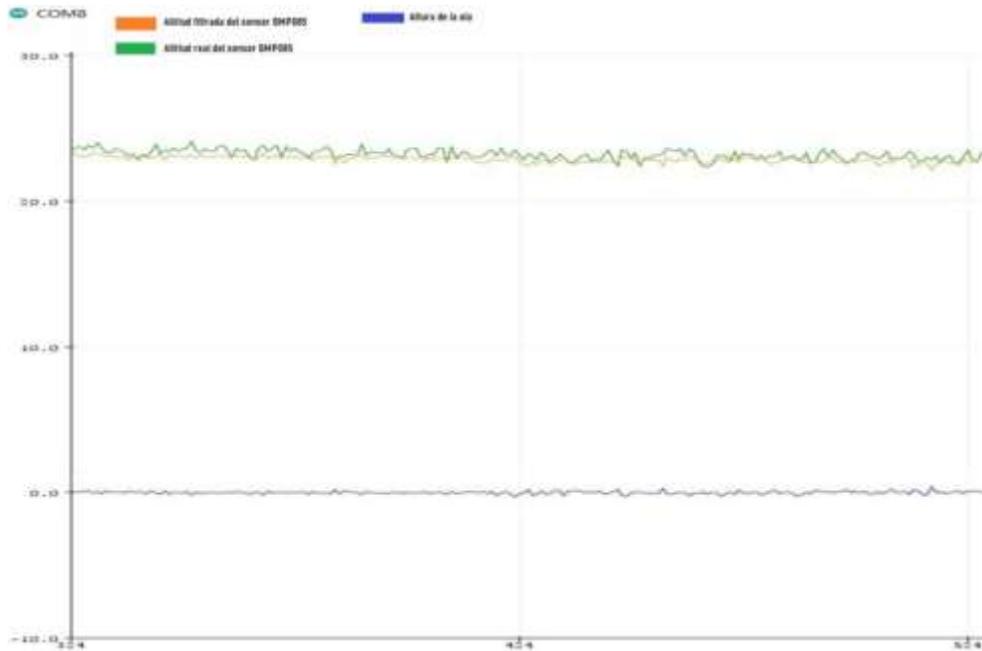
*Figura 86 Prueba 5 comportamiento de dimensión de Ventana 50. Fuente: Autoría propia*

### 3.3.2.6 Determinación de la Altura de la Ola con Filtro de Ventana 20

La elección de un tamaño de ventana de filtro debe equilibrar las necesidades de suavizado y tolerancia de compensación. Para aplicaciones que requieren una eliminación significativa de ruido y toleran grandes cambios de fase, los filtros con ventanas más grandes son más adecuados. Sin embargo, en situaciones donde se requiere una mayor sincronización con la señal real, un filtro de ventana 20 puede ser más apropiado. Por esta razón se optó por emplear el filtro de ventana 20 en la adquisición de los valores de altitud que permitirán posteriormente la altura de la ola en tiempo real.

La Figura 87 muestra tres señales distintas relacionadas con la altura y el comportamiento de un sensor BMP085 utilizado para medir altitud y altura de olas. Como se observa la altitud real en estado estable del sensor BMP085 (línea verde) se mantiene relativamente estable alrededor de un valor fijo cercano a los 22 metros, con algunas variaciones en forma de ruido. Esto indica que el sensor mide una altitud base constante con fluctuaciones que deben ser corregidas de alguna manera. Por otra parte, en la Figura 84 se muestra la altitud filtrada del sensor BMP085 (línea naranja), la cual sigue un comportamiento muy similar a la señal verde, pero con menores fluctuaciones. Esto sugiere que la aplicación del filtro de ventana suavizó el ruido en los datos del sensor. A partir de la señal filtrada tomada en dos

diferentes instancias de tiempo se determinó la altura de la ola (línea azul), la cual se encuentra cercana al eje cero, pero se puede observar que existen ciertas variaciones que corresponden a los cambios de comportamiento de las olas.



*Figura 87 Determinación de la altura de oleaje en tiempo real*

### 3.3.3 Visualización e Interpretación de Datos del Sistema de Monitoreo

La Figura 88 se muestran los valores que se registraron en la plataforma de monitoreo Grafana. En el cual se pueden visualizar variables relacionadas con las mediciones de oleaje. Además, se pueden observar indicadores como temperatura del agua del mar, temperatura ambiente, temperatura atmosférica y la altura de la ola. Además, se puede visualizar un historial sobre la altura de las olas en tiempo real, lo cual permite ver fluctuaciones en los valores obtenidos de la muestra en cambio de Mandamientos en la superficie del mar. A la derecha se puede observar una tabla en donde se pueden visualizar los registros de los históricos de las alturas de las olas y las escalas del mar etiquetadas como “RIZADAS”. Finalmente, en la esquina superior derecha podemos observar las coordenadas de la ubicación del sistema de monitoreo de oleaje, el cual se encuentra ubicado en la playa del cantón Salinas.



**Figura 88** Monitoreo en tiempo real de la altura de olas y condiciones ambientales. Fuente: Autoría Propia

En la Figura 89 se muestra sección inferior de la interfaz de monitoreo, donde es posible comparar las temperaturas medidas por dos sensores: el DS18B20 que registra la temperatura del mar y el GY-87 que mide la temperatura ambiente. Esta parte incluye un gráfico donde ilustran los cambios de temperaturas a lo largo del tiempo, lo que facilita el análisis de los patrones térmicos. A la derecha, se encuentra un historial que registra la lectura de ambos sensores, junto con las fechas y horas correspondientes. Esta combinación de datos permite realizar un seguimiento detallado de las condiciones ambientales y marinas, lo cual es esencial para comprender el comportamiento del océano y apoyar a la toma de decisiones.

Por otro lado, en la Figura 90 se muestra la parte final de la interfaz de monitoreo, enfocada en el análisis de la presión atmosférica. En esta sección se puede observar un gráfico donde refleja la variación de la presión a lo largo del tiempo, lo que permite identificar tendencias de manera visual. A la derecha, se encuentra una tabla de históricos donde se detalla valores registrados, junto con la hora y fecha de cada medición, proporcionando un registro claro y accesible para un análisis posterior.



Figura 89 Comparación y análisis histórico de temperaturas del mar y ambiente. Fuente: Autoría Propia



Figura 90 Comportamiento de la presión atmosférica. Fuente: Autoría propia

### 3.3.4 Validación y Comparación de Datos mediante una Plataforma de Monitoreo Externa

En este apartado se hará un proceso de validación y comparación de la información recopilada en la plataforma de monitoreo desarrollada en este proyecto junto con los datos obtenidos de otra plataforma en línea (<https://seatemperature.info/es/chipepe-previsiones-de-olas.html>) que permitirán determinar la precisión y validez del sistema de monitoreo diseñado. Se presentarán los datos que incluyen la altura de las olas, la temperatura ambiente, la temperatura del mar y la presión atmosférica, registrados en intervalos de tiempo específicos.

En la Figura 91 se muestra el comportamiento de la altura de las olas, con datos registrados el 17 de noviembre de 2024 mediante el sistema de monitoreo implementado. Se observa que, en el instante de tiempo 17:58:30 h, la altura de la ola descendió a -0.42 metros. Además,

el histórico continuo de la altura de las olas revela que, desde las 17:54:00 h hasta las 17:58:00 h, la altura no superó los  $\pm 0.35$  metros.

Por otro lado, en la tabla presentada en la Figura 92, se recopilan datos sobre la altura y dirección de las olas obtenidas de la plataforma externa “seatemperature” en la misma fecha de los datos mostrados en la Figura 91. En la columna correspondiente al rango horario de 15:00 h a 18:00 h, se indica una altura de ola máxima de 0.24 metros. Este valor está dentro de los rangos máximos obtenidos de  $\pm 0.35$  metros en el gráfico de la Figura 91, lo que confirma la concordancia entre ambas fuentes y estos resultados permiten concluir que los datos obtenidos en la plataforma del sistema de monitoreo implementado son fiables y acordes a la realidad.



