



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE
SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta Tecnológica, previo a la obtención del Título de:

**INGENIERIA EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**“Prototipo dron naval para la adquisición de parámetros
de calidad del agua en la zona marina costera de Salinas”**

AUTOR

MERLY ELIZABETH VERA BALÓN

PROFESOR TUTOR

ING.SENDEY AGUSTÍN VERA GONZÁLEZ, MACI

LA LIBERTAD - ECUADOR

2020

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios por permitirme llegar a cumplir esta meta y ser el pilar fundamental, por ser luz y fortaleza en mi vida que, a través de todas las experiencias, momentos de dificultades me han ayudado a crecer como persona.

A mis padres, por el apoyo y sacrificio a lo largo de estos años impulsándome a seguir adelante.

A todas mis tías que han estado pendiente de mi muchas veces sus palabras me llenaban de ánimo.

A mi tutor por haberme guiado en este proceso y lograr finalizar este trabajo.

A mis amigos más cercanos que gracias a la verdadera amistad fomentada hemos compartidos buenos momentos gracias por haber sido parte de este proceso.

DEDICATORIA

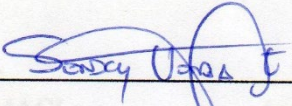
A mis padres **Carlos Vera** y **Antonia Balón** que me han inculcado valores que gracias a sus oraciones y consejos me han animado siempre, por todo el esfuerzo y confianza que han depositado en mí, gracias por formar parte de mi proceso de formación académica y espiritual, siempre viviré agradecida con Dios por darme unos padres ejemplares y maravillosos.

Merly Elizabeth Vera Balón

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del trabajo de titulación denominado **“Prototipo dron naval para la adquisición de parámetros de calidad del agua en la zona marina costera de Salinas”** elaborado por la estudiante **Vera Balón Merly Elizabeth**, de la carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

La Libertad, 27 de Enero del 2020.

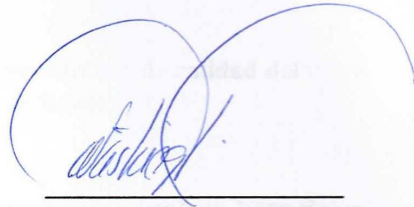


Ing. Sendey Vera González, MACI

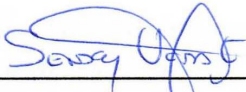
TRIBUNAL DE GRADO




Ing. Freddy Villao Santos, MSc.
DECANO DE FACULTAD



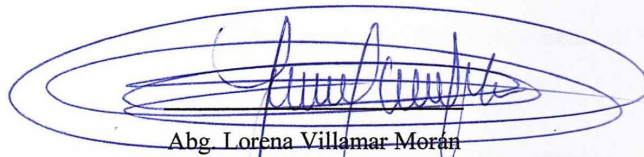
Ing. Washington Torres Guin, MSc.
DIRECTOR DE CARRERA



Ing. Sendey Vera González, MACI
TUTOR DE TESIS



Ing. Luis Chuquimarca Jiménez MSc.
TUTOR DE ÁREA



Abg. Lorena Villamar Moran
SECRETARIA GENERAL

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES
CARRERA ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

**“Prototipo dron naval para la adquisición de parámetros de calidad del agua
en la zona marina costera de Salinas”**

Autor: Merly Elizabeth Vera Balón

Tutor: Sendey Vera González

RESUMEN

En este trabajo se presenta la construcción del prototipo dron naval utilizado para recolectar información con fines ambientales marinos, en la elaboración del diseño físico se empleó materiales de bajo costo, también se realizó impresiones en 3D (Tres Dimensiones) para que el diseño este acorde a un prototipo de navegación estable con sistema remoto, se emplea la comunicación por radiofrecuencia a larga distancia hasta 1km, este proyecto consiste de dos partes, primero la herramienta oceanográfica CTD (Conductivity-Temperature-Depth) que incluye dos sensores, encargados de recopilar toda la información de las variables que son guardadas en memoria SD (Secure Digital) para luego presentar un cuadro grafico con datos estadísticos para dar a conocer los parámetros de calidad del agua en la zona marino costera de Salinas, la segunda parte consiste en la implementación del control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para corregir el direccionamiento de navegación del prototipo.

El prototipo naval tipo catamarán realiza un recorrido en la superficie marina con sus propulsores subacuático colocados uno en cada casco de la parte externa, y en su parte interna cápsulas o domos ensamblados herméticamente que contienen dispositivos electrónicos. Todos los circuitos electrónicos se encuentran asegurados en una placa de baquelita para evitar los movimientos que existen en altamar.

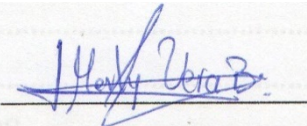
ABSTRACT

In this work the construction of the naval drone prototype used to collect information for marine environmental purposes is presented, in the preparation of the physical design low cost materials were used, 3D prints (Three Dimensions) were also made so that the design is consistent with a prototype of stable navigation with remote system, long-distance radio frequency communication is used up to 1km, this project consists of two parts, first the CTD (Conductivity-Temperature-Depth) oceanographic tool that includes two sensors, responsible for collecting all the information of the variables that are stored in SD (Secure Digital) memory and then present a graphic chart with statistical data to publicize the parameters of water quality in the coastal marine area of Salinas, the second part consists of the implementation of the control PID (Proportional-Integral-Derivative) to correct the navigation routing of l prototype.

The catamaran-type naval prototype takes a tour of the marine surface with its underwater thrusters placed one in each hull of the external part, and in its internal part capsules or domes hermetically assembled that contain electronic devices. All electronic circuits are secured on a bakelite plate to avoid movements that exist at sea.

DECLARACIÓN

El contenido del presente trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena.



Merly Elizabeth Vera Baló

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO	I
DEDICATORIA.....	II
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	III
TRIBUNAL DE GRADO	IV
RESUMEN.....	V
ABSTRACT	VI
DECLARACIÓN	VII
TABLA DE CONTENIDOS.....	VIII
INDICE DE FIGURAS	XI
INDICE DE TABLAS.....	XIII
LISTA DE ANEXOS	XV
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
FUNDAMENTACIÓN	2
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos.....	4
1.4 RESULTADOS ESPERADOS	4
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.6 METODOLOGIA.....	6
CAPÍTULO II.....	7
PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	7
2.1 MARCO CONTEXTUAL.....	7
2.2 MARCO CONCEPTUAL	8
2.2.1 Microcontroladores.....	8
2.2.2 Control clásico de procesos	8
2.2.3 Actuadores	11
2.2.4 Protocolos de comunicación arduino.....	12
2.2.5 Comunicación inalámbrica	13

2.2.6 Datos oceanograficos.....	13
2.2.7 Almacenamiento de datos.....	14
2.2.8 Diseño 3d.....	14
2.3 MARCO TEORICO	14
2.4 COMPONENTES DE LA PROPUESTA.....	16
2.4.1 Componentes fisicos.....	16
2.4.1.1 Sensor de Presión- Profundidad Bar30	16
2.4.1.2 Sensor de Conductividad.....	17
2.4.1.3 Parámetros de calidad del agua	18
2.4.1.4 Motores T200 Thruster	20
2.4.1.5 Fuente de Alimentación	22
2.4.1.6 Módulo Nrf12401	22
2.4.1.7 Módulo mpu 6050 Giroscopio - acelerómetro.....	23
2.4.1.8 Módulo SD.....	24
2.4.1.9 Módulo GPS Neo -6M	24
2.4.1.10 Módulo Shield Joystick.....	25
2.4.1.11 Componentes físicos de la estructura.....	26
2.4.2 Componentes lógico	27
2.4.2.1 IDE Arduino.....	27
2.4.2.2 SketchUp.....	28
2.4.2.3 Fritzing	28
2.4.2.4 Ultimaker Cura.....	29
2.5 DISEÑO DE LA PROPUESTA.....	29
2.5.1 Esquema del prototipo	29
2.5.2 Diseño físico del prototipo.....	30
2.5.3 Diseño electrónico del dron naval	32
2.5.3.1 Sistema de accionamiento	32
2.5.3.2 Control de motores-PID	35
2.5.3.3 Diseño del módulo receptor	35
2.5.3.4 Diseño del módulo emisor	36
2.5.4 Diseño del sistema de monitoreo.....	36
2.5.4.1 Conexión sensor de conductividad.....	36
2.5.4.2 Conexión sensor de presión	37
2.5.4.3 Ubicación del prototipo.....	38

2.5.4.4 Guardado de información en tarjeta SD.....	38
2.5.4.5 Diseño de shield para arduino	39
2.6 COSTOS.....	41
2.7 PRUEBAS Y RESULTADOS	43
2.8 CONCLUSIONES.....	57
2.9 RECOMENDACIONES	58
2.10 BIBLIOGRAFÍA.....	59
ANEXOS.....	62

INDICE DE FIGURAS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Figura 1	Diagrama de bloques de un lazo de realimentación simple [9].....	9
Figura 2	Acción proporcional [37].....	10
Figura 3	Acción integral [37].....	10
Figura 4	Acción derivativa [37].....	11
Figura 5	Protocolo de comunicación SPI [36].....	12
Figura 6	Protocolo de comunicación I2C [36].....	13
Figura 7	Sensor de presión BAR30 [18].....	16
Figura 8	Sensor de profundidad [20].....	18
Figura 9	Motores T200 Thruster [24].....	20
Figura 10	Dimensiones Motores T200 Thruster [24].....	21
Figura 11	Batería Lipo.....	22
Figura 12	Modulo RF Nrf24L01.....	23
Figura 13	Módulo mpu 6050.....	23
Figura 14	Módulo SD.....	24
Figura 15	Modulo GPS Neo-6M.....	25
Figura 16	Módulo Shield Joystick.....	25
Figura 17	Tubos PVC 6 pulgadas.....	26
Figura 18	Tubos de aluminio.....	27
Figura 19	Software arduino.....	27
Figura 20	Software Sketchup.....	28
Figura 21	Software Fritzing.....	28
Figura 22	Software Ultimaker Cura.....	29
Figura 23	Esquema del prototipo.....	30
Figura 24	Prototipo Final Dron Naval -SketchUp.....	31
Figura 25	Implementación del dron naval.....	32
Figura 26	Diagrama de conexión Arduino-MPU-Motores-modulo nrf24l01.....	33
Figura 27	Diagrama Eléctrico Arduino-MPU-Motores-modulo nrf24l01.....	34
Figura 28	Diagrama de conexión -MPU6050.....	35
Figura 29	Diagrama de conexión – nrf24l01.....	35
Figura 30	Conexión Arduino- joystick-modulo nrf24l01.....	36

Figura 31 Conexión sensor de conductividad	37
Figura 32 Conexión sensor de Presión BAR 30.....	38
Figura 33 Conexión GPS	38
Figura 34 Conexión modulo SD	39
Figura 35 Diseño de pistas para Shield.....	39
Figura 36 Diseño de la PCB.....	40
Figura 37 Señal PWM en osciloscopio	45
Figura 38 Circuito electrónico -Motores.....	45
Figura 39 Señales PWM en Matlab	46
Figura 40 Diagrama de bloques control PID.....	47
Figura 41 Movimiento dron naval - ángulos.....	47
Figura 42 Grafica de valor inicial PID.....	50
Figura 43 Grafica de valor final PID.....	51
Figura 44 Ubicación en Google maps de los puntos GPS	52
Figura 45 Construcción dron naval.....	63
Figura 46 Prueba funcionamiento en piscina.....	63
Figura 47 Prueba de comunicación del dron naval	63
Figura 48 Prueba de funcionamiento dron naval en playa de San Lorenzo.....	63
Figura 49 Ingreso de coordenadas geográficas de los 8 puntos.....	63
Figura 50 Ubicación de puntos en Google maps	63

INDICE DE TABLAS

N°	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
Tabla 1	Especificaciones Técnicas Sensor Presión -Profundidad [18].....	17
Tabla 2	Especificaciones Técnicas Sensor de Conductividad [20].....	18
Tabla 3	Especificaciones Técnicas Motores T200 Thruster [24]	21
Tabla 4	Especificaciones Sistema Eléctrico Motores T200 Thruster [24].....	21
Tabla 5	Especificaciones Sistema Físico Motores T200 Thruster [24]	21
Tabla 6	Especificaciones Técnicas Batería Lipo	22
Tabla 7	Especificaciones Técnicas Modulo Nrf24l01	23
Tabla 8	Especificaciones Técnicas Módulo mpu 6050.....	24
Tabla 9	Especificaciones Técnicas Modulo SD.....	24
Tabla 10	Especificaciones Técnicas Modulo GPS Neo-6M	25
Tabla 11	Especificaciones Técnicas Módulo Shield Joystick.....	26
Tabla 12	Dimensiones Prototipo	32
Tabla 13	Pines de conexión arduino-mpu-Motores-módulo nrf2401	33
Tabla 14	Consumo Total del CTD	40
Tabla 15	Costos de materiales de estructura	41
Tabla 16	Costo de mano de obra.....	41
Tabla 17	Costos de materiales electrónicos	42
Tabla 18	Costo por traslado de campo	42
Tabla 19	Costo Final	42
Tabla 20	Descripción rango de flotación	43
Tabla 21	Descripción ideal rango de flotación	44
Tabla 22	Valores iniciales del MPU 6050	44
Tabla 23	Valores finales del MPU6050	44
Tabla 24	Registro de aceleración y giroscopio [38].....	48
Tabla 25	Formulas de las variables kp, ki, kd.....	49
Tabla 26	Valores iniciales y finales PID.....	50
Tabla 27	Ubicación inicial de la muestra.....	51
Tabla 28	Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.....	52
Tabla 29	Valores promedios distancia -velocidad- nudos	53
Tabla 30	Datos de la herramienta oceanográfica CTD	54

Tabla 31 Datos estadísticos Conductividad	55
Tabla 32 Datos estadísticos Salinidad- Sales totales disueltas.....	56
Tabla 33 Datos estadísticos Temperatura - Altitud.....	56
Tabla 34 Datos estadísticos Presión - Profundidad.....	57

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 Construcción y pruebas dron naval

Anexo 2 Código Funcionamiento Motores

Anexo 3 Código control inalámbrico

Anexo 4 Código CTD

Anexo 5 Enlace video

INTRODUCCIÓN

La implementación de los drones navales actualmente desempeña una labor importante, para el entorno social, ambiental y a su vez proyectando beneficios para la sociedad, previo a la poca investigación en la provincia se busca explorar y dar a conocer la calidad existente del agua en la zona marino costera de Salinas.