Figura 91 Comportamiento de altitud de la Ola domingo 17 de noviembre. Fuente: Autoría Propia

Altura de Olas y dirección

VIE 15	SÁB 16	DOM 17	LUN 18	MAR 19	MIE 20	JUE 21	VIE 22	SÁB 23	DOM 24
17 noviembre 2024									
0-3 hr	3-6 hr	6-9 hr	9-12 hr	12-15 hr	15-18 hr	18-21 hr	21-24 hr		
1' 1"	1' 1"	1' 1"	0' 11"	0' 7"	0' 9"	0' 10"	1' 1"		
0.34 m	0.34 m	0.33 m	0.29 m	0.19 m	0.24 m	0.25 m	0.32 m		
▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S		
2	2	2	2	2	2	2	2		

Figura 92 Comportamiento de altura de la ola y dirección del 17 de noviembre. Fuente: [9]

Para corroborar la validez de los datos obtenidos entre ambas aplicaciones se realizó una segunda prueba tomando en consideración con otra fecha de interés. En la Figura 93 se muestra el comportamiento de la altura de las olas, con datos registrados el 21 de noviembre de 2024 mediante el sistema de monitoreo implementado. Se observa que, en el instante de tiempo 14:23:30 h, la altura de la ola descendió a -0.34 metros. Además, el histórico continuo de la altura de las olas revela que, desde las 14:19:00 h hasta las 14:23:30 h, la altura no superó los  $\pm 0.40$  metros.

Asimismo, en la tabla de la Figura 94 se presentan datos sobre la altura y dirección de las olas, extraídos de la plataforma externa “seatemperature” para la misma fecha que los datos de la Figura 93. En el rango horario de 12:00 a 15:00 h, se registra una altura máxima de ola de 0.40 metros. Este valor se encuentra dentro del rango máximo de  $\pm 0.40$  metros mostrado en el gráfico de la Figura 93. Esta coincidencia demuestra la consistencia entre ambas fuentes, lo que confirma que los datos obtenidos del sistema de monitoreo implementado son precisos y reflejantes fielmente.



*Figura 93 Comportamiento de altitud de la Ola del 21 de noviembre. Fuente: Autoría Propia*

Altura de Olas y dirección

MAI 12	MI 13	JUE 14	VI 15	SAB 16	DOM 17	LUN 18	MAI 19	MI 20	JUE 21
21 noviembre 2024									
0.3 hr	3.6 hr	6.9 hr	9.12 hr	12.15 hr	15.18 hr	18.21 hr	21.24 hr		
1.7'	1.7'	1.6'	1.6'	1.5'	1.5'	1.5'	1.5'		
0.47 m	0.47 m	0.46 m	0.45 m	0.44 m	0.44 m	0.44 m	0.44 m		
▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S	▲ S		
2	2	2	2	2	2	2	2		

**Figura 94** Comportamiento de altura de la ola y dirección del 21 de noviembre. Fuente: [9]

La plataforma “seatemperature” también permite visualizar datos de presión atmosférica, por lo cual también se decidió realizar una prueba de verificación de este parámetro que también se incorporado en la interfaz de monitoreo diseñada. En la Figura 95 se puede visualizar el comportamiento de la presión atmosférica (pascales) en la plataforma de monitoreo desarrollada. Además, los datos visualizados de la Figura 95 son tomados en la fecha del 21 de noviembre de 2024 desde las 14:19:30 h hasta las 14:24:00 h, donde en este lazo de tiempo los comportamientos de presión atmosférica fueron variados con un mínimo de 101442 Pa y un máximo 101462 Pa.

Para validar los datos obtenidos por el sistema de monitoreo implementado, se compararon con información ambiental sobre presión atmosférica de la plataforma externa “seatemperature”. Los datos de esta plataforma, mostrados en la Figura 96, corresponden a la misma fecha que los de la Figura 95. En el rango horario de la mañana, se registró una presión de 1014 mb, equivalente a 101400 Pa. Este valor se encuentra dentro del rango máximo de las medidas de presión registradas en la Figura 95. Esta coincidencia confirma que los datos del sistema de monitoreo son consistentes con los de la fuente externa, lo que demuestra que son confiables y representan adecuadamente la realidad.



**Figura 95** Comportamiento de la presión atmosférica en Pascales. Fuente: Autoría propia



*Figura 96 Datos ambientales, temperatura y presión. Fuente: [9]*

Otras de las variables que también se verificó su validez con la plataforma externa “seatemperature” fue la temperatura. En la Figura 97 se puede observar el comportamiento de dos temperaturas visualizadas sobre con la plataforma de monitoreo desarrollada, donde la temperatura del sensor DS18B20 determina la temperatura del mar mientras que la del módulo GY\_87 mide la temperatura ambiente alrededor de la boya. Estos datos de comportamiento de temperaturas fueron obtenidos el 21 de noviembre desde las 14:19:30 h hasta las 14:24:00 h, intervalo en el cual se observó que la temperatura ambiente mantenía valores constantes alcanzando un máximo de 25.60 °C. Por el contrario, se observó que la de la temperatura del mar tuvo comportamientos variados, con un valor máximo de 25.46 °C y un mínimo de 24.39°C.

En las Figuras 96 y 98 se presentan datos ambientales sobre la temperatura ambiente y la temperatura del mar, obtenidos de la plataforma externa “seatemperature” en la misma fecha que los datos de la Figura 97. En la Figura 96, se observa que durante las primeras horas de la mañana la temperatura atmosférica registrada fue 21.3°C. Al comparar este dato con el proporcionado por la plataforma operativa, que indica 25.6°C, se identifica una diferencia

mínima de un aproximado de  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ . De manera similar en la Figura 98 se registra una temperatura máxima del mar de  $24.3^{\circ}\text{C}$  según una fuente externa, mientras que la interfaz del sistema de monitoreo muestra un valor de  $25.46^{\circ}\text{C}$  dicha diferencia refleja un margen de error de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ , dentro de los parámetros esperados para este tipo de mediciones. Estas coincidencias demuestran la consistencia entre ambas fuentes de datos, lo que confirma que el sistema de monitoreo implementado proporciona mediciones precisas y confiables, reflejando adecuadamente las condiciones reales del entorno.



Figura 97 Comparativas de temperaturas. Fuente: Autoría propia

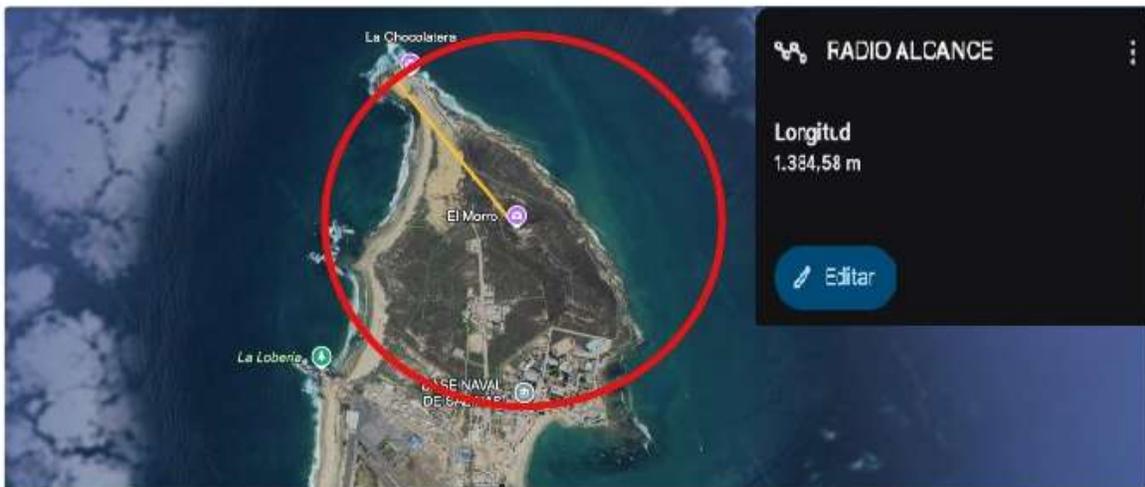


Figura 98 Temperatura del mar del 21 y 22 de noviembre. Fuente: [9]

### 3.3.5 Medición de Alcance de Comunicación LoRa

Se realizó una prueba de alcance de comunicación inalámbrica utilizando la tecnología LoRa, con un módulo Ra-02 SX1278 operando a 433 MHz de banda de frecuencia. La comunicación se inició entre dos ubicaciones, el Morro de Salinas y la Chocolatera con una

distancia de 1385 metros entre ambos puntos (ver la Figura 99). Para garantizar un enlace eficiente, se emplearon antenas de alto rendimiento de 10 dBi de ganancia en ambas estaciones, tanto en el transmisor como el receptor. Durante la prueba, se verificó la capacidad del sistema para mantener una transmisión confiable a larga distancia, demostrando las ventajas de LoRa en términos de bajo consumo energético y alta sensibilidad, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde se requieren comunicaciones estables en entornos abiertos y con obstáculos mínimos. Esta evaluación valida la viabilidad del uso de esta tecnología en este proyecto que exige un alcance significativo y una robustez en la transmisión de datos.