Esta propuesta tecnológica consta de dos capítulos, el primero se presenta la fundamentación en la que abarca los detalles que surgen de la necesidad por la falta de información en el entorno marítimo, dando apertura a la investigación en donde se analiza y describe el proyecto a desarrollar justificando su implementación, además se plantean objetivos y resultados esperados.

En el segundo capítulo se abordarán temas como el diseño y construcción del prototipo estilo catamarán identificando los materiales para la implementación mecánica y electrónica, en donde se describen los conceptos de cada elemento, se detalla el sistema de adquisición y almacenamiento de datos, control clásico de procesos, los protocolos de comunicaciones siendo de gran importancia en el desarrollo del proyecto. El prototipo navegará en la superficie del agua operado con un sistema remoto que a su vez recolecta muestras de datos con el uso de la herramienta oceanográfica CTD para la adquisición de parámetros de calidad del agua en la zona marino costera de Salinas en la playa de San Lorenzo, cada variable adquirida de temperatura, salinidad, conductividad, presión, profundidad, gravedad y sales totales disueltas se guardarán en la tarjeta SD con su ubicación, posteriormente esta información será presentada en cuadros estadísticos, se evalúa en cada prueba experimental distintos aspectos y condiciones que permita el desplazamiento en la superficie marina como lo es la estabilidad y direccionamiento de navegación con el control PID, también se indican los diagramas de conexión internas como externas del prototipo. Finalmente se detalla el estudio de factibilidad, conclusiones y recomendaciones que se han obtenido conforme a la elaboración de la propuesta tecnológica.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Con el pasar de los años los avances tecnológicos en sus diversas ramas tienen una evolución de gran impacto que hoy en día se ve reflejada en los inventos desarrollados, una de las creaciones en las cuales ha surgido grandes estudios e investigaciones son en los denominados drones navales dando apertura a distintas aplicaciones tales como impacto ambiental, seguridad portuaria, estudios oceanográficos y aplicaciones militares gracias al desenvolvimiento remoto o autónomo que poseen estos equipos [1].

En el artículo publicado en la Conferencia de Australasia sobre robótica y automatización con el tema vehículo de superficie autónomo para el monitoreo de la calidad del agua menciona que el dispositivo es capaz de navegar a través de complejos almacenamientos de aguas y medir una gama de propiedades de la calidad del agua y emisiones de gases de efecto invernadero. El catamarán de 16 pies de largo puede recopilar información a través de sensores flotantes en las columnas de agua mientras el dispositivo está en movimiento [1].

Ecuador en estos últimos años reconoce y valora la diversidad biológica como el patrimonio natural que sostiene el funcionamiento de los ecosistemas, las grandes ciudades con su enfoque de nivel de producción son causantes de la mayor contaminación de agua, aire y suelo. Uno de los problemas que enfrenta el Ecuador por ser un país que está ubicado geográficamente en el perfil costanero presenta contaminación de los mares territoriales, amenazando la vida de las especies marinas que habitan en ella [2].

Se han analizado y evidenciado a nivel provincial diversos factores ambientales en la zona marítima, entre ellos están la contaminación de basura marina, derrame de petróleo, aguas residuales, contaminación antropogénica generalmente dado por las actividades humanas, es una problemática que se observa en la zona costera, la

destrucción y degradación del hábitat ocasionadas por las diversas actividades continua siendo el principal factor que compromete su conservación la contaminación suele darse de manera directa e indirectamente provocando alteraciones del clima, degradación en la biodiversidad y afectando a las zonas recreativas [3].

El cantón Salinas con sus dos puertos principales Santa Rosa y Anconcito se realizan actividades comerciales, turística, artesanal e industrial existe una problemática que impacta directamente al entorno y a la población, se ejecutan actividades laborales relacionadas a la pesca donde se almacena, procesa y comercializa los productos y por ende esta producción genera colateralmente contaminación marítima [3].

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El diseño y construcción de un prototipo estilo catamarán permite tener una alta estabilidad de flotación mediante sus dos cascos paralelos, las dimensiones de la estructura eslora y manga dan como resultado una navegación estable, se incorpora en el proyecto una herramienta oceanográfica CTD ubicado en la parte inferior del prototipo cuya misión es recolectar datos de los parámetros que describen las características del agua tales como la temperatura, salinidad, conductividad, presión, profundidad, gravedad y sales totales disueltas, que se encuentran presentes en los sectores de muestreo de las zonas marinas costeras.

La fuente de alimentación del catamarán son baterías de polímero de Litio que se encuentran ubicados en cada casco. El prototipo naval se activa utilizando tres interruptores todos ubicados en la parte superior la activación de estos sirven para el encendido o el apagado total del sistema, el interruptor 1 sirve para energizar el propulsor derecho, el interruptor 2 sirve para energizar el propulsor izquierdo, y el interruptor 3 para energizar el microcontrolador.

La operación del robot navegable se ejecuta con un control a distancia por medio de un transceptor inalámbrico nrf24l01 que opera en la banda de 2.4Ghz con un rango de transmisión máximo de 1km en zona abierta, utiliza el protocolo de comunicación SPI (Serial Peripheral Interface), mediante el mecanismo de control

PID estabiliza el direccionamiento de la navegación que en ocasiones se ve afectado por factores externos como lo es el viento y las olas, el prototipo además contiene una tarjeta de memoria donde se guarda la información de los datos oceanográficos obtenidos en el recorrido de las parcela de agua en la zona marítima costera.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Diseñar el sistema dron naval que incluye una herramienta oceanográfica CTD utilizando tecnología open source para adquisición de información de los parámetros de calidad del agua del perfil costero de la ciudad de Salinas provincia de Santa Elena.

1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar la estructura mecánica electrónica del prototipo para la construcción del dron naval.
- Diseñar el sistema electrónico y de telecomunicación para la correcta navegación de forma remota del dron naval.
- Diseñar el control PID para mantener el direccionamiento de navegación del prototipo.
- Realizar la adquisición de datos para estadísticamente mostrar los cambios de las variables oceanográficas en un sector marítimo de la ciudad de Salinas.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS

- Correcto funcionamiento del dron naval.
- Funcionabilidad operativa del diseño eléctrico para comunicación entre dispositivo y el usuario a larga distancia.
- Disminuir el error de direccionamiento de navegación.
- Presentar legiblemente la información adquirida en datos estadísticos de los parámetros del agua.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Estudios realizados en el país de Australia en la ciudad de Sydney llevaron a cabo la implementación de un vehículo de superficie autónoma capaz de navegar en aguas continentales, recogiendo información en las columnas de agua mediante sondas (medición de temperatura, conductividad, clorofila, turbidez, oxígeno disuelto, radiación incidente), incluyendo GPS, sonares, cámaras, escáneres, a través de estos dispositivos se logra llevar un análisis de los datos obtenidos para luego evaluar el desempeño en una variedad de condiciones climáticas [1].

Ecuador es un país que tiene una costa en donde predominan diversos ecosistemas marinos de mucha importancia, así encontramos litorales rocosos y arenosos, arrecifes de coral, en fin una gran variedad diversidad de recursos marinos renovables y ecosistemas costeros y oceánicos por lo que es indispensable crear una simbiosis entre el ambiente marino y el medio físico de las especies a nivel nacional e internacional [4].

Al pasar de los años se ha ido agravando el tema de las variaciones naturales que componen el agua de mar, por efecto de las posibles contaminaciones debido a las diferentes actividades provocadas por el ser humano ya que va modificando y adaptando el ambiente en base a sus necesidades industriales, comerciales y turísticas que a su vez diversos factores no son compatibles con la naturaleza lo que produce la alteración en el equilibrio biológico del planeta.

Para conocer las características de las masas de agua en profundidades donde la teledetección óptica “no llega” se utilizan dispositivos como los CTD que registra datos de Conductividad, Temperatura y Profundidad [5].

Cabe constatar que en las investigaciones realizadas en la Universidad Estatal Península de Santa Elena no existe ninguna información del uso de esta herramienta oceanográfica.

A través de la herramienta oceanográfica CTD se obtuvieron datos de salinidad, sales totales disueltas, conductividad, temperatura, presión, profundidad y gravedad cada una de estas variables proporcionan información fundamental para evaluar los

cambios que se dan en el agua y la afectación que producen a los microorganismos y a las especies que habitan en ella en este sector territorial.

Cada valor proporcionado del dispositivo CTD es presentado en datos estadísticos cada variable que describen las propiedades físicas más importantes de las masas de agua temperatura, salinidad, conductividad, presión, profundidad, gravedad y sales totales disueltas que gracias a este dispositivo se consiguió información y a su vez se obtuvo conocimiento de la calidad existente del agua del mar de la ciudad de Salinas.

1.6 METODOLOGIA

El presente trabajo aborda los siguientes tipos de investigaciones:

Investigación explicativa

La investigación explicativa no solo se basa en la descripción del problema a tratar, sino que busca explicar el origen por la cual surgió el interés. Esta propuesta pretende establecer explicaciones a través de los resultados obtenidos y así enriquecer a futuros estudiantes la iniciativa de realizar proyectos referentes a la zona marítima.

Investigación de campo

La investigación de campo consiste en la recopilación de datos en el entorno marino, el proyecto a desarrollar se dará lugar en el sector marítimo de Salinas en la playa de San Lorenzo levantando información de las variables que predominan en las propiedades de la calidad del agua.

Investigación diagnóstica

Para el desarrollo del proyecto fue necesario seleccionar los distintos componentes electrónicos para llevar a cabo los procesos y determinar el funcionamiento corrigiendo las falencias que se fueron desarrollando en el transcurso de la implementación.

CAPÍTULO II

PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1 MARCO CONTEXTUAL

Las alteraciones provocadas por las contaminaciones en los mares y lacustres sin lugar a duda causan una gran repercusión en el ambiente, Ecuador es un país en donde sus aguas territoriales es superada cinco veces más que su extensión terrestre en donde abarca 24 ecosistemas marinos, siendo de fundamental importancia para los mares ecuatorianos, ya que hoy en día se ha convertido en un desafío la protección y preservación de las especies en sus distintos hábitats [6].

Las contaminantes vertidas que se vienen dando a lo largo de los años ocasionan modificaciones en las componentes produciendo los cambios en las sales que se encuentran en el mar, lo cual da origen al fenómeno denominado efecto invernadero proceso que se da cuando la radiación solar llega a la superficie terrestre la cual es absorbida por la atmósfera, una parte es reflejada por las nubes y otra llega a la superficie de la tierra, una vez concluido este proceso la energía es devuelta a la atmósfera circulando en el ambiente los gases atmosféricos provocando que la temperatura se eleve, gracias a este proceso llevado de manera natural se hace posible la vida en la tierra, conforme al tiempo y a las variaciones que se van dando surge el cambio en el clima con consecuencia el ascenso en el nivel del mar, cambios en las precipitación [7].

Previo a los factores enunciados esta propuesta se basa en la adquisición de información de las variables como temperatura, salinidad, conductividad, presión, profundidad, gravedad y sales totales disueltas de una parcela de agua, este proceso se lo realiza con un dispositivo denominado CTD colocado sobre una estructura tipo catamarán para poder desplazarse en la superficie marina.

Toda la información adquirida se guarda como datos estadísticos y presentada gráficamente mostrando los cambios de niveles en las variables entorno a las propiedades del agua ya antes mencionadas. Se busca hacer énfasis en uno de los factores que afecta al cambio climático. El desarrollo de este proyecto ofrece

información para futuras investigaciones relacionadas a este tema, que necesita ser analizado y evaluado en los diferentes aspectos ambientales ya que al no ser analizados y tratados podrían provocar un deterioro en el ecosistema del Ecuador.

Dado que existe la preocupación por el aumento de contaminación tanto en el territorio terrestre como marítimo en las zonas costeras se realizan campañas ambientales para la recolección de basura en playas, las alteraciones ambientales causan efecto, siendo perjudicial para la alimentación de las especies marinas.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

Es fundamental detallar los conceptos previos que comprenden el desarrollo del proyecto se mencionan a continuación:

2.2.1 Microcontroladores

El microcontrolador es un circuito integrado programable que se compone de tres bloques fundamentales como lo es el CPU (Central Processing Unit), la memoria y la entrada y salida. Los bloques se conectan entre si mediante grupos de líneas eléctricas denominados buses que pueden ser de direcciones de datos o de control. Están creados para ser utilizados en aplicaciones puntuales donde el microcontrolador debe realizar un numero de tareas, se han desarrollado para cubrir aplicaciones [8].

En este proyecto se hace uso del microcontrolador ATMEGA 328 y el 2560, encapsulados en el Arduino Uno y Mega. Estos microcontroladores se los puede programar en un lenguaje de alto nivel como es el C desde el software Arduino IDE.

2.2.2 Control clasico de procesos

El control clásico de procesos comúnmente es utilizado para ser estables y robustos frente a las diferentes perturbaciones existentes en un proceso, evitando comportamientos bruscos e irreales. Entre ellos tenemos el controlador PID.

Funcionamiento controlador PID (Proporcional Integral Derivativo)

Este proceso es utilizado para llevar a cabo sistemas de automatización y control. El controlador PID es una implementación simple de la idea de realimentación. Tiene la capacidad de eliminar errores en estado estacionario mediante la acción integral, y puede anticipar el futuro con la acción derivativa. Los controladores PID, o incluso los controladores PI, son suficientes para muchos problemas de control, particularmente cuando las dinámicas del proceso son benignas y los requisitos de comportamiento son modestos. Los controladores PID se encuentran en un gran número en todas las industrias y se presentan de muchas formas diferentes. La deducción de la fórmula se expresa matemáticamente en la ecuación (1) [9].

$$u(t) = k(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^1 e(t)dt + T(d) \frac{de(t)}{d(t)}) \quad (1)$$

En la figura 1 se representa el diagrama de bloques del control PID.

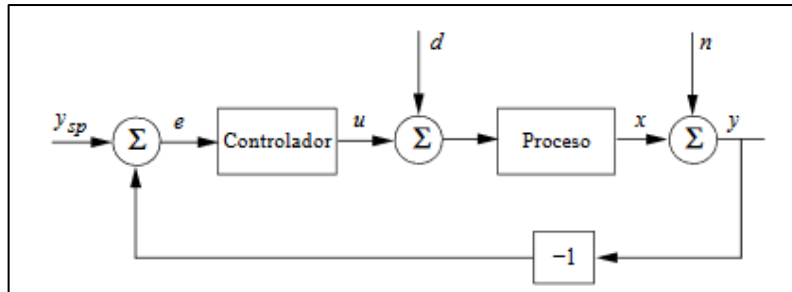


Figura 1 Diagrama de bloques de un lazo de realimentación simple [9]

Acción Proporcional

La acción de control es simplemente proporcional al error $e(t)$, en donde es multiplicada por la constante K_p , que a su vez esta acción busca minimizar el error del sistema. Cuando la acción proporcional K_p aumenta se modifican los siguientes aspectos:

- Aumenta la velocidad de respuesta del sistema.
- El error del sistema disminuye.
- La inestabilidad del sistema aumenta.