*Figura 99 Alcance LoRa. Fuente: Autoría propia*

### 3.4 CONCLUSIONES

En el desarrollo de un prototipo de sensor de oleaje, se utilizó un microcontrolador ESP32 junto con un módulo LoRa, un módulo GY-87 y un sensor Dallas para la recopilación de datos. Este sistema fue diseñado para medir y transmitir información sobre las condiciones del oleaje, incluyendo la altura de la ola, la presión atmosférica y la temperatura. La comunicación entre los dispositivos se logró utilizando circuitos I2C y SPI, lo que permitió un intercambio de información rápida y eficiente. El módulo GY-87 con su sensor de presión barométrica suministro datos reales sobre altitud, presión atmosférica y temperatura ambiente, mientras el sensor DS18B20 se en cargo de medir la temperatura del agua del mar. Por su parte el microcontrolador ESP-32 facilito la integración de ambos módulos, gracias a sus capacidades de establecer conexiones de red confiables y transmitir datos de manera eficiente mediante el módulo LoRa. Los datos obtenidos fueron fundamentales para comprender las condiciones ambientales y el comportamiento del oleaje en un área determinada.

En la sección de diseño del sistema de alimentación solar, se llevaron a cabo cálculos matemáticos que permitieron determinar la cantidad de energía consumida por el sistema emisor, el cual es responsable de la obtención y transmisión de datos a través del módulo de comunicación LoRa. Estos cálculos fueron fundamentales para establecer la potencia que debe generar el panel solar, donde se obtuvo de forma teórica un valor de consumo de energía de todo el sistema transmisor de 18.88W, por lo que el panel de 5W abastece la energía consumida.

La validación de consumo de energía del sistema de suministro mostro que, en todos los casos, los valores medidos fueron inferiores a los teóricos. Esto se atribuyó a condiciones reales de operación. Los valores teóricos se calcularon considerando los valores máximos nominales de cada componente, mientras que los valores prácticos registraron un voltaje nominal de 3.3 V.

La diferencia promedio entro los valores y prácticos fue del 34.5%. Destacó la importancia de diseñar sistemas de energía que consideran las condiciones de operaciones reales. Esto aseguró que un consumo menor al estimado originalmente y contribuyó a la mejora de la eficiencia del sistema. Al poner en funcionamiento el sistema de alimentación solar, se

observó que operó de manera óptima bajo condiciones favorables de irradiación solar, alcanzando un voltaje de 13 puntos 6 voltios de una corriente de 0.2 Amperios. Estos resultados son positivos, siempre y cuando haya una buena irradiación solar. Mientras tanto, el controlador se encargará de suministrar y almacenar energía en la batería, asegurando que el sistema pueda recargarse y satisfacer adecuadamente la demanda energética.

Para establecer. El sistema de comunicación inalámbrica se eligió el módulo Lora. Se al inicio, se planteó. Una distancia de 500m para la transmisión y recepción de datos. No obstante, se presentaron dificultades para el envío de información debido a las condiciones climáticas y a la ubicación en el entorno marítimo. La presencia de campos magnéticos interfería con la comunicación para lograr solucionar estos problemas se optó por instalar antenas de mayor ganancia tanto en la parte superior de la boya como en el sistema de recepción remota de datos, mejorando así la velocidad y transmisión de la información. Como resultado el sistema receptor puede llegar a procesar los datos de una manera más eficiente, facilitando la visualización de los datos en la plataforma web desarrollada.

Durante la fase de planificación del sitio web diseñado para mostrar los datos en tiempo real sobre las olas, Decidimos utilizar la herramienta de Grafana. Esta plataforma nos facilitó la creación de páginas web para el acceso en línea y nos ofreció funciones completas. La plataforma implementada muestra datos claves como la precisión de la altura de las olas y las mediciones de temperatura y la facilitación de comparación de parámetros. Una vez completada la plataforma, se seleccionó Google Cloud como repositorio de información para almacenar los datos recopilados en vivo, garantizando un acceso rápido y seguro a los datos.

Las pruebas de adquisición y filtrado del sensor mostraron que, cuando se encontraba en reposo, el sensor barométrico BMP085 generaba fluctuaciones muy extensas en la señal. La implementación de un filtro de ventana móvil demostró que la estabilidad de la señal medida mejora sustancialmente, es decir menos ruido de alta frecuencia se introduce en el sensor. Se ensayaron varios tamaños de ventana, siendo el tamaño de 20 la ventana más apropiada para lograr un compromiso entre el suavizado de ruido y el retardo de fase y proporcionar una precisión suficiente en la determinación de la altura de las olas en tiempo real.

La posibilidad de visualización e interpretación de datos en la herramienta de monitoreo de Grafana realizada posibilitó la evaluación en tiempo real de múltiples variables ambientales. Las mediciones de la temperatura del agua del mar, la temperatura ambiente, la presión atmosférica y la altura de las olas ofrecen una visión integral del comportamiento dinámico de la superficie marítima. Gracias a las capacidades del monitoreo en tiempo real, es posible tomar decisiones informadas y adecuada ante situaciones cambiantes.

La funcionalidad de este sistema se manifiesta mediante la verificación y validación de datos de la interfaz de monitoreo, que garantiza la precisión y confiabilidad. De las mediciones, estos datos recolectados muestran valores significativos de temperatura del agua del mar registrados en la plataforma. Esto asegura que las mediciones de altura sean reales y al mismo tiempo, refuerza la confianza en el sistema de seguimiento. Este enfoque mejora la capacidad del sistema para proporcionar datos verídicos y oportunos. Lo que facilita el análisis del comportamiento del océano en tiempo real.

### **3.5 RECOMENDACIONES**

El rango de comunicación óptimo entre el transmisor y el receptor es de 500 metros. Sin embargo, para lograr distancias mayores, es crucial tener en cuenta factores ambientales, como el ruido y los campos magnéticos generados por el agua de mar que pueden interferir con la señal del módulo LoRa y reducir su alcance. Además, el constante movimiento de la boya presenta una limitación adicional. Para aumentar el alcance, se recomienda implementar un sistema de acceso puntual que optimice la comunicación.

El uso de antenas de mayor ganancia puede mejorar la transmisión de datos, pero para garantizar una comunicación más confiable en condiciones marítimas adversas, es esencial utilizar antenas marinas especializadas. Estas antenas deben ser altamente resistentes a la corrosión y a las interferencias electromagnéticas. Dado que el entorno marino es agresivo, también se sugiere emplear carcasas a prueba de agua y corrosión para proteger los componentes electrónicos. El uso de sellos y recubrimientos adicionales también contribuirá a alargar la vida útil del dispositivo y reducir la necesidad de mantenimiento.

Para garantizar la continuidad y confiabilidad de datos, se recomienda instalar sensores redundantes. Por ejemplo, si el sensor principal falla, un segundo sensor de temperatura y un

segundo sensor de presión atmosférica pueden proporcionar datos de respaldo, lo que aumentaría la confiabilidad del sistema.