Los dos primeros aspectos son positivos en cuanto al último aspecto es negativo y

hay que intentar minimizarle. Por lo tanto, cuando se aumenta la acción proporcional existe un punto de equilibrio en el que se consigue suficiente rapidez de respuesta del sistema y reducción del error, sin que el sistema sea demasiado inestable [10] (ver Figura 2).

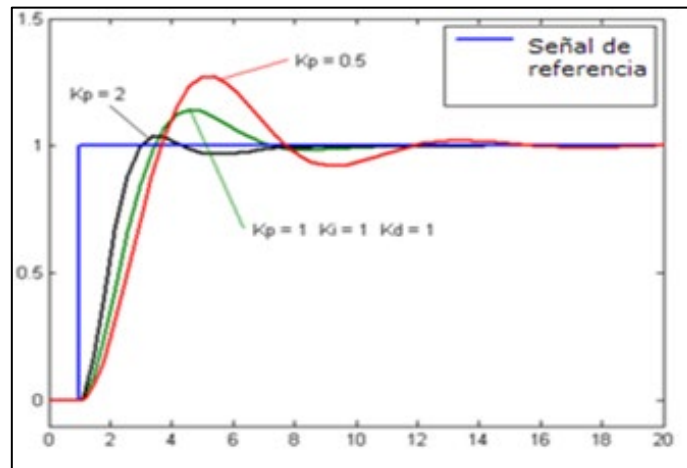


Figura 2 Acción proporcional [38]

Acción Integral

la función principal de esta acción es asegurarse de que la salida del proceso coincide con el punto de consigna en estado estacionario. Con el control proporcional, hay normalmente un error de control en estado estacionario. Con acción integral, un pequeño error positivo conducirá siempre a una señal de control creciente, y un error negativo dará una señal de control decreciente sin tener en cuenta lo pequeño que sea el error [9] (ver figura 3).

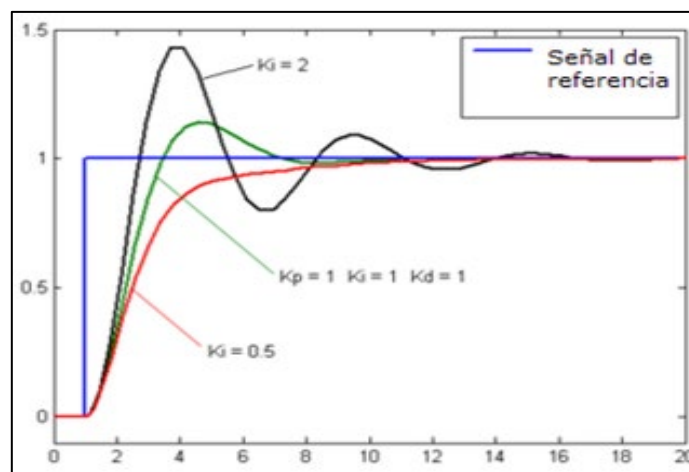


Figura 3 Acción integral [38]

Acción Derivativo

El objetivo de la acción derivativa es mejorar la estabilidad en lazo cerrado. A causa de la dinámica del proceso reasentada en la figura 4, llevará algún tiempo antes de que un cambio en la variable de control sea detectable en la salida del proceso así, el sistema de control tardará en corregir un error [9] (ver figura 4).

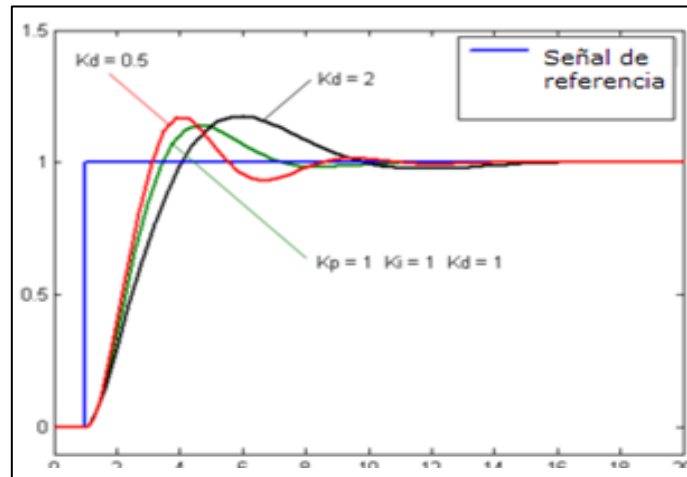


Figura 4 Acción derivativa [38]

2.2.3 Actuadores

Un actuador es un dispositivo capaz de generar una acción según las instrucciones dadas desde la unidad de control. Estos transforman la energía hidráulica, neumática o eléctrica con el objetivo de provocar un cambio en su sistema.

Existen tres tipos de actuadores como son:

- Hidráulicos
- Neumáticos
- Eléctricos

Se habla de los actuadores eléctricos debido a que en este proyecto presenta actuadores de esta característica.

Actuadores eléctricos

Los actuadores eléctricos requieren de la energía eléctrica para llevar a cabo su funcionamiento, como ejemplo tenemos a los motores DC, motores sin escobilla y motores paso a paso. Para controlar estos dispositivos usualmente se utiliza un

controlador el cual hace el proceso más sencillo a la hora de manipularlos desde una unidad de control.

2.2.4 Protocolos de comunicación arduino

Existen diferentes tipos de protocolos de comunicaciones entre ellas están la comunicación I2C y SPI utilizados en el proyecto.

Protocolo de comunicación SPI

El bus SPI (Serial Peripheral Interface), es un estándar de comunicaciones que es usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados, es un protocolo full-duplex que funciona como maestro- esclavo, permite controlar cualquier dispositivo electrónico digital en donde circulan un flujo de bits [11].

Los datos son enviados serialmente mediante las 3 líneas que conforman al bus: MOSI (Master Output Slave Input), MISO (Master Input Slave Output) y SCLK (Clock) (ver figura 5).

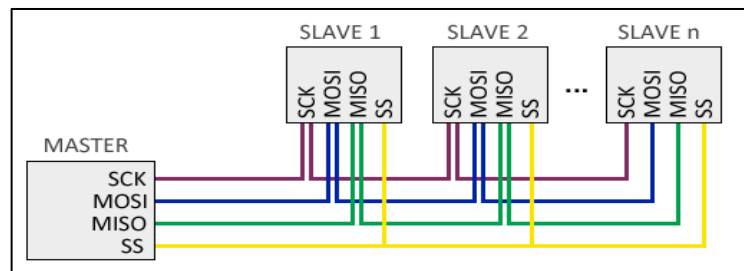


Figura 5 Protocolo de comunicación SPI [37]

Protocolo de comunicación I2C

El protocolo I2C permite la conexión de una amplia variedad de periféricos sin la necesidad de direccionamiento separado o señales de activación de chip. Además, un microcontrolador que incluye una interfaz I2C es más exitoso en el mercado debido a la amplia variedad de dispositivos periféricos existentes disponibles [12] (ver figura 6).

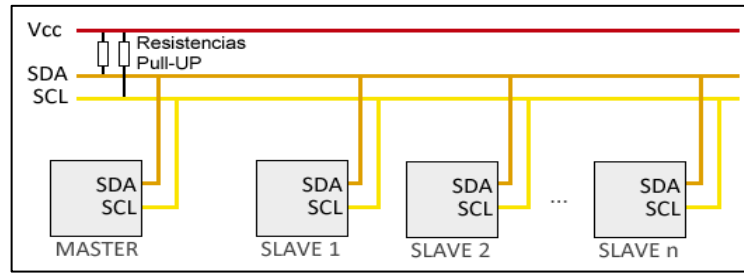


Figura 6 Protocolo de comunicación I2C [37]

2.2.5 Comunicación inalámbrica

La comunicación ha marcado la evolución de la humanidad a través del tiempo en donde ha permitido que exista la comunicación sin necesidad de utilizar cables, aplicando técnicas de modulación de ondas electromagnéticas a través del medio. Para ello solo se necesita la presencia de un emisor y un receptor los cuales pueden ser una antena, teléfonos móviles entre otros [13].

Existen una variedad de dispositivos que permiten el fácil acceso de operación a los diferentes equipos o prototipos que emitan datos hacia una unidad de control, en este proyecto se utiliza los módulos nrf124101 por su alcance y su sistema de comunicación a RF (radio frecuencia) la cual es manejada por un joystick.

Comunicación RF

En la comunicación de radiofrecuencia se da por medio de ondas de radio que se encuentran en el espectro electromagnético, que oscilan entre las frecuencias de 3Hz hasta los 300Ghz [14].

El objetivo del emisor es producir una onda portadora, donde sus características son modificadas en función de las señales de audio, video u otro tipo de señales que se desea transmitir. Este propaga la onda portadora modulada o codificada a través de espacio. Mientras el receptor es el encargado de recibir y decodificar la información enviada por el emisor.

2.2.6 Datos oceanograficos

Los datos adquiridos de los diferentes sensores permiten recopilar información de la superficie marítima, como pueden ser temperatura, salinidad, sales totales

disueltas, presión, conductividad, profundidad, y gravedad los cuales son los parámetros que describen las características del agua.

2.2.7 Almacenamiento de datos

Para el almacenamiento de información de los datos obtenidos por los sensores se guarda en una memoria para luego procesar, extraer y presentar en datos legibles.

Las tarjetas SD y micro SD han sido diseñadas y fabricadas con una alta capacidad de almacenamiento gracias a las dimensiones que poseen estos elementos electrónicos que permiten ser insertados en los diferentes dispositivos a utilizar como lo son tablet, computadoras entre otros.

2.2.8 Diseño 3d

El diseño 3D es el conjunto de técnicas que se utiliza para modelar objetos o piezas en un sistema tridimensional, los cuales se pueden realizar en diferentes plataformas como FreeCAD, Sketchup entre otros. Estos softwares incorporan una interfaz fácil y amigable en el manejo y creación de nuevos objetos.

2.3 MARCO TEORICO

La Oceanografía es la ciencia que estudia los mares y océanos que abarca la composición y movimientos de las aguas, hasta la geología de sus fondos, considerando la flora y fauna en definitiva, la oceanografía comprende todas las ciencias naturales que son aplicadas a explorar y conocer los océanos denominándose también ciencias marinas [15].

La propuesta realizada en la Universidad Estatal Península de Santa Elena con el título “Prototipo de robot submarino autónomo tipo torpedo para recopilación de datos oceanográficos” menciona que el proyecto busca un impacto positivo en la población peninsular mediante el uso de electrónica aplicada dirigida a la recolección de los datos oceanográficos para su posterior estudio, implica que muchas personas de la provincia se ven involucradas directa o indirectamente y deja una puerta abierta a nuevos proyectos de tecnologías aplicados al estudio del mar [16].

La propuesta con el título “Desarrollo de Hardware y Firmware para un trazador lagrangiano basado en paneles solares y ultracapacitores” menciona que el dispositivo desarrollado flota sobre la superficie del mar y es arrastrado por las corrientes, llevando un registro de las tramas de datos recolectadas en el momento de la operación en el mar [17].

Los parámetros principales de medida de un equipo CTD, son conductividad, temperatura y profundidad, entorno a esta referencia, la propuesta busca obtener datos de muestras recogidas en el mar por un CTD montado sobre una estructura de tipo catamarán en donde dicho conjunto de elementos conforma el equipo de este prototipo mecatrónico, el nivel de complejidad se puede determinar en esta propuesta buscando reemplazar el trabajo manual que se realiza en la toma de muestras del CTD, por el sistema automatizado que consiste en desplazarse y realizar el proceso respectivo para que no exista pérdida de información en base al recorrido del prototipo en donde se encuentran factores externos como viento y olas sobre la superficie marina en la que se alcanza un nivel de estabilidad atenuando dichos cambios por medio de la implementación del PID, en cuanto a la comunicación con el sistema de control a bordo y el prototipo no debe existir interrupciones manteniendo un enlace eficaz.

Ecuador es miembro activo de la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) y pertenece a la red IODE, que es la autorizada en el intercambio de datos oceanográficos, permitiendo de este modo que los investigadores se beneficien con el acceso de los mismos. Los datos obtenidos de las mediciones en Oceanografía física son tomados por medio de métodos electrónicos como el CTD que mide la temperatura, salinidad, conductividad, presión, profundidad, gravedad y sales totales disueltas, siendo un aporte a la investigación de los procesos internos en las capas oceánicas; la hidroacústica, dinámica poblacional y desplazamiento de sustancias contaminantes en el Océano, en los procesos de interacción océano – atmósfera, así como en el Estudio Regional Fenómeno "El Niño" (ERFEN). Así mismo con los datos químicos se analiza la evolución del mar, composición, y reacciones químicas que existe entre los animales y las plantas, así como la afectación de la actividad humana [4].

La tecnología actual con sus diferentes tendencias en la electrónica permite que esta propuesta con la elaboración de su diseño electromecánico pueda recopilar y analizar la información para luego presentarla en datos estadísticos y así proporcionar la información correcta a la entidad respectiva.

2.4 COMPONENTES DE LA PROPUESTA

Esta propuesta se desarrolla en base a los componentes físicos y lógicos de las cuales se espera que abarque y cumpla con todos los requisitos necesarios para obtener los resultados esperados.

2.4.1 Componentes físicos

Para el funcionamiento es de gran importancia la selección de elementos electrónicos de las cuales se describe los detalles técnicos.

2.4.1.1 Sensor de Presión- Profundidad Bar30

El sensor de presión Bar30 es un sensor de alta presión que está sellado contra el agua y listo para instalar una caja impermeable. Con una resolución de 0.2 mbar, tiene una increíble medición de profundidad de 2 mm en la columna de agua (ver Figura 7).

El sensor es el Measurement Specialties MS5837-30BA, que puede medir hasta 30 bar (300 m / 1000 pies de profundidad) y se comunica a través de I2C. Funciona con un voltaje de 3.3V, pero puede aceptar una entrada de energía de hasta 5.5V. Este sensor incluye un sensor de temperatura con una precisión de ± 1 °C, con datos también accesibles a través de I2C [18] (ver Tabla 1).