La implementación de filtros de ventana móvil ha mejorado la estabilidad de las señales. Se recomienda seguir probando diferentes algoritmos de filtrados y técnicas de procesamiento de señales, como filtros de Kalman o suavizado exponencial, para mejorar aún más la precisión de las mediciones y reducir el ruido.

Además, sería conveniente desarrollar algoritmos que puedan detectar y corregir automáticamente cualquier anomalía en los datos recolectados. Estos algoritmos podrían incorporar técnicas de aprendizaje automático para identificar patrones anormales y ajustar los valores garantizando que los datos mostrados en la plataforma sean consistentes y reales.

Dado que Google cloud funciona como una base de datos, es importante implementar medidas de seguridad robustas para proteger la integridad y confidencialidad de la información. Esto incluye el uso de cifrado de datos tanto en tránsito como en reposo, así como el establecimiento de políticas de acceso adecuadas.

Para trabajos futuros relacionados con este proyecto, se recomienda implementar un sistema de alertas y monitoreo en tiempo real que notifique a los usuarios ante cualquier eventualidad. Información sobre cambios significativos en las condiciones del oleaje o fallas del sistema. Esto puede incluir alertas por mensaje de texto o correo electrónico para garantizar una respuesta rápida a incidentes críticos.

Finalmente, se recomienda el mantenimiento continuo de los equipos de las boyas, ya que la exposición de las boyas a condiciones climáticas adversas en alta mar puede poner en peligro su funcionamiento y eficiencia.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] NOAA, «U.S DEPARTMENT OF COMERCE,» Laboratorio Meteorologico Oceanografico y Antartico, 14 JULIO 2020. [En línea]. Available: <https://www.aoml.noaa.gov/es/news/spotter-drifter-deployments/>. [Último acceso: 08 05 2023].
- [2] A. DATA, «U.S DEPARTMENT OF COMERCE,» Laboraotrio Meteorologico Atlantico Oceanografico, 11 02 2021. [En línea]. Available: <https://www.aoml.noaa.gov/argo/#argodata>. [Último acceso: 08 05 2023].
- [3] O. M. Mundial, «Guia para el analisis y pronostico de las olas,» n° 702, p. 228, 2020.
- [4] I. O. A. d. l. Armada, «Instituto Oceanografico Antartico de la Armada,» INOCAR, 16 04 2016. [En línea]. Available: <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/planetario-de-la-armada/36-informes-tecnicos>. [Último acceso: 05 09 2023].
- [5] M. MAURY, «The Physical Geography of the Sea,» Harper & Brothers, 1855. [En línea]. [Último acceso: 16 05 2023].
- [6] P. W. e. al, «A Century of Oceanograaphic Observations: The history of the Discovery Component of the International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set(ICOADS),» Int. J. Climatol, 2001. [En línea]. [Último acceso: 16 05 2023].
- [7] J. L. B. a. R. E. Davis, «Autonomous Underwater Vehicles: Removing the 'D' from AUVS,» IEEE Robot. Autom. Mag, 2011. [En línea]. [Último acceso: 06 05 2023].
- [8] INAMHI, «Sistema de Alerta temprana para eventos de tsunami y control de repesas,» INOCAR, 08 2016. [En línea]. Available: <https://www.ecu911.gob.ec/wp-content/uploads/2018/04/Informe-Fase-1-Proyecto-SAT.pdf>. [Último acceso: 30 05 2023].
- [9] seatemperature, «seatemperature.info,» [En línea]. Available: <https://seatemperature.info/es/ecuador/salinas-previsiones-de-olas.html>.

- [1 M. ocean, «MSM ocean,» 11 10 2023. [En línea]. Available: [https://msmocean.b-0\] cdn.net/wp-content/uploads/EBM24OC-Boya-Oceanografica.pdf](https://msmocean.b-0] cdn.net/wp-content/uploads/EBM24OC-Boya-Oceanografica.pdf). [Último acceso: 22 11 2024].
- [1 I. d. C. d. Mar, «ICM,» 12 2021. [En línea]. Available: 1] <https://www.physocean.icm.csic.es/IntroOc/lecture13-es.html#p2>. [Último acceso: 22 11 2024].
- [1 MSMOcean, «MSMOcean,» [En línea]. Available: [https://msmocean.com/sensor-de-2\] oleaje/](https://msmocean.com/sensor-de-2] oleaje/). [Último acceso: 2023].
- [1 CELSIA, «Paneles solares ¿Cómo funcionan y qué son?,» CELSIA, 05 05 2018. [En 3] línea]. Available: <https://www.celsia.com/es/blog-celsia/paneles-solares-como-funcionan-y-que-son/>. [Último acceso: 18 11 2024].
- [1 Rayssa, «Regulador de carga: fundamental en los paneles solares para un uso óptimo,» 4] Rayssa, 13 11 2020. [En línea]. Available: <https://www.rayssa.cl/regulador-de-carga-fundamental-en-los-paneles-solares-para-un-uso-optimo/>. [Último acceso: 18 11 2024].
- [1 Enersys, «Baterías solares de almacenamiento para sistemas renovables,» Enersys, 15 5] 03 2023. [En línea]. Available: <https://enersys.com.mx/blog/baterias-solares/>. [Último acceso: 18 11 2024].
- [1 SOLARAMA, «¿Qué es el medidor de consumo eléctrico para sistemas fotovoltaicos?,» 6] SOLARAMA, 2019. [En línea]. Available: <https://solarama.mx/blog/medidor-de-consumo-electrico/>. [Último acceso: 18 11 2024].
- [1 D. L. G. R. M. P. D. E. M. P. y. F. J. O. O. Zizilia Zamudio Beltrán, «Universidad de 7] La Salle,» 5 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://ingenieria.lasalle.mx/la-importancia-y-aplicaciones-de-los-microcontroladores-en-la-electronica/>.
- [1 A. Arduino, «Aprendiendo Arduino,» 26 06 2016. [En línea]. Available: 8] <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/06/26/microcontroladores-2/>. [Último acceso: 22 11 2024].

- [1] ariat-tech, «ariat-tech,» 12 06 2024. [En línea]. Available: <https://www.ariat-tech.es/blog/comprehensive-analysis-of-microcontrollers.html>. [Último acceso: 08 08 2023].
- [2] J. Z. y. L. Chen, «Modulos de comunicacion inalambrica para aplicaciones IoT: una revision comparativa y analisis de rendimiento,» de *Internet of Things Journal*, 2017, pp. 4567-4580.
- [2] DIGI, «XBee,» [En línea]. Available: <https://xbee.cl/que-es-xbee/>. [Último acceso: 08 11 2023].
- [2] S. C., «Comunicación I2C en Microcontroladores PIC: Guía Completa con Ejemplos,» control automatico educacion , 26 06 2016. [En línea]. Available: <https://controlautomaticoeducacion.com/sistemas-embedidos/microcontroladores-pic/comunicacion-i2c/>. [Último acceso: 18 11 2024].
- [2] J. Krauss, «Por qué y cómo usar la interfaz periférica serial para simplificar las conexiones entre distintos dispositivos,» Digikey, 17 03 2020. [En línea]. Available: <https://www.digikey.es/es/articles/why-how-to-use-serial-peripheral-interface-simplify-connections-between-multiple-devices#:~:text=La%20SPI%20fue%20desarrollada%20por,entre%20dispositivos%20a%20corta%20distancia..> [Último acceso: 18 11 2024].
- [2] T. Moes, «¿Qué es bluetooth? Todo lo que necesita saber,» SoftwareLab, 07 2023. [En línea]. Available: <https://softwarelab.org/es/blog/que-es-bluetooth/>. [Último acceso: 18 11 2024].
- [2] A. K. Shilpa Devalal, «IEEE,» 30 09 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8474715>. [Último acceso: 22 11 2024].
- [2] CICESE, «Se instala e inicia pruebas la primer boya oceanográfica BOMM construida en CICESE,» CICESE, 15 12 2017. [En línea]. Available: <https://todos.cicese.mx/sitio/noticia.php?n=1082>. [Último acceso: 01 08 2023].

- [2] Gobierno el Salvador, «snet,» 2008. [En línea]. Available:  
7] <https://www.snet.gob.sv/ver/oceanografia/seccion+educativa/descripcion+del+viento+y+oleaje/>.
- [2] S. S. Compte, «Comunicaciones inalámbricas subacuáticas a 2,4 GHz para la  
8] transmisión de datos con altas tasas de transferencia,» Universidad Politecnica de Valencia, 2011.
- [2] E. F. Z. Diaz y J. A. A. Rodriguez, «DESARROLLO DE UN SISTEMA DE  
9] ADQUISICIÓN, TRANSMISIÓN Y MONITOREO PARA UNA RED DE SENSORES DE PRECIPITACIÓN.,» UNIVERSIDAD DE LA SALLE, 2020.
- [3] INOCAR, «INOCAR,» [En línea]. Available:  
0] <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/noticias/267-boya-oceanografica-se-instalo-en-jambeli>. [Último acceso: 01 08 2023].
- [3] C. A. Pérez Vinueza y A. E. Bustos Tobar, ESPOL. FIEC, Guayaquil, 2016.  
1]
- [3] Datawell, «Datawell Warider Buoy,» 2024. [En línea]. Available:  
2] <https://www.datawell.nl/Product..> [Último acceso: 25 09 2024].
- [3] Newpowa, «Newpowa,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.newpowa.com/5w-3-12v-monocrystalline-solar-panel/#label1>. [Último acceso: 09 09 2024].
- [3] Renogy, «Renogy,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.renogy.com/wanderer-4-10a-pwm-charge-controller/>. [Último acceso: 09 09 2024].
- [3] F. Power, «Bateria Recargable Seca 12V 5Ah,» Mercado Libre, 2023. [En línea].  
5] Available: <https://www.mercadolibre.com.ec/p/first-power-bateria-seca-recargable-12v-5ah>. [Último acceso: 03 10 2024].
- [3] E. Systems, «ESP32 Technical Reference Manual,» 2022. [En línea]. Available:  
6] [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_technical\\_reference\\_manual\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf). [Último acceso: 01 09 2024].

- [3 U. ELECTRONICS, «"GY-8710DOF MPU6050 HMC5883L BMP180 Sensor Module",» 10 2018. [En línea]. Available: <https://5.imimg.com/data5/LF/FE/MY-1833510/gy-87-10dof-mpu6050-hmc5883l-bmp180-sensor-module.pdf>. [Último acceso: 03 09 2024].
- [3 M. Integrated, «"DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer",» 8] 2019. [En línea]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ds18b20.pdf>. [Último acceso: 03 09 2024].
- [3 CATASENSORS, «CATASENSORS,» 2011. [En línea]. Available: 9] <https://www.catsensors.com/es/lorawan/tecnologia-lora-y-lorawan>. [Último acceso: 05 09 2024].
- [4 E. Systems, «Arduino IDE: Open-source software for programing Arduino boards and 0] microcontrollers,» Arduino.cc, [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/software>. [Último acceso: 13 09 2024].
- [4 Arduino, «Wire Library: Two Wire interface (TWI/I2C) for sending and reciving data,» 1] Arduino, [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/reference/wire>. [Último acceso: 16 09 2024].
- [4 Arduino, «SPI: Serial Peripheral interface library,» Arduino, [En línea]. Available: 2] <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/spi/>. [Último acceso: 16 09 2024].
- [4 S. Mistry, «LoRa Library for Arduino and ESP32,» [En línea]. Available: 3] <https://github.com/sandeepmistry/arduino-LoRa>. [Último acceso: 17 09 2024].
- [4 A. Industries, «Adafruit BMP085 Unified Sensor Driver,» GitHub repository, [En 4] línea]. Available: <https://github.com/adafruit/Adafruit-BMP085-Library>. [Último acceso: 17 09 2024].

- [4 M. Burton, «Biblioteca de control de temperatura de Arduino,» GitHub, [En línea].  
5] Available: <https://github.com/milesburton/Arduino-Temperature-Control-Library>.  
[Último acceso: 22 09 2024].
- [4 Arduino, «Wi-Fi Library Documentation,» EiFi Library for Arduino, 2024. [En línea].  
6] Available: <https://www.arduino.cc/en/Reference/WiFi>. [Último acceso: 03 10 2024].
- [4 H. L. Documentation, «HTTPClient for Arduino,» Arduino Documentation, 2024. [En  
7] línea]. Available: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/httpclient>. [Último  
acceso: 03 10 2024].
- [4 ARDUINO, «Cliente PubSub,» ARDUINO, 2024. [En línea]. Available:  
8] <https://reference.arduino.cc/reference/en/libraries/pubsubclient/>. [Último acceso: 27 10  
2024].
- [4 P. N. Monitor, «Comprension del protocolo MQTT,» Paessler, 2023. [En línea].  
9] Available: <https://www.paessler.com/it-explained/mqtt>. [Último acceso: 27 10 2024].
- [5 P. PRTG, «Monitoreo de MySQL con PRTG,» Paessler, [En línea]. Available:  
0] [https://www.paessler.com/mysql\\_monitoring](https://www.paessler.com/mysql_monitoring). [Último acceso: 27 10 2024].
- [5 F. G. d. Zuñiga, «HeidiSQL:¿que es y para que sirve?,» arsys, 12 01 2024. [En línea].  
1] Available: <https://www.arsys.es/blog/heidisql-que-es-y-para-que-sirve>. [Último acceso:  
27 10 2024].
- [5 L. A. A. Duran, «PuTTY - cliente SSH Y Telnet para windows,» EI Expertos en  
2] Informatica, [En línea]. Available: <https://expertoeninformatica.es/putty/>. [Último  
acceso: 27 10 2024].
- [5 U. p. d. Java, «Que es MobaXterm,» Un poco de Java, 04 04 2016. [En línea]. Available:  
3] <https://unpocodejava.com/2016/04/04/que-es-mobaxterm/>. [Último acceso: 27 10  
2024].
- [5 EMQX, «The #1 MQTT Plataform for IoT,» EMQX, [En línea]. Available:  
4] <https://www.emqx.com/en>. [Último acceso: 27 10 2024].

- [5] AWS, «Que es un servidor privado virtual VPS?,» AWS, 2023. [En línea]. Available: 5] <https://aws.amazon.com/what-is/vps/>. [Último acceso: 27 10 2024].
- [5] RZ, «Que es y para que sirve el SSH,» RZ redes zone, 01 05 2024. [En línea]. Available: 6] <https://www.redeszone.net/tutoriales/internet/protocolo-ssh-usos/>. [Último acceso: 27 10 2024].
- [5] I. Ordorica, «Que es Google Cloud y para que sirve,» Incentro, 19 08 2020. [En línea]. 7] Available: <https://www.incentro.com/es-ES/blog/que-es-google-cloud-platform>. [Último acceso: 27 10 2024].
- [5] R. Mrin, «Sepa todo sobre Grafana: la plataforma de observabilidad abierta,» 8] GrafanaLab, 02 2022. [En línea]. Available: [https://go2.grafana.com/2022-02\\_SpanishSeminarsOverview.html](https://go2.grafana.com/2022-02_SpanishSeminarsOverview.html). [Último acceso: 26 10 2024].
- [5] I. Autodesk, «Autodesk Revit: software de modelado de informacion de construccion 9] para arquitectura, ingenieria y construccion,» [En línea]. Available: [https://www.autodesk.com/products/revit/overview?us\\_oa=dotcom-us&us\\_si=fe8e62ff-6aac-43c7-acc5-ab41c8b16ef5&us\\_st=revit&us\\_pt=RVT&term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RVT](https://www.autodesk.com/products/revit/overview?us_oa=dotcom-us&us_si=fe8e62ff-6aac-43c7-acc5-ab41c8b16ef5&us_st=revit&us_pt=RVT&term=1-YEAR&tab=subscription&plc=RVT). [Último acceso: 22 09 2024].
- [6] DARRERA, «DARRERA,» [En línea]. Available: 0] <https://www.darrera.com/wp/es/producto/3r-edb200-boya-oceanografica/>. [Último acceso: 08 08 2023].
- [6] H. AUTOMATION, «Wi-Fi LoRa 32 (V3),» HELTEC AUTOMATION , 2023. [En 1] línea]. Available: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32-v3/>. [Último acceso: 01 10 2024].
- [6] MEGATRONICA, «MEGATRONICA,» [En línea]. Available: 2] <https://megatronica.cc/producto/modulo-transceptor-lora-sx1278-ra-02-433-mhz/>. [Último acceso: 05 09 2024].