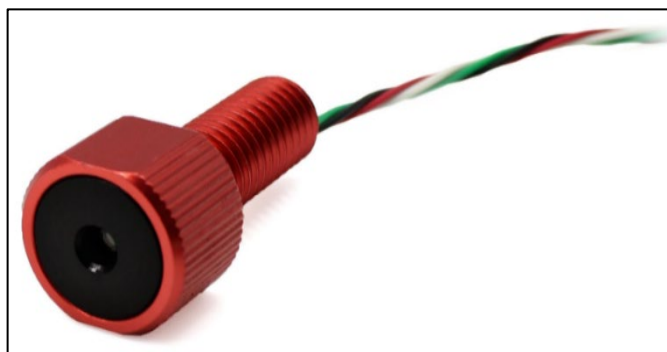


Figura 7 Sensor de presión BAR30 [18]

Sensor de Presión- Profundidad Bar30	
Voltaje de alimentación	3.3-5.5 volts
Pico de corriente	1.25 mA
Presión	
Presión mecánica máxima	50bar-725psi
Presión operacional	0-30 bar- 435 psi
Profundidad de funcionamiento	300m- 990 ft
Temperatura	
Temperatura de funcionamiento	-20 a +85°C
Temperatura de almacenamiento	-40 a +85°C
Exactitud absoluta	+/- 1.5 ° C (cuando se usa entre 0-60 ° C)

Tabla 1 Especificaciones Técnicas Sensor Presión -Profundidad [18]

2.4.1.2 Sensor de Conductividad

Esta sonda de conductividad se puede sumergir completamente en agua dulce o salada, hasta el conector BNC (Bayonet Neill Concelman) de forma indefinida. Una sonda E.C. (conductividad eléctrica) mide la conductividad eléctrica en una solución. Se usa comúnmente en sistemas hidropónicos, acuícolas y de agua dulce para controlar la cantidad de nutrientes, sales o impurezas en el agua. Dentro de la sonda de conductividad, dos electrodos se colocan opuestos entre sí, se aplica un voltaje de CA a los electrodos, lo que hace que los cationes se muevan al electrodo cargado negativamente, mientras que los aniones se mueven al electrodo positivo. Cuanto más electrolito libre contiene el líquido, mayor es la conductividad eléctrica [19] (ver figura 8 y Tabla 2).



Figura 8 Sensor de profundidad [20]

Sensor de Conductividad	
Rango	0.07 -50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Exactitud	+/- 2%
Tiempo de Respuesta	90% en 1s
Máxima Presión	3.447 KPa (500PSI)
Máxima Profundidad	343 metros (1.125ft)
Rango de Temperatura	1-100 °C
Longitud del cable	1 metro
Peso	51 gramos
Alimentación	3.3V-5V

Tabla 2 Especificaciones Técnicas Sensor de Conductividad [20]

2.4.1.3 Parámetros de calidad del agua

El agua de mar comprende una gama de sales, gases disueltos y a su vez también intervienen los organismos que habitan en el agua. Cada una de las variables adquiridas son de gran importancia para un análisis de la composición de las aguas marinas.

Cada una de las variables se desglosan a continuación:

Salinidad - Sales totales disueltas

La salinidad depende de varios factores la evaporación del agua de mar, flujos de agua dulce, profundidad de los océanos, se mide en gramos/litros o partes por mil esta variable resulta de la combinación de las diferentes sales que se encuentran disueltas en el agua oceánica entre ellos están el sodio, cloruro, magnesio, azufre,

calcio, potasio, bicarbonato, bromo, estroncio, boro, flúor entre otros, la cual representa más del 85% del total de las sales disueltas medidas en parte por millón. La salinidad es de gran importancia para los diferentes organismos ya que pueden sufrir alteraciones en su metabolismo [21].

Presión - Profundidad

Existe una relación entre presión y profundidad ya que a medida que aumenta la profundidad en el mar se encontrara con una mayor presión, en la superficie se encuentra presente la presión atmosférica con el valor de 1 atmosfera, cuando un cuerpo se encuentra bajo la superficie del agua ejercerá una presión hidrostática por el peso de la columna de agua la suma de estos factores se denomina presión absoluta [22].

Gravedad- Altitud

La fuerza de atracción que ejerce la tierra hacia un cuerpo se denomina gravedad al referirnos de gravedad específica o también conocida como densidad relativa esta se caracteriza por la relación de la densidad de una sustancia con otra que se toma como referencia no posee unidades. Para calcular la Altitud se toma como referencia al nivel medio del mar suele haber dichos cambios debido las diferentes mareas [23].

Temperatura

Las variaciones de la temperatura en el agua de mar se dan debido a la profundidad, cuando los rayos solares irradian suele calentar una capa superficial juntos con las diferentes corrientes provocan una mezcla que se encuentra presente en las distintas masas de agua. Es de gran importancia de la distribución geográfica ya que influye mucho en su proceso vital de los organismos.

Conductividad

Por su diferente composición el agua de mar presenta una elevada conductividad eléctrica, los iones que se encuentran presente cargados positivamente y

negativamente intercambian electrones en el medio, esta varia con respecto a la temperatura y salinidad.

2.4.1.4 Motores T200 Thruster

Existen diferentes tipos de motores en este proyecto se utilizó los motores T200 diseñado específicamente para la robótica marina a fin de conseguir un resultado favorable para su navegación.

El T200 es básicamente un motor eléctrico sin escobillas está hecho de plástico moldeado por inyección de policarbonato de alta resistencia y resistente a los rayos UV. El núcleo del motor está sellado y protegido con un revestimiento epoxi y utiliza cojinetes de plástico de alto rendimiento en lugar de cojinetes de acero que se oxidan en agua salada. Una hélice y una boquilla especialmente diseñadas proporcionan un empuje eficiente y potente, mientras que el enfriamiento activo por agua mantiene el motor fresco. A diferencia de otros propulsores, el diseño no tiene ninguna cavidad llena de aire o aceite el agua fluye libremente a través de todas las partes del motor mientras está funcionando y puede manejar presiones extremas [24] (ver Figura 9 y Tabla 3).



Figura 9 Motores T200 Thruster [24]

Motores T200 Thruster	
Empuje máximo hacia adelante a 16V	5.1 kg f
Empuje inverso máximo a 16V	4.1 kg f

Empuje máximo hacia adelante a 12V	3.55 kg f
Empuje inverso máximo a 16V	3.0 kg f
Empuje mínimo	0.01 kg f
Velocidad de rotación de empuje mínima	300-3800 rev/min

Tabla 3 Especificaciones Técnicas Motores T200 Thruster [24]

Las especificaciones eléctricas se muestran en la tabla 4 en cuanto a las dimensiones se detallan en la tabla 5 y figura 10.

Motores T200 Thruster (Sistema Eléctrico)	
Operación de voltaje	6-20 V
Máxima corriente	25 A
Máxima Potencia	350watts
Resistencia de fase	0.18 +/- 0.01 Ohms

Tabla 4 Especificaciones Sistema Eléctrico Motores T200 Thruster [24]

Motores T200 Thruster (Sistema Físico)	
Longitud	113 mm
Diámetro	100 mm
Peso en aire (con cable de 1m)	0.76 lb
Peso en agua (con cable de 1m)	0.34 lb
Diámetro de la hélice	76 mm

Tabla 5 Especificaciones Sistema Físico Motores T200 Thruster [24]

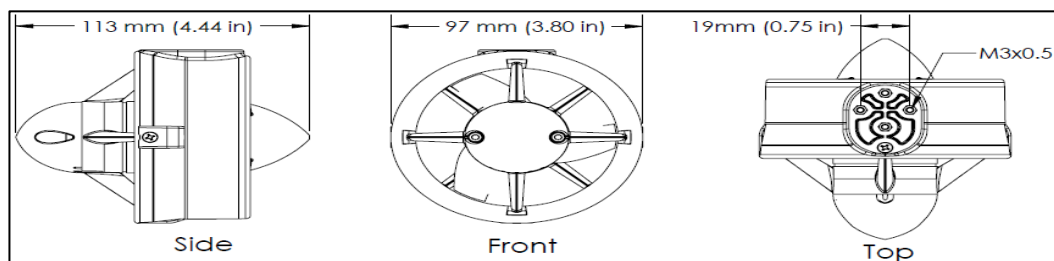


Figura 10 Dimensiones Motores T200 Thruster [24]

2.4.1.5 Fuente de Alimentación

Para el funcionamiento del prototipo existen varias fuentes de alimentación, al ser expuesto para exteriores se seleccionó las baterías Turning de 11.1V de 3Ah, ubicadas en cada casco que cumple con la funcionalidad de los motores (ver Figura 11 y Tabla 6).



Figura 11 Batería Lipo

Batería lipo	
Capacidad mínima	3000mAh
Configuración	11.1v/ 3c
descarga constante	20C
pico de descarga (10seg)	30c
peso del paquete	238g
tamaño del paquete	137x43x19
enchufe de carga	JST-XH

Tabla 6 Especificaciones Técnicas Batería Lipo

2.4.1.6 Módulo Nrf12401

Este módulo con antena permite las comunicaciones de manera inalámbrica a través de ondas de radio logrando tener acceso al prototipo que se encontrara navegando y así lograr una transmisión con un alcance favorable, trabajando en la frecuencia de 2.4Ghz, accesible para el microcontrolador a utilizar (ver Figura 12 y Tabla 7).



Figura 12 Modulo RF Nrf24L01

Modulo Nrf24I01	
Fuente de alimentación	3.3V
Consumo de corriente	115mA
Tasa de transmisión	+20dBm
Recepción de sensibilidad	-95dBm a 1Mbps
Alcance	1000m
Frecuencia	2.4Ghz
Dimensión	16.5mm x 45.5mm

Tabla 7 Especificaciones Técnicas Modulo Nrf24I01

2.4.1.7 Módulo mpu 6050 Giroscopio - acelerómetro

El MPU 6050 es una unidad de medición inercial (IMU), es un pequeño dispositivo integrado que comprende 6 ejes que están combinados 3 para el acelerómetro y 3 para el giroscopio, también puede controlar magnetómetros externos y otros sensores [25] (ver Figura 13 y Tabla 8).

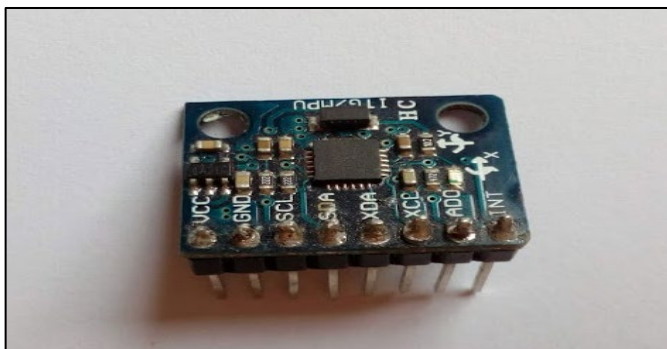


Figura 13 Módulo mpu 6050

Módulo mpu 6050 Giroscopio - Acelerómetro	
Fuente de alimentación	2.37 a 3.46V
Salida Digital	6 ejes
Giroscopio sensibilidad	±250, ±500, ±1000, y ±2000dps
Acelerómetro sensibilidad	±2g, ±4g, ±8g y ±16g

Tabla 8 Especificaciones Técnicas Módulo mpu 6050

2.4.1.8 Módulo SD

El módulo lector de tarjeta SD, comúnmente usadas por su reducido tamaño y capacidad de almacenamiento, utilizan dos protocolos de comunicación el modo de bus SD que permite la transferencia de datos y SPI que mediante una interfaz permite una línea de datos por un canal doble (entrada y salida de datos) [26] (ver Figura 14 y Tabla 9).

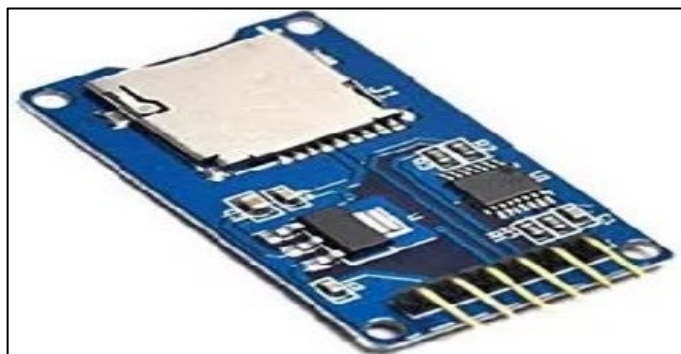


Figura 14 Módulo SD

Modulo SD	
Fuente de alimentación	5V
Comunicación	SPI
Dimensiones	42x24mm

Tabla 9 Especificaciones Técnicas Modulo SD

2.4.1.9 Módulo GPS Neo -6M

Este módulo es fabricado por U-blox6 ha sido diseñado con un bajo consumo de energía y a un bajo costo, este receptor combina un alto nivel de capacidad para las conexiones con los diferentes satélites, esto hace que estén adecuados para ser

implementados en los diferentes proyectos. Los gps neo 6m disponen de una interfaz de comunicación uart, spi, i2c y usb [27] (ver Figura 15 y Tabla 10).

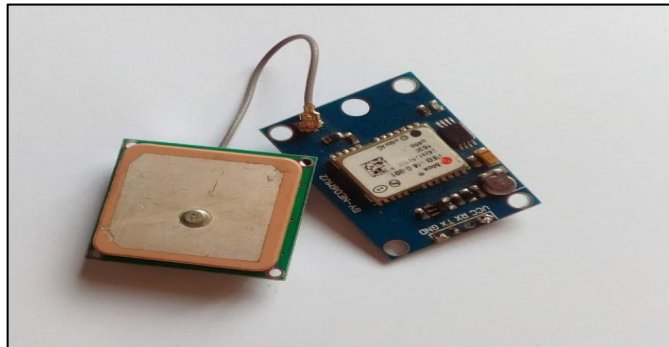


Figura 15 Modulo GPS Neo-6M

Módulo GPS Neo-6M	
Tensión de funcionamiento	3.5 a 5V
Sistema de coordenadas	WGS-84
Baud rate	9600
Exactitud	1micro segundo

Tabla 10 Especificaciones Técnicas Modulo GPS Neo-6M

2.4.1.10 Módulo Shield Joystick

Un joystick analógico es un sencillo controlador que podemos añadir a los proyectos de electrónica y Arduino, que tiene la ventaja de proporcionar una cantidad de información superior a la que podríamos obtener simplemente con pulsadores [28] (ver Figura 16 y Tabla 11).