[6] TagoIO, «TagoIO: Plataforma de visualización y gestión de datos en tiempo real para proyectos IoT,» [En línea]. Available: <https://tago.io>. [Último acceso: 22 09 2024].

# ANEXOS

## Anexo 1

### Código Arduino Emisor

```
#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Definir pines LoRa
#define SCK 18
#define MISO 19
#define MOSI 23

// Banda de frecuencia según la región
#define BAND 433E6 // Ajusta la frecuencia a la banda de tu región
#define SS 5
#define RST 14
#define DIO0 2

// Definir el pin del DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS 26

// Crear instancias de los sensores
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); // DS18B20
DallasTemperature sensors(&oneWire); // DS18B20

Adafruit_BMP085 bmp; // Sensor barométrico

// Variables para los sensores

double altitude1, altitude2, Altura_ola,altitude1_1,altitude2_1;
unsigned long start_time;

float Temperatura;
float Presion;
float tempDS18B20; // Temperatura del sensor DS18B20

// String para enviar datos vía LoRa
String LoRaMessage = "";
```

```

//*****FILTRADO*****
*****

float med1, med2 ;
const int Dimension_de_ventana = 20;
int buffer_circular[Dimension_de_ventana];
int* Accesor_de_bufer_circular = buffer_circular;

// Variables globales inicializadas
long sum = 0;
int Contador_de_elementos = 0;

void agregar_al_bufer(int valor)
{
  *Accesor_de_bufer_circular = valor;
  Accesor_de_bufer_circular++;

  // Implementar el buffer circular
  if (Accesor_de_bufer_circular >= buffer_circular + Dimension_de_ventana) {
    Accesor_de_bufer_circular = buffer_circular;
  }
}

float Agregar_Valor(int valor)
{
  sum -= *Accesor_de_bufer_circular; // Restar el valor anterior del buffer
  sum += valor; // Agregar el nuevo valor
  agregar_al_bufer(valor);

  if (Contador_de_elementos < Dimension_de_ventana) {
    ++Contador_de_elementos; // Incrementar el número de elementos hasta el
    tamaño del buffer
  }

  return (float)sum / Contador_de_elementos; // Devolver la media
}

void setup() {
  // Iniciar la comunicación serial
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial);

  // Iniciar LoRa
  Serial.println("Iniciando Host LoRa");
  LoRa.setPins(SS, RST, DI00);
}

```

```

if (!LoRa.begin(BAND)) {
  Serial.println("Error en LoRa");
  while (1);
}

// Iniciar sensores BMP085 y HMC5883L
if (!bmp.begin()) {
  Serial.println("Error con BMP085");
  while (1) {}
}

// Iniciar DS18B20
sensors.begin();
}

void loop() {
  // Obtener temperatura del DS18B20
  sensors.requestTemperatures();
  tempDS18B20 = sensors.getTempCByIndex(0);

  // Medir altitudes y calcular altura de ola
  start_time = millis();
  while(millis() - start_time < 500) {
    altitude1 = bmp.readAltitude();
    med1 = Agregar_Valor(altitude1);
  }

  start_time = millis();
  while(millis() - start_time < 1500) {
    altitude2 = bmp.readAltitude();
    med2 = Agregar_Valor(altitude2);
  }

  Altura_ola = (med2 - med1) / 2;

  // Obtener datos de temperatura y presión del BMP085
  Temperatura = bmp.readTemperature();
  Presion = bmp.readPressure();

  // Imprimir datos en serial
  Serial.print("Temperatura DS18B20: ");
  Serial.print(tempDS18B20);
}

```

```

Serial.println(" °C");
Serial.print("Temperatura BMP085: ");
Serial.print(Temperatura);
Serial.println(" °C");
Serial.print("Presión: ");
Serial.print(Presion);

Serial.println(" Pa");
Serial.print("Altitud anterior: ");
Serial.print(altitude1);
Serial.println(" m");
Serial.print("Altitud actual: ");
Serial.print(altitude2);
Serial.println(" m");
Serial.print("Altitud 1 FILTRADO: ");
Serial.println(med1);
Serial.print("Altitud 2 FILTRADA: ");
Serial.print(med2);
Serial.println("Altura de ola: ");
Serial.println(Altura_ola);
Serial.println(" m");

// Crear mensaje LoRa
LoRaMessage = String(tempDS18B20) + "&" + String(Temperatura) + "/" +
String(Presion) + "#" + String(Altura_ola) ;

// Enviar mensaje vía LoRa
LoRa.beginPacket();
LoRa.print(LoRaMessage);
LoRa.endPacket();
Serial.println("Tiempo completo");
}

```

### Código Arduino Receptor

```

#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>

// Pines del módulo LoRa
#define SCK 18

```

```

#define MISO 19
#define MOSI 23

#define SS 5
#define RST 14
#define DIO0 2

String Temperatura;
String Presion;
String altitudReal;
String tempDS18B20;

float f_Temperatura,f_Presion,f_altitudReal,f_tempDS18B20;
String s_beaufort;
//*****
// Credenciales Red WiFi
#define WIFI_SSID "De quién es ese culito"
#define WIFI_PASSWORD "Tuyopapi"

// Credenciales Adafruit
#define MQTT_USER "web_iot_cliente"
#define USER_KEY "web1234abcd"
// Servidor
#define ADAFRUIT_SERVER "34.123.195.87"
#define ADAFRUIT_PORT 1883
char ADAFRUIT_ID[30];
// Publicar
#define TOPIC_DATA_f_tempDS18B20 MQTT_USER "/LoRa/tempDS18B20"
#define TOPIC_DATA_f_Temperatura MQTT_USER "/LoRa/Temperatura"
#define TOPIC_DATA_f_Presion MQTT_USER "/LoRa/Presion"
#define TOPIC_DATA_f_altitudReal MQTT_USER "/LoRa/altitudReal"
// Publicar
#define TOPIC_DATA_STR MQTT_USER "/LoRa/Ard_Strg"
// Suscripción
#define TOPIC_DATA_IN MQTT_USER "/LoRa/data_in"

//*****
//*****
String StrDataLoraIn;

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
void setup_wifi();
void callback(char* topic, byte* payload, unsigned int length);
void reconnect();

```

```

void mqtt_publish(String feed, int val);
void get_MQTT_ID();
//*****

void getLoRaData();

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  while (!Serial);
  Serial.println("Receiver Host");

  //*****
  get_MQTT_ID();
  setup_wifi();
  client.setServer(ADAFRUIT_SERVER, ADAFRUIT_PORT);
  client.setCallback(callback);
  //*****

  SPI.begin(SCK, MISO, MOSI, SS); //Definimos pines SPI
  LoRa.setPins(SS, RST, DI00);
  if (!LoRa.begin(433E6)) { // Frecuencia en MHz
    Serial.println("LoRa Error");
    while (1);
  }

}

void loop() {

  if (!client.connected())
  {
    reconnect();
  }
  client.loop();

  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {

    getLoRaData();

    f_Temperatura = Temperatura.toFloat();
    f_Presion = Presion.toFloat();
    f_tempDS18B20 = tempDS18B20.toFloat();