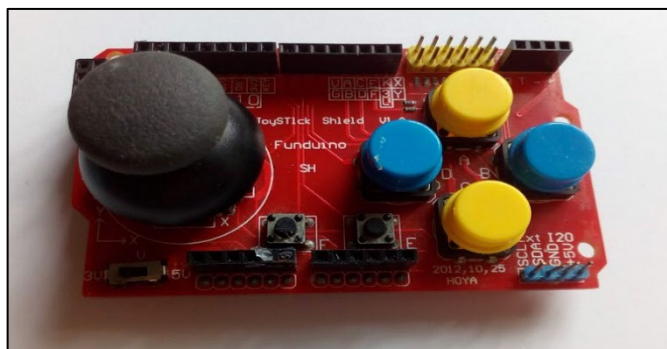


Figura 16 Módulo Shield Joystick

Módulo Shield Joystick	
Tensión de funcionamiento	3.5 a 5V
Interfaz Nrf24101	
Interfaz LCD nokia	
Interfaz I2C	

Tabla 11 Especificaciones Técnicas Módulo Shield Joystick

2.4.1.11 Componentes físicos de la estructura

Para la construcción del catamarán fue primordial seleccionar los materiales que comprenden la estructura física.

Tubos de PVC (cascos)

Entre los materiales primordiales para la construcción del prototipo se encuentra los tubos de PVC (cloruro de polivinilo), es un material económico que se usa para una variedad de aplicaciones, como edificación, electrónica, entre otros. Es utilizado para realizar los cascos parte principal de la estructura física (ver Figura 17).



Figura 17 Tubos PVC 6 pulgadas

Tubos de aluminio (sujetador)

Entre los elementos para la construcción del prototipo se utilizó el tubo de aluminio que es un elemento de fácil adquisición y de bajo costo, posee una gran resistencia a la corrosión, siendo de gran aporte para el desarrollo del proyecto (ver Figura 18).

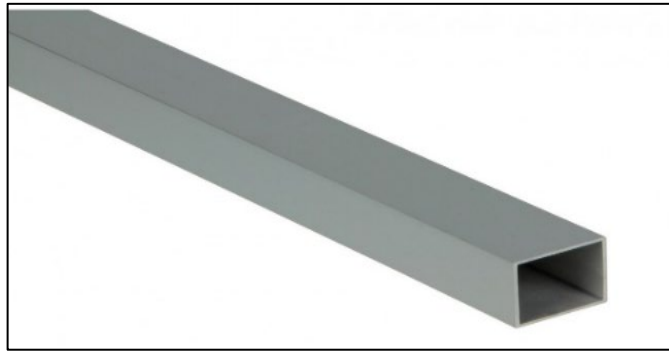


Figura 18 Tubos de aluminio

2.4.2 Componentes lógico

El software es uno de los elementos importantes para el desarrollo de la propuesta gracias a estos se logra visualizar el diseño en 3D, programar el microcontralor y realizar las conexiones previo a la implementación.

2.4.2.1 IDE Arduino

Es un software de código abierto que permite escribir un código para luego subirlo a la placa, este programa se ejecuta en Windows, Mac Os y Linux, se basa en el procesamiento de otro código de software abierto y su entorno está escrito en Java, también presenta una interfaz donde se visualiza los datos a través del monitor serial [29] (ver figura 19).



Figura 19 Software arduino

2.4.2.2 SketchUp

Es un software que permite realizar diseños y modelar elementos en 3D de alta calidad gracias al conjunto de herramientas que hacen posible plasmar ideas rápida y sencilla de los diferentes proyectos a desarrollar [30] (ver Figura 20). Mediante este programa se realizó el diseño general del prototipo dron naval, como las diferentes piezas con sus respectivas medidas.

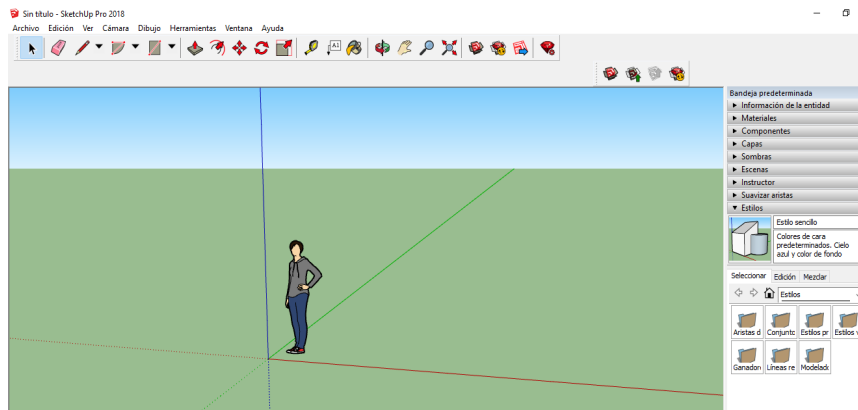


Figura 20 Software Sketchup

2.4.2.3 Fritzing

Este software es iniciativa de código abierto, que permite a los usuarios realizar diseños electrónicos de manera creativa, comprende una lista de componentes que hacen posible el desarrollo de circuitos eléctricos como lo es la PCB (Printed Circuit Board) [31]. A través de este programa se realizó los diagramas de conexiones de los diferentes componentes electrónicos (ver Figura 21).

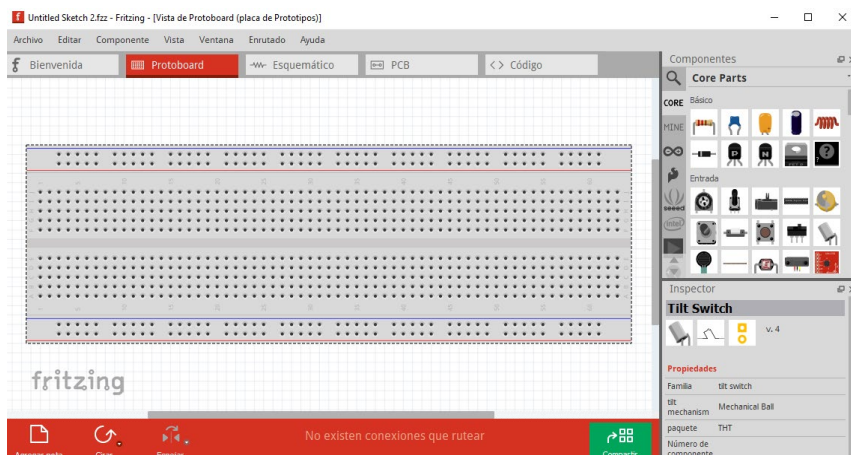


Figura 21 Software Fritzing

2.4.2.4 Ultimaker Cura

Ultimaker Cura es un programa gratuito y de código abierto que permite realizar diseños, configuraciones para las impresiones obteniendo un acabado que cumpla con las especificaciones planteadas, una vez generado el archivo gcode se envía a la Pc mediante wifi, por medio de usb o sd para que realice la impresión, es compatible con los sistemas operativos Windows, Linux, y macOS [32] (ver Figura 22).

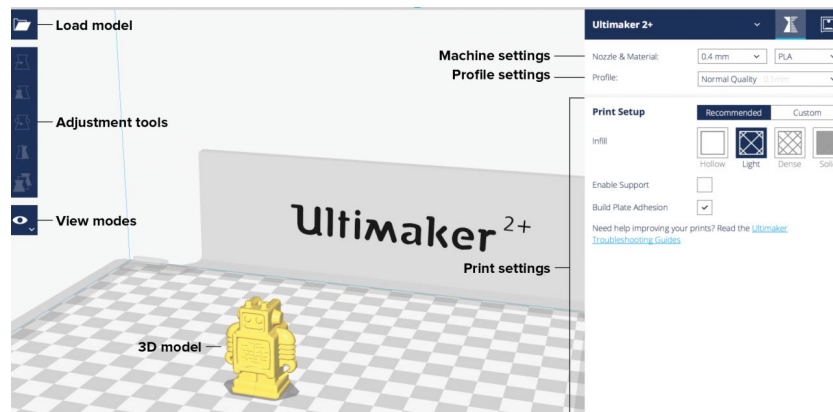


Figura 22 Software Ultimaker Cura

2.5 DISEÑO DE LA PROPUESTA

Luego de la selección de los diferentes componentes físicos y lógicos que permiten cumplir con el desarrollo del proyecto se establece los diferentes conexiones entre dispositivos.

2.5.1 Esquema del prototipo

El esquema del prototipo se enfatiza en el funcionamiento que mediante el microcontrolador y sus diferentes componentes como son los módulos inalámbricos que permite la comunicación con el prototipo, el módulo mpu configurado para mantener el direccionamiento de navegación, CTD, GPS y SD encargados de la recopilación, ubicación y almacenamiento de los parámetros de calidad del agua (ver Figura 23).

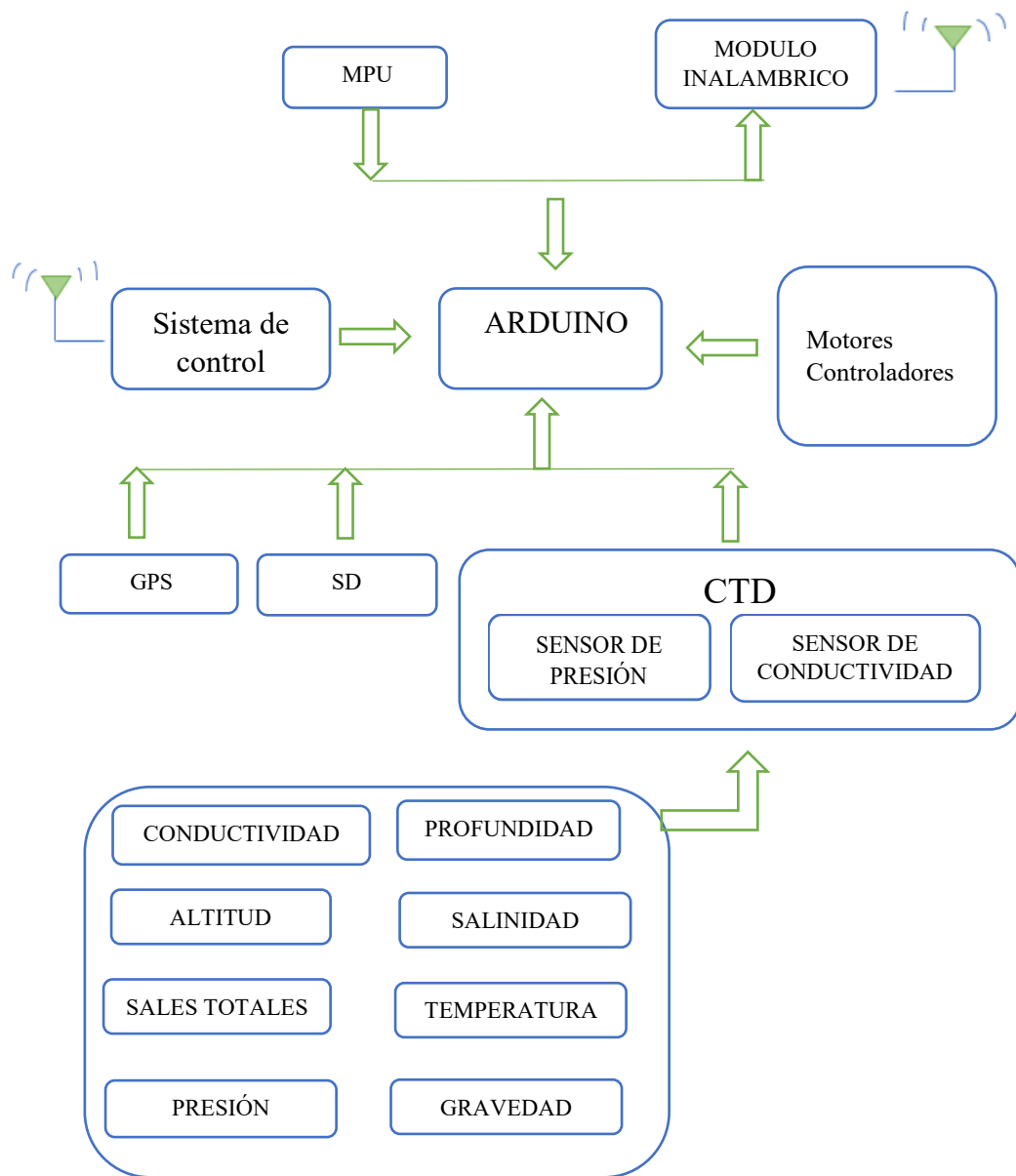


Figura 23 Esquema del prototipo

2.5.2 Diseño físico del prototipo

Para el diseño del prototipo se consideró materiales eligiendo tamaños y medidas en eslora y manga que permitan la navegación del mismo, tomando en cuenta los diseños ya elaborados en investigaciones desarrolladas.

En el artículo vehículo tipo catamarán de superficie Autónoma de Monitoreo de Calidad del Agua mencionan que las especificaciones requieren compromiso entre el tamaño del vehículo y capacidad de control. En particular, la gama de sensores y las condiciones de operaciones generales olas y viento significaba que un

vehículo catamarán estable más grande sería la elección apropiada [1].

Se diseñó la estructura física del prototipo estilo catamarán con las dimensiones expuesto en la tabla 12 para realizar la estructura se eligió tubos de PVC por su fácil adaptación al prototipo midiendo 90cm y con ojiva 1.10cm, dejando una cavidad en la parte central de estos para colocar y maniobrar el tubo neplox recipiente hermético en donde se aseguraron los contenedores que se encuentran en ambos cascos para evitar desplazamiento interno y lograr la estabilidad con un centro de masa fija del catamarán, ambos extremos están sellados realizando agujeros en el tapón el cual permitirá el despliegue de los cables. Para que el prototipo se encuentre sujeto en ambos cascos se utilizó tubos de aluminio a una distancia de 45cm asegurados con tornillos, en la parte frontal se encuentra un arco superior en donde se colocará la instrumentación electrónica, se realizó el diseño e impresiones 3D de varias piezas para lograr acoplar elementos entre dispositivos electrónicos y la estructura naval del prototipo (ver Figura 24).

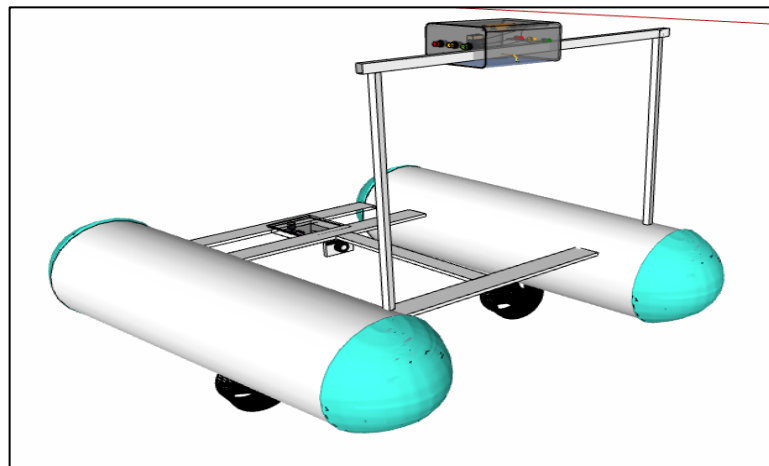


Figura 24 Prototipo Final Dron Naval -SketchUp

En la figura 25 se observa el diseño final del prototipo con todos los materiales y elementos que facilitaran el desenvolvimiento de la herramienta oceanográfica CTD, en la toma de muestras de temperatura, salinidad, conductividad, presión, profundidad, gravedad y sales totales disueltas en la zona marina.

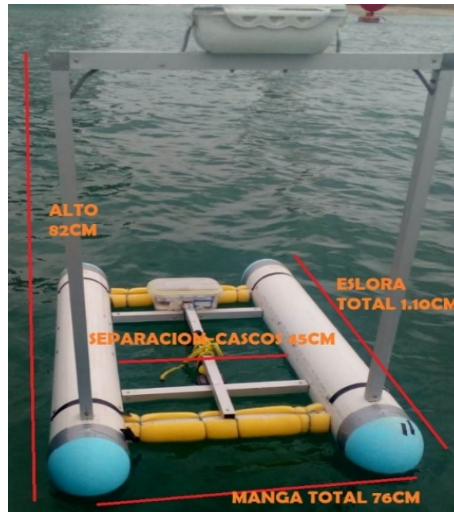


Figura 25 Implementación del dron naval

Dimensiones Prototipo Dron Naval	
Manga Total	76 cm
Eslora Total	1.10 cm
Separación entre cascos	45cm
Puntal	16 cm

Tabla 12 Dimensiones Prototipo

2.5.3 Diseño electrónico del dron naval

El prototipo dron naval diseñado con la finalidad de adquirir parámetros de calidad del agua en la zona marino costera de Salinas está compuesto por dos cascos paralelos cada uno consta de un recipiente hermético el cual tiene una batería de 11.1v de 3A que proporcionara la carga necesaria a los motores Truster T200 diseñado específicamente para la robótica marina, se muestran las diferentes conexiones electrónicas del funcionamiento de motores, como también la comunicación entre emisor y receptor (ver Figura 26, 27 y Tabla 13).

2.5.3.1 Sistema de accionamiento

Para comenzar a ejecutar el funcionamiento del prototipo se colocaron tres interruptores ubicados en el arco superior encapsulados herméticamente que tiene como finalidad el encendido y apagado total del sistema

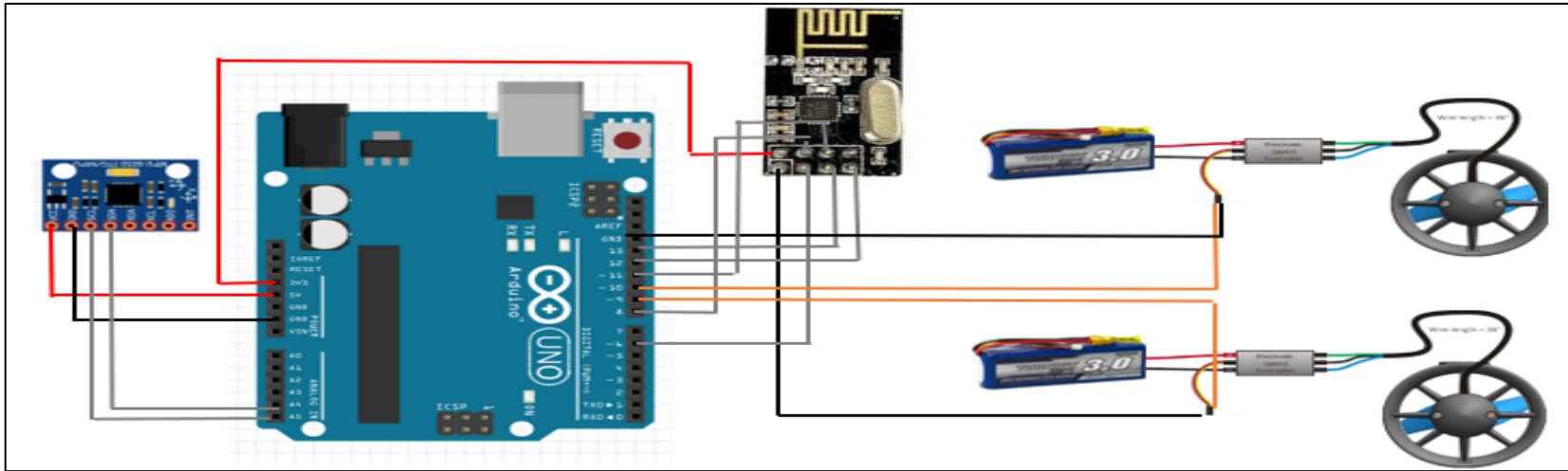


Figura 26 Diagrama de conexión Arduino-MPU-Motores-modulo nrf24101

MPU-ARDUINO	NRF34L01-ARDUINO	MOTOR IZQUIERDO	MOTOR DERECHO
GND	GND	PIN 10	PIN 9
5V	3.3V	GND	GND
SCL- A5	CE-PIN6		
SDA- A4	CSN-PIN8		
	MOSI-PIN 11		
	MISO-PIN12		
	SCK-PIN 13		

Tabla 13 Pines de conexión arduino-mpu-Motores-módulo nrf12401

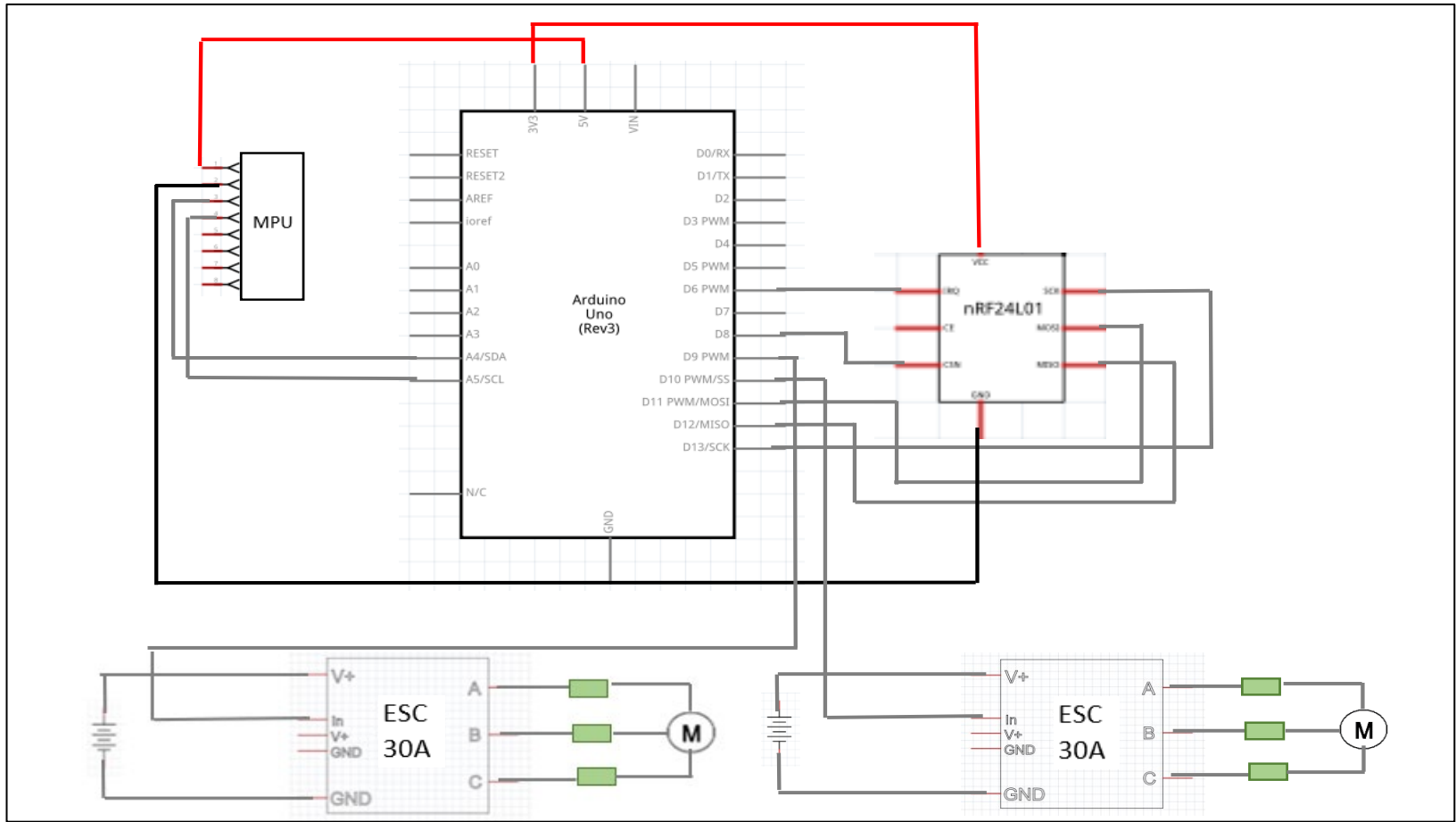


Figura 27 Diagrama Eléctrico Arduino-MPU-Motores-modulo nrf24l01

2.5.3.2 Control de motores-PID

Las turbulencias de las olas y las corrientes atmosféricas conocidas como vientos provocan perturbaciones al sistema de control del PID, por aquello este módulo se encuentra estratégicamente ubicado en la parte central del prototipo esto ayudo al control del sistema, el MPU está conectado en los pines A4 (SDA) y A5 (SCL) (ver Figura 28).

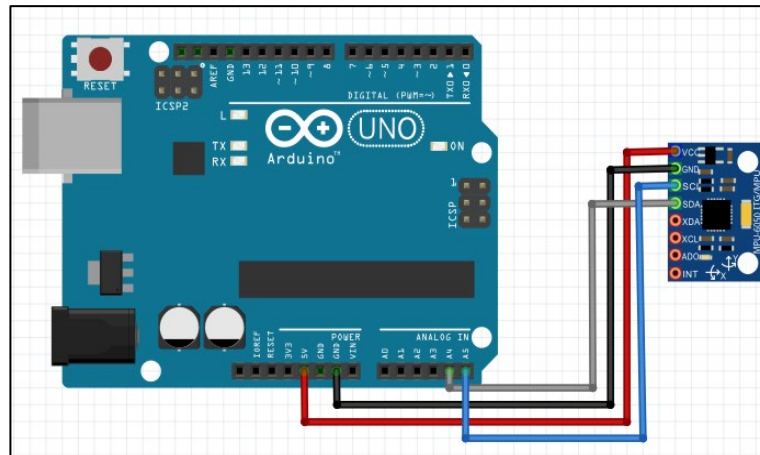


Figura 28 Diagrama de conexión -MPU6050

2.5.3.3 Diseño del módulo receptor

Este dispositivo configurado como receptor y ubicado en el prototipo se encargará de realizar la comunicación con el control a una distancia máxima de 1km, utiliza la comunicación SPI con las respectivas conexiones (ver Figura 29).

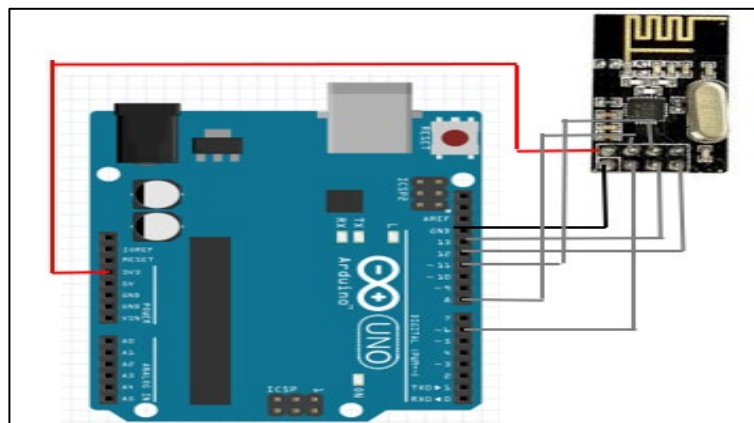


Figura 29 Diagrama de conexión – nrf24101

2.5.3.4 Diseño del módulo emisor

Existen diferentes dispositivos que permiten tener el acceso remoto valiéndose de distintos medios de comunicaciones para ello se utilizó la tarjeta arduino que en función con el módulo joystick y el módulo tranceptor inalámbrico nrf24l01 configurado como emisor da paso al envío de información que ejecutara el desplazamiento del prototipo, a través de ondas de radio denominadas radiofrecuencia operando en la banda de 2.4GHz cabe recalcar que este dispositivo trabaja a 3.3V, con un consumo de corriente de 115mA gracias a la antena que trae incorporado permite tener un alcance en lugares cerrados de hasta 30m y en áreas abiertas hasta 1km (ver Figura 30).

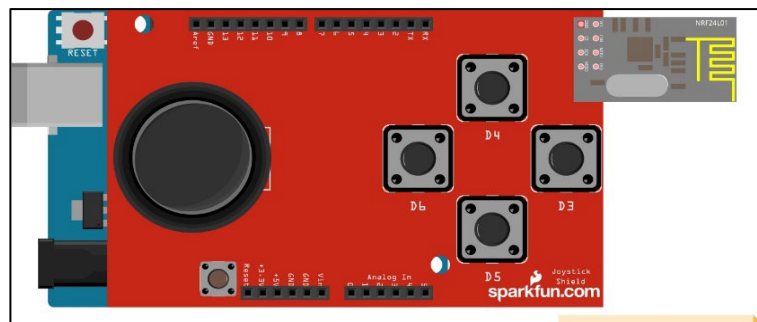


Figura 30 Conexión Arduino- joystick-modulo nrf24l01

2.5.4 Diseño del sistema de monitoreo

La herramienta oceanográfica comprende de dos sensores cuya finalidad es adquirir las variables en la parcela de agua y a su vez se incorpora el guardado de memoria y ubicación del prototipo.

2.5.4.1 Conexión sensor de conductividad

El circuito de conductividad integrado muestra tres estados visualizados en el led de color verde cuando se encuentra de manera estable, azul está tomando lectura, y amarillo se encuentra transmitiendo los datos, a su vez se encuentra el conector BNC hembra que conecta al sensor. Este dispositivo posee una sensibilidad que es capaz de leer micro voltajes que se descargan en el agua de fuentes no naturales como bombas y válvulas (ver Figura 31).