```

```

f_altitudReal = altitudReal.toFloat();

    if ((f_altitudReal >0) && (f_altitudReal <= 0.1)){s_beaufort = "CALMA";}
    if ((f_altitudReal >0.1) && (f_altitudReal <= 0.2)){s_beaufort =
"RIZADA";}
    if ((f_altitudReal >0.2) && (f_altitudReal <= 0.5)){s_beaufort =
"MAREJADILLA";}
    if ((f_altitudReal >0.5) && (f_altitudReal <= 1.25)){s_beaufort =
"MAREJADA";}
    if ((f_altitudReal >1.25) && (f_altitudReal <= 2.5)){s_beaufort =
"FUERTE MAREJADA";}
    if ((f_altitudReal >2.5) && (f_altitudReal <= 4)){s_beaufort =
"GRUESA";}
    if ((f_altitudReal >4) && (f_altitudReal <= 6)){s_beaufort = "MUY
GRUESA";}
    if ((f_altitudReal >6) && (f_altitudReal <= 9)){s_beaufort =
"ARBOLADA";}
    if ((f_altitudReal >9) && (f_altitudReal <= 14)){s_beaufort =
"MONTANOSA";}
    if (f_altitudReal >14){s_beaufort = "ENORME";}

    Serial.println();
    StrDataLoraIn = String(f_Temperatura) + "@" + String(f_tempDS18B20) +
"@"+ String(f_Presion) + "@"+ String(f_altitudReal)+ "@"+
String(s_beaufort);

    mqtt_publish_str(TOPIC_DATA_STR, StrDataLoraIn);

    Serial.println();
    Serial.print("Temperatura: ");
    Serial.print(Temperatura);
    Serial.print(" °C");
    Serial.println();

    Serial.print("Presion: ");
    Serial.print(Presion);
    Serial.print(" Pa");
    Serial.println();

    Serial.print("Altura de la ola: ");
    Serial.print(altitudReal);
    Serial.print(" m");

```

```

    Serial.println();

    Serial.print("Temperatura DS18B20: ");
    Serial.print(tempDS18B20);
    Serial.print(" °C");
    Serial.println();

    Serial.print("BEAUFORT: ");
    Serial.print(s_beaufort);
    Serial.print(" m");
    Serial.println();

}
}

void getLoRaData() {
    Serial.print("Lora packet received: ");
    // Read packet
    while (LoRa.available()) {
        String LoRaData = LoRa.readString();
        // LoRaData format: readingID/temperature&soilMoisture#batterylevel
        // String example: 1/27.43&654#95.34
        Serial.print(LoRaData);

        // Get readingID, temperature and soil moisture
        int pos1 = LoRaData.indexOf('&');
        int pos2 = LoRaData.indexOf('/');
        int pos3 = LoRaData.indexOf('#');
        tempDS18B20 = LoRaData.substring(0, pos1);
        Temperatura = LoRaData.substring(pos1 +1, pos2);
        Presion= LoRaData.substring(pos2+1, pos3);
        altitudReal= LoRaData.substring(pos3+1, LoRaData.length());

    }
}

//*****
//*****
// Función para Publicar por MQTT
void mqtt_publish(String feed, float val){

```

```

    String value = String(val,2);
    if(client.connected()){
        client.publish(feed.c_str(), value.c_str());
        Serial.println("Publicando al t3pico: " + String(feed) + " |
mensaje: " + value);
    }
}

void mqtt_publish_str(String feed, String val){

    if (client.connected()) {
        client.publish(feed.c_str(), val.c_str());
        Serial.println("Publicando al t3pico: " + String(feed) + " |
mensaje: " + val);
    }
}

//*****
//***    CONEXION WIFI    ***
//*****
void setup_wifi()
{
    delay(10);

    // Nos conectamos a nuestra red Wifi
    Serial.println();
    Serial.print("Conectando a ");
    Serial.println(String(WIFI_SSID));

    //Serial.println(ssid);
    WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }

    Serial.println("");
    Serial.println("Conectado a red WiFi!");
    Serial.println("Direcci3n IP: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}

// Funci3n para capturar data por MQTT
void callback(char *topic, byte *payload, unsigned int length)

```

```

{
  String mensaje = "";
  String str_topic(topic);

  for (uint16_t i = 0; i < length; i++){
    mensaje += (char)payload[i];
  }

  mensaje.trim();

  Serial.println("Tópico: " + str_topic);
  Serial.println("Mensaje: " + mensaje);
}

// Capturar el ChipID para Id de MQTT
void get_MQTT_ID(){
  uint64_t chipid = ESP.getEfuseMac();
  snprintf(ADAFRUIT_ID, sizeof(ADAFRUIT_ID),"%llu", chipid );
}

void reconnect()
{
  while (!client.connected())
  {
    if(client.connect(ADAFRUIT_ID, MQTT_USER, USER_KEY))
    {
      Serial.println("MQTT conectado!");
      client.subscribe(TOPIC_DATA_IN);
      Serial.println("Suscrito al tópico: " + String(TOPIC_DATA_IN));
    } else {
      Serial.print("falló :( con error -> ");
      Serial.print(client.state());
      Serial.println(" Intentamos de nuevo en 5 segundos");
      delay(5000);
    }
  }
}

//*****
//*****

```

## Anexo 2

### Código de Integración de IoT y Bases de Datos en un Sistema de Monitoreo de Oleaje Utilizando MQTT y MYSQL

```
var mysql = require('mysql');
var mqtt = require('mqtt');

//CREDENCIALES MYSQL
var con = mysql.createConnection({
  host: "34.123.195.87",
  user: "sqlheidy",
  password: "SqlHeidy#User$2023",
  database: "bd_olas"
});

//CREDENCIALES MQTT
var options = {
  port: 1883,
  host: '34.123.195.87',
  clientId: 'esp_iot_vps' + Math.round(Math.random() * (0 - 10000) * -1),
  username: 'web_iot_cliente',
  password: 'web1234abcd',
  keepalive: 60,
  reconnectPeriod: 1000,
  protocolId: 'MQIsdp',
  protocolVersion: 3,
  clean: true,
  encoding: 'utf8'
};

var client = mqtt.connect("mqtt://34.123.195.87", options);

//SE REALIZA LA CONEXION
client.on('connect', function() {
  console.log("Conexion MQTT Exitosa!");
  client.subscribe('web_iot_cliente/LoRa/Ard_Strg', function(err) {
    console.log("Subscripcion exitosa!");
  });
});

//CUANDO SE RECIBE MENSAJE
client.on('message', function(topic, message) {
  console.log("Mensaje recibido desde -> " + topic + " Mensaje -> " + message.toString());
});
```

```

// Procesa solo si el topic es el adecuado
if (topic == "web_iot_cliente/LoRa/Ard_Strg") {
    // Dividir el mensaje en partes usando "@" como delimitador
    var msg = message.toString();
    var sp = msg.split("@");

    var temperatura = sp[0];
    var ds18b20 = sp[1];
    var presion = sp[2];
    var altura = sp[3];
    var beaufort = sp[4];

    console.log("temperatura -> " + temperatura);
    console.log("ds18b20 -> " + ds18b20);
    console.log("presion -> " + presion);
    console.log("altura -> " + altura);
    console.log("beaufort -> " + beaufort);

    // Inserción en la tabla `tb_olas`
    var query = "INSERT INTO `tb_olas` (`temperatura`, `ds18b20`, `presion`, `altura`,
`beaufort`) VALUES ("
        + temperatura + "', '"
        + ds18b20 + "', '"
        + presion + "', '"
        + altura + "', '"
        + beaufort + "');";

    con.query(query, function(err, result, fields) {
        if (err) throw err;
        console.log("Fila insertada correctamente en tb_olas");
    });
}
});

//Conexión a la base de datos MySQL
con.connect(function(err) {
    if (err) throw err;
    console.log("Conexion a MYSQL exitosa!!!");
});

//Mantiene la conexión MySQL abierta con una consulta periódica
setInterval(function() {

```

```
var query = 'SELECT 1 + 1 as result';
con.query(query, function(err, result, fields) {
    if (err) throw err;
});
}, 5000);
```