Calibración del sensor de conductividad

Se realiza la calibración con la solución 80,000uS de punto bajo en una taza, agitándola la sonda para asegurar que no existan burbujas de aire atrapadas en el área de detección, se ejecuta los siguientes comandos:

- K 1.0 (valor K de la sonda)
- Cal, high,80000 calibración de punto alto
- C,1 habilitar lecturas continuas una vez por segundo
- EC,1 activar la conductividad
- TDS,1 activar sales totales disueltas
- S,1 activar salinidad
- GV,1 activar gravedad específica

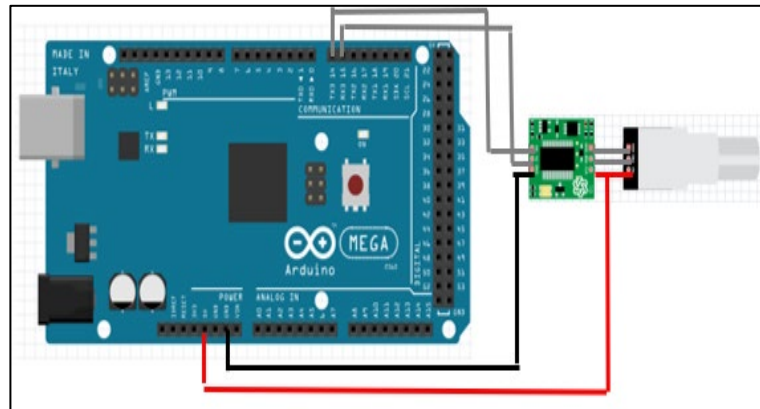


Figura 31 Conexión sensor de conductividad

2.5.4.2 Conexión sensor de presión

Las características del Sensor son 15cm de longitud, con 4 pines de salida verde: SCL (3.3V logic), blanco: SDA (3.3V logic), rojo: +2.5-5.5V, negro: Ground, conectadas directamente al arduino mega para realizar la adquisición de datos como profundidad, presión, temperatura y altitud (nivel medio del mar) (ver Figura 32).

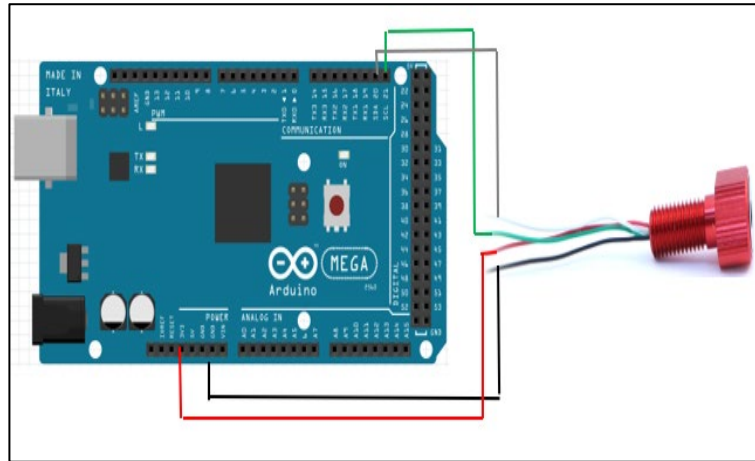


Figura 32 Conexión sensor de Presión BAR 30

2.5.4.3 Ubicación del prototipo

Para realizar la ubicación del desplazamiento del dron naval, posteriormente ubicarlos en la plataforma de Google maps y visualizar el recorrido que ha ejecutado, mediante el módulo GPS neo 6m que trae incorporada una antena de cerámica para mejor precisión se visualizó los puntos de muestreo. (ver Figura 33).

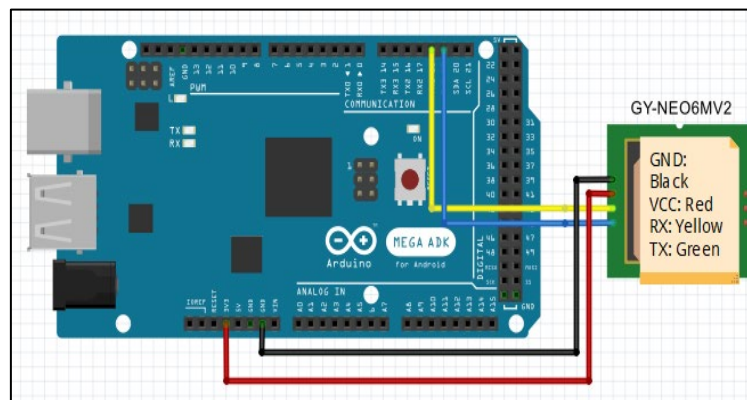


Figura 33 Conexión GPS

2.5.4.4 Guardado de información en tarjeta SD

Todas las 8 variables que facilitaran los sensores para su posterior presentación en datos estadísticos se almacenan en una tarjeta SD, luego de la recolección de datos se extraerá la misma, colocando la tarjeta de memoria SD a la PC y obteniendo la información por medio de un archivo con extensión csv (ver Figura 34).

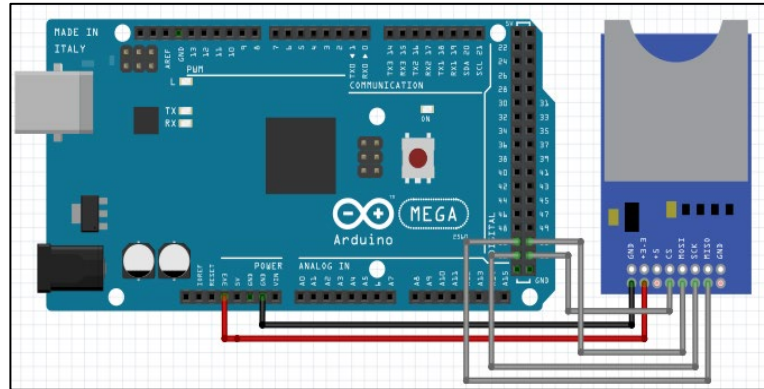


Figura 34 Conexión modulo SD

2.5.4.5 Diseño de shield para arduino

El diseño realizado en el programa Fritzing que brinda una fácil implementación en el bosquejo de elementos electrónicos, se realiza dicha placa de manera manual mediante el uso de una impresora láser se obtuvo el diseño impreso, colocando el papel fotográfico en la baquelita una vez realizado este procedimiento se plancha cuidadosamente hasta que se junten ambos elementos, por otro lado se disuelve el percloruro para posteriormente dejar en reposo la placa hasta obtener las pistas diseñadas, una vez obtenida la placa se procede a revisar midiendo continuidad para evitar algún tipo de error antes de perforar y colocar los elementos (ver Figura 35 y 36).

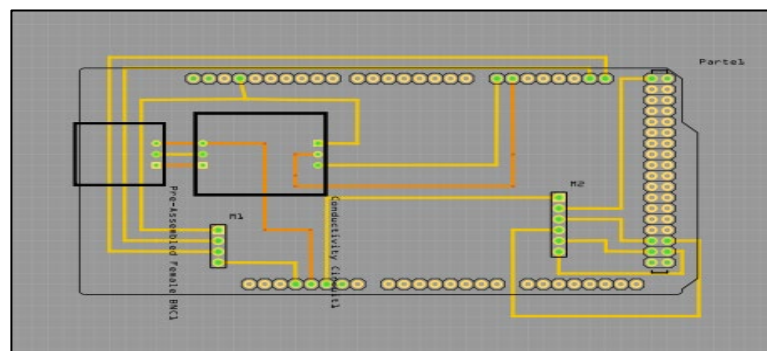


Figura 35 Diseño de pistas para Shield

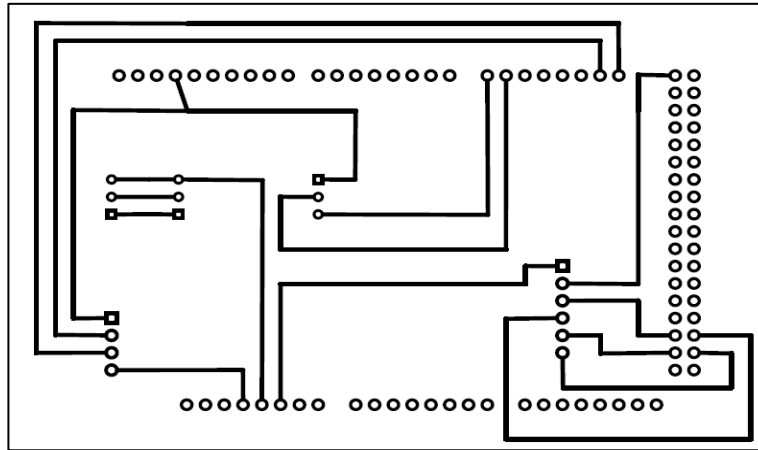


Figura 36 Diseño de la PCB

Colocado todos los sensores en el shield y conectado a la respectiva fuente de alimentación se verifica el funcionamiento de los datos guardado en la SD.

El recipiente hermético que tiene en su interior los dispositivos electrónicos como la memoria SD, gps, sensor de presión y sensor de conductividad se coloca en la parte de final del prototipo dron naval con la finalidad de recoger muestras en el momento de ejecución del recorrido.

La alimentación de la herramienta oceanográfica CTD se dará por una batería de 7.4v 500mA abarcando el consumo de corriente por los dispositivos electrónicos expuestos en la siguiente tabla 14.

Dispositivos	Consumo de corriente
Arduino mega 2560	93.00mA
Sensor de Presión BAR30	1.25mA
Sensor Conductividad	35mA
Modulo SD	200mA
Modulo GPS neo 6m	45mA
Total	374.25mA

Tabla 14 Consumo Total del CTD

2.6 COSTOS

Es importante detallar la factibilidad económica que involucra realizar este proyecto desde la elaboración de la estructura en la que intervienen equipos y materiales hasta la implementación de los dispositivos electrónicos sintetizando los costos que se utilizó.

Costos de materiales de estructura

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Tubo PVC 160mm	\$22.00
2	Neplo flex doble 4 pulgadas	\$70.00
2	Tapón macho desagüe	\$5.00
8	Anclas 1 pulgada	\$1.40
4	Halley	\$4.00
1 mtr	Tubo 1 -1/2 pulgadas	\$4.00
4 mtr	Tubo 1 pulgada	\$9.00
50	Tornillos 1/2 x3mm -2/16 x 1/2	\$5.00
2	Rollos de filamento PLA	\$60.00
6	Impresiones 3D	\$120.00
4	Flotadores	\$20.00
3	Pegamentos y Cinta	\$20.00
TOTAL		\$340.40

Tabla 15 Costos de materiales de estructura

Costo de mano de obra

DESCRIPCIÓN	VALOR
Estructura del Prototipo	\$200.00
TOTAL	\$200.00

Tabla 16 Costo de mano de obra

Costos de materiales electrónicos

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR
2	Motores T200 Thruster	\$500.00
2	Controlador de velocidad 30 a	\$30.00
2	Conector XT60	\$5.00
5	Switch, led, resistencia	\$5.00
3	Arduino	\$90.00
2	Baterías lipo 11.1V 3000mA	\$100.00
1	Batería lipo 7.4V 1000mA	\$22.00
1	Batería lipo 7.4V 500mA	\$15.00
1	Modulo SD	\$5.00
1	Joystick shield	\$10.00
2	Modulo Rf Nrf24l01	\$36.00
1	Modulo GPS	\$15.00
1	CTD	\$400.00
TOTAL		\$1.233.00

Tabla 17 Costos de materiales electrónicos

Costo por traslado de campo

DESCRIPCIÓN	VALOR
Traslado Salinas	\$45.00
TOTAL	\$45.00

Tabla 18 Costo por traslado de campo

Costo final

DESCRIPCIÓN	VALOR
Costos de materiales de estructura	\$340.40
Costos de mano de obra	\$200.00
Costos de materiales electrónicos	\$1.233.00
Costo por traslado de campo	\$45.00
TOTAL	\$1.818.40

Tabla 19 Costo Final

2.7 PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez realizada la estructura del prototipo con sus respectivas dimensiones se realizaron diversas pruebas con la finalidad de obtener un correcto desenvolvimiento de navegación del dron naval.

Prueba y resultados de la estabilidad y flotación del dron naval

Al realizar la prueba del dron naval y observar la línea de flotación entre el prototipo y superficie del agua que es la separación de obra viva (bajo la superficie el agua) y obra muerta (sobre la superficie del agua) se determina que existe una diferencia de inmersión en el diámetro del casco de la parte frontal, donde posteriormente se comprueba que el peso debe estar proporcionalmente repartido a lo largo del casco (ver Tabla 20).

Diámetro	Porcentaje	Diámetro	Porcentaje
16cm	100%	16cm	100%
10cm	x	6cm	x
$x = \frac{10cm \times 100\%}{16cm} = 62.5\%$		$x = \frac{6cm \times 100\%}{16cm} = 37.5\%$	

Descripción	Porcentaje	Diámetro
Obra viva - parte frontal	62.5%	10cm
Obra muerta - parte frontal	37.5%	6cm
Obra viva - parte posterior	37.5%	6cm
Obra muerta - parte frontal	62.5%	10cm

Tabla 20 Descripción rango de flotación

Para tener una línea de flotación aceptable con el valor ideal de 8cm se realizó cambios en el sistema, donde se determinó que los domos situados en la parte interna deberían fijarse en la parte posterior con los flotadores que se encuentran en el interior del casco, y la herramienta oceanográfica debe ser colocada en la parte final del prototipo para fijar una estabilidad adecuada (ver Tabla 21).

Diámetro	Porcentaje
$16cm$	100%
$8cm$	x

$$x = \frac{8cm \times 100\%}{16cm} = 50\%$$

Descripción	Porcentaje	Diámetro
Obra viva - parte frontal	50%	8cm
Obra muerta - parte frontal	50%	8cm
Obra viva - parte posterior	50%	8cm
Obra muerta - parte frontal	50%	8cm

Tabla 21 Descripción ideal rango de flotación

Prueba y resultado de calibración del MPU

El sensor de movimiento MPU 6050 que contiene un giroscopio y acelerómetro es utilizado en la navegación para estabilizar el dron que inicialmente presenta valores de ángulos en “x” y “y” que varían esto implica una ubicación incorrecta que perturbaría el funcionamiento (ver Tabla 22).

Descripción	ángulo	ángulo
Rotación x	-1.06	5.19
Rotación y	-4.19	6.03

Tabla 22 Valores iniciales del MPU 6050

Se visualiza nuevamente los valores de ángulos verificando los nuevos datos que varía en proporciones mínimas y se comprueba la correcta posición (ver Tabla 23).