### Anexo 3

#### implementación física del sensor y el sistema de alimentación en la boya de monitoreo

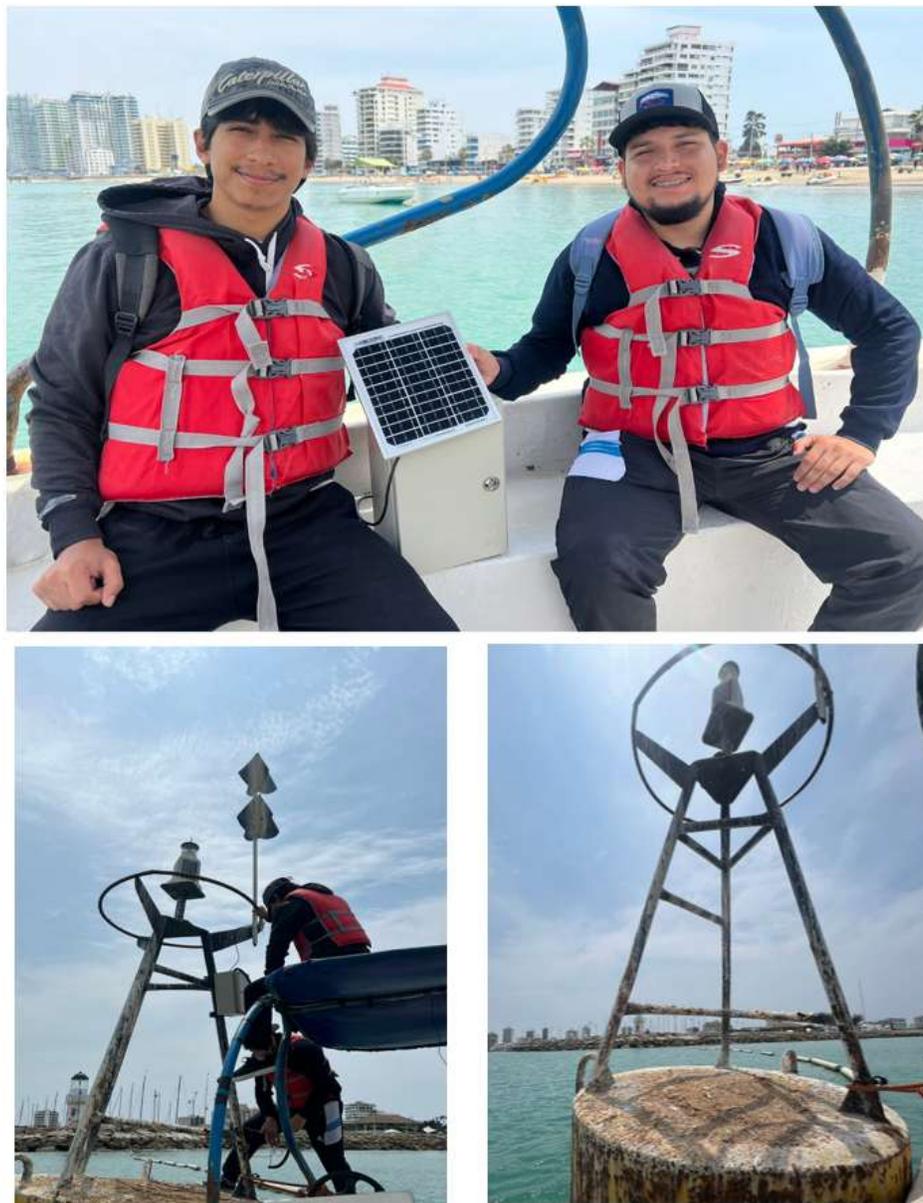
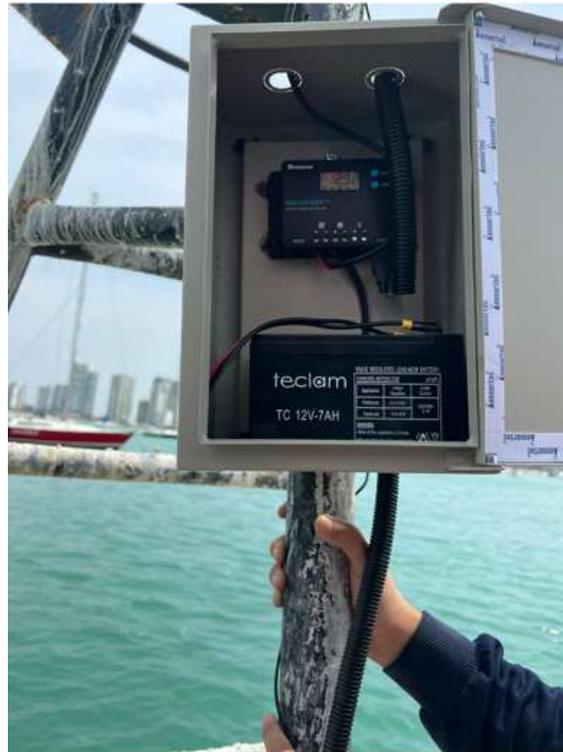


Fig. Anexo 1 Colocación del sensor de oleaje el sistema de alimentación en la boya de monitoreo



*Fig. Anexo 2 Instalación de panel solar y antena inalámbrica*



*Fig. Anexo 3 Sistema de alimentación*



*Fig. Anexo 4 Boya con el sistema de monitoreo*



*Fig. Anexo 5 Monitoreo de datos*



*Fig. Anexo 2 Plataforma de monitoreo*



# TESIS\_MONITOREO\_FINAL\_4

2%  
Textos sospechosos



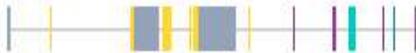
2% Similitudes  
0% similitudes entre comillas  
0% entre las fuentes mencionadas  
9% Idiomas no reconocidos (ignorado)  
9% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: TESIS\_MONITOREO\_FINAL\_4.docx  
ID del documento: 7f3e48be8df033b81269c3bdf4f9d0ce76d61  
Tamaño del documento original: 19,71 MB  
Autores: []

Depositante: LUIS ENRIQUE CHUQUIMARCA JIMENEZ  
Fecha de depósito: 28/11/2024  
Tipo de carga: interfaz  
fecha de fin de análisis: 28/11/2024

Número de palabras: 29.367  
Número de caracteres: 196.242

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #da0562 El documento proviene de otro grupo 4 fuentes similares	7%		Palabras idénticas: 7% (2010 palabras)
2	Documento de otro usuario #d31c8b El documento proviene de otro grupo 3 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (633 palabras)
3	www.snet.gob.sv   MARN - Descripción del viento y oleaje <a href="https://www.snet.gob.sv/ser/oceanografalabconeducativa/descripcion-del-viento-y-oleaje">https://www.snet.gob.sv/ser/oceanografalabconeducativa/descripcion-del-viento-y-oleaje</a> 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (159 palabras)
4	www.dspace.espol.edu.ec   Telemetría de boyas meteorológica costera con software... <a href="https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/38481">https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/38481</a> 1 fuente similar	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #d3e482 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (16 palabras)
2	Documento de otro usuario #98a04 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
3	repositoriotec.tec.ac.cr <a href="https://repositorio.tec.ac.cr/bitstream/2238/13223/1/TFG_Aldan_Hernandez_Quesada.pdf">https://repositorio.tec.ac.cr/bitstream/2238/13223/1/TFG_Aldan_Hernandez_Quesada.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
4	activosolar.com   [Regulador de Carga Solar] Guía completa y Consejos   2024 <a href="https://activosolar.com/reguladores-de-carga-solar/">https://activosolar.com/reguladores-de-carga-solar/</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
5	cigom.org   Se instala e inicia pruebas la primer boyas oceanográfica BOMM construi... <a href="https://cigom.org/noticias/se-instala-e-inicia-pruebas-la-primer-boya-oceanografica-bomm-constru...">https://cigom.org/noticias/se-instala-e-inicia-pruebas-la-primer-boya-oceanografica-bomm-constru...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

## Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <https://www.hostingplus.pe/wp-content/uploads/2023/10/beneficios-seo-de-hostingvps.jpg>
- <https://seatemperature.info/es/chilipe-previsiones-de-olas.html>
- <https://www.aoml.noaa.gov/es/news/spotter-drifter-deployments/>
- <https://www.aoml.noaa.gov/ar-go/#argodata>
- <https://www.inocar.mil.ec/web/index.php/planetario-de-la-arma-da/36-informes-tecnicos>