Descripción	Ángulo
Rotación en x	0.38
Rotación en y	0.71

Tabla 23 Valores finales del MPU6050

Prueba y resultado del PWM en osciloscopio

Se utilizó el osciloscopio digital Tektronix TDS3032B para verificar los cambios de modulación por ancho de pulso, el receptor del dron manda una señal PWM de 50hz al ESC en donde existen variaciones de 1 a 2 milisegundos, cuando el motor se encuentra a 1 milisegundos este se encuentra parado, a la mitad de su velocidad estará a 1.5 milisegundo y en su valor máximo a los 2 milisegundos (ver Figura 37).

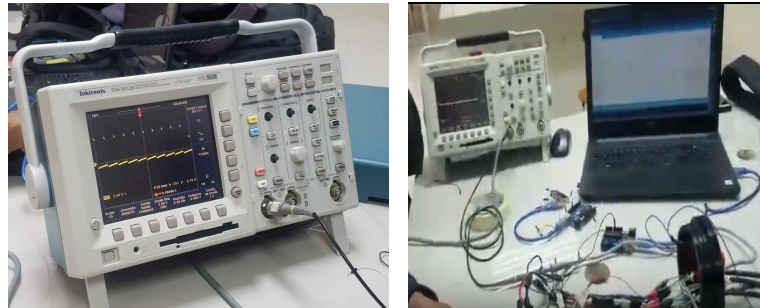


Figura 37 Señal PWM en osciloscopio

Se visualiza los cambios de modulación por ancho de pulso realizado en proteus variando los tiempos (ver Figura 38 y 39).

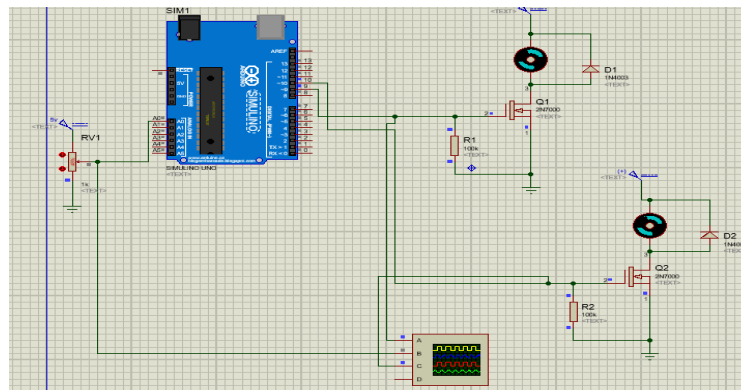


Figura 38 Circuito electrónico -Motores

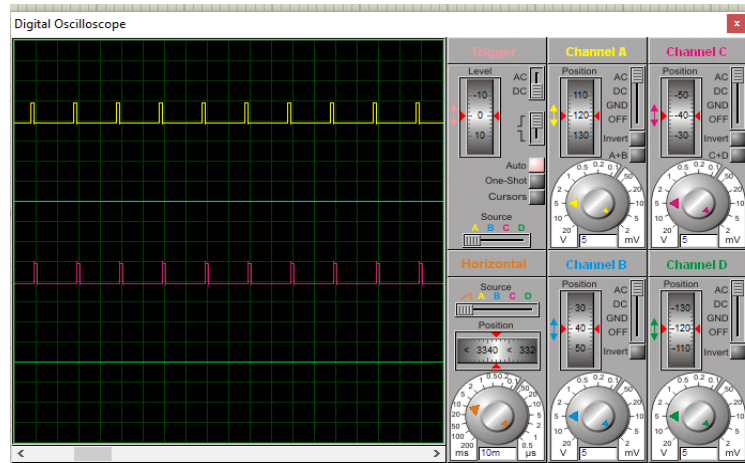


Figura 39 Señales PWM en Matlab

Prueba y resultado del funcionamiento control PID

El funcionamiento del control PID corrige y estabiliza el direccionamiento de la ruta de navegación del prototipo en donde se busca comparar el desenvolvimiento que ejecutan los drones en aire versus la ruta de navegación del dron naval ambos experimentan elementos externos como el aire en donde particularmente el dron naval percibe el movimiento de las mareas.

Al inicio de las pruebas de direccionamiento el robot no se comportaba de manera correcta la manifestación de aquellos datos se registraron se detallan en la tabla 26 posterior a esta prueba se logra realizar otro experimento esta vez con el control PID el cual muestra mejora en el comportamiento de la ruta esto también fue registrado.

Cuando se accionan el funcionamiento de los motores no tienen ningún tipo de control sobre la ruta de navegación, la potencia de cada motor será diferente y por tanto la ruta no está totalmente definida. Para controlar el movimiento de los motores se aplica una ecuación que relaciona la velocidad con el ángulo de la ruta trazada y este es lo que sirve como retroalimentación al sistema, esta medida de retroalimentación de control es proporcionada por la IMU (Unidad de Medición Inercial) que usa la combinación del acelerómetro y giroscopio, esta unidad es el componente principal de los sistemas de navegación comúnmente usados en drones, embarcaciones, misiles.

Para calcular el error de nuestro control se dará por la diferencia entre el valor de un ángulo deseado en este caso 0 grados y el valor real del sistema que es obtenido a través del MPU 6050 que es el sensor inercial (ver Figura 40y 41).

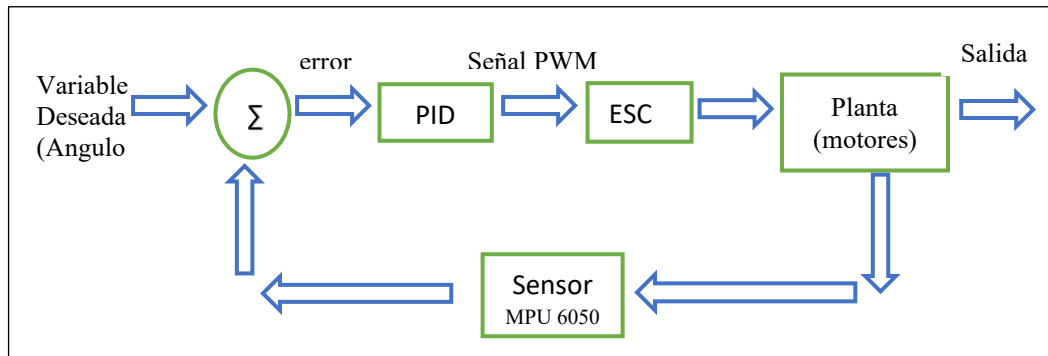


Figura 40 Diagrama de bloques control PID

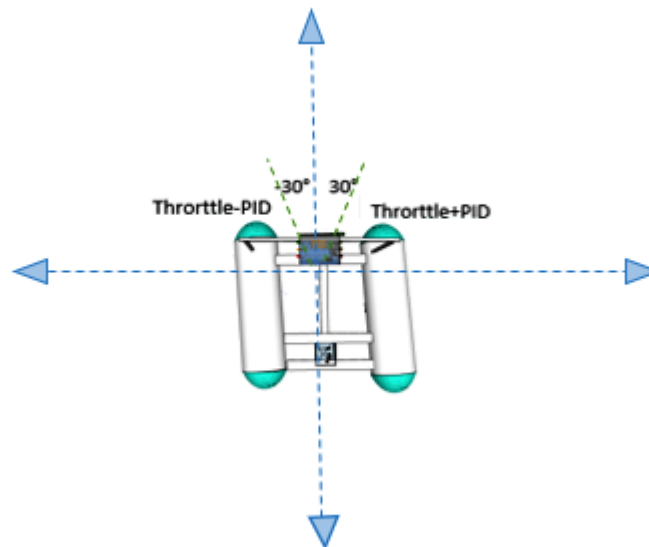


Figura 41 Movimiento dron naval - ángulos

Cuando el ESC este activado el motor emitirá un sonido, luego de enviar valores enteros que van de 1000 al 2000us para generar cambios en la velocidad, considerando que 1000 el motor está apagado y 2000 su valor máximo, si se encuentra a 1200us que es alrededor del 20% de la potencia a este le sumamos o restamos la salida del control PID.

En la codificación para la implementación del control PID se detallan las librerías para el control de motores y la comunicación I2C

```
#include <Servo.h>
#include <Wire.h>
```

Se define el motor izquierdo y el derecho

Servo ESC

Servo ESC1

La documentación de fabricante del sensor MPU 6050 especifica las direcciones y registros utilizadas para asignación de medida de la aceleración y del giroscopio (ver tabla 24) estas son almacenadas en las variables Acc_rawX, Acc_rawY, Acc_rawZ, y Gyr_rawX, Gyr_rawY, Gyr_rawZ que son los cambios de aceleración que se dan en cada eje respectivamente, lo mismo sucede con las medidas de ángulo generadas por el giroscopio.

Dirección (Hex)	Dirección (Dec)	Nombre del Registro	Bit
3B	59	Accel_Xout_H	Accel_Xout[15:8]
3C	60	Accel_Xout_L	Accel_Xout[7:0]
3D	61	Accel_Yout_H	Accel_Yout[15:8]
3E	62	Accel_Yout_L	Accel_Yout[7:0]
43	67	Gyro_Xout_H	Gyro_Xout[15:8]
44	68	Gyro_Xout_L	Gyro_Xout[7:0]
45	69	Gyro_Yout_H	Gyro_Yout[15:8]
46	70	Gyro_Yout_L	Gyro_Yout[7:0]

Tabla 24 Registro de aceleración y giroscopio [39]

Se calcula los ángulos de la aceleración en el eje “x” y “y” dada por la siguiente ecuación (2) y (3).

$$\text{Aceleracion_angulo}[x] = \text{atan}((\text{Acc_rawY}/16384.0)/\sqrt{\text{pow}((\text{Acc_rawX}/16384.0),2) + \text{pow}((\text{Acc_rawZ}/16384.0),2)}) * \text{rad_to_deg} \quad (2)$$

$$\text{Aceleracion_angulo}[y] = \text{atan}(-1 * (\text{Acc_rawX}/16384.0)/\sqrt{\text{pow}((\text{Acc_rawY}/16384.0),2) + \text{pow}((\text{Acc_rawZ}/16384.0),2)}) * \text{rad_to_deg} \quad (3)$$

Para calcular los ángulos del giroscopio se tiene que dividir primero el valor sin procesar para 131 con el valor que se encuentra en la hoja de datos del sensor MPU que es la conversión de radianes a grados están representados en la ecuación (4) y (5).

$$\text{Gyro_angulo}[x] = \text{Gyr_rawX}/131.0 \quad (3)$$

$$\text{Gyro_angulo}[y] = \text{Gyr_rawY}/131.0 \quad (4)$$

Para obtener la medida correcta de un ángulo se añade un filtro complementario, dada por la ecuación (6) y (7) este es la unión de un filtro paso alto aplicado al giroscopio y un filtro paso bajo para el acelerómetro, esto es debido a el ruido que provoca lecturas con cierto margen de error.

$$\text{Angulo totalX} = 0.98(\text{ángulototalX} + \text{GyroY} \cdot \text{tiempo}) + 0.02 \cdot \text{atan} \left(\frac{Y}{\sqrt{X^2 + Z^2}} \right) \quad (6)$$

$$\text{Angulo totalY} = 0.98(\text{ángulototalY} + \text{GyroX} \cdot \text{tiempo}) + 0.02 \cdot \text{atan} \left(\frac{Y}{\sqrt{Y^2 + Z^2}} \right) \quad (7)$$

Para obtener el valor del PID se realizó la prueba independiente de cada variable experimentalmente y de acuerdo a su comportamiento se asignó kp, ki y kd (ver Tabla 25).

Valor proporcional	Valor integral	Valor derivativo
Pid_p=Kp*error	Pid_i=pid_i+(ki*error)	Pid_d=kd*(error-error previo/tiempo transcurrido)

Tabla 25 Formulas de las variables kp, ki, kd

La suma total de estos tres valores da como resultado el valor del PID expuesto en la ecuación (8).

$$\text{PID} = \text{Pid}_p + \text{Pid}_i + \text{Pid}_d \quad (8)$$

Finalmente se calcula el ancho del PWM, sumando y restando hasta llegar a alcanzar la potencia deseado de giro en cada motor.

$$\text{pwmESC} = \text{throttle} + \text{PID}$$

pwmESC1=throttle + PID

Luego de varias pruebas experimentales realizadas se consigue obtener los valores deseados para obtener una correcta dirección de navegación (ver Tabla 26) están representados mediante la simulación de interfaz gráfica [33] (ver Figura 42 y 43).

Valores PID	Valores PID
kp=3.55	kp=3.3
ki=0.003	ki=0.005
kd=2.05	kd=0

Tabla 26 Valores iniciales y finales PID

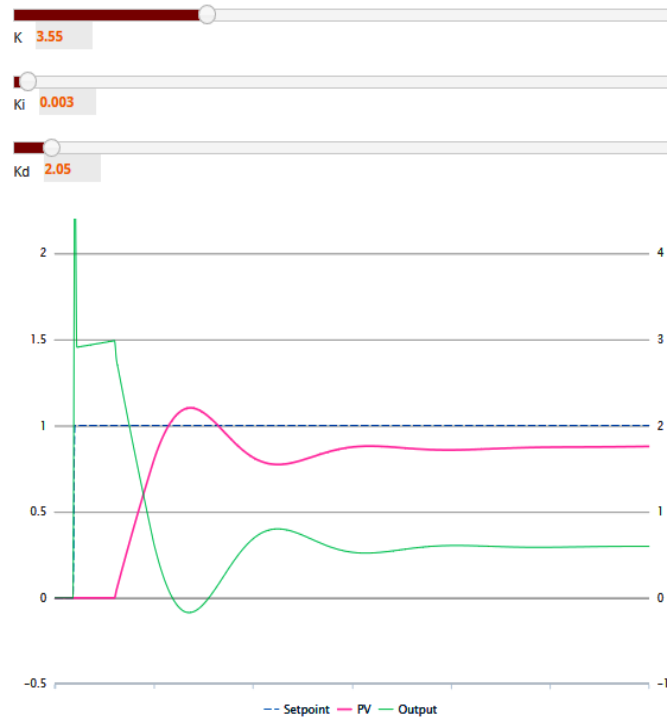


Figura 42 Grafica de valor inicial PID



Figura 43 Grafica de valor final PID

Resultados de muestras de la herramienta oceanográfica CTD

Las muestras tomadas son adquiridas en la zona marino costera de Salinas en la playa de San Lorenzo con las coordenadas geográficas. La velocidad promedio por hora del viento en Salinas el 08/11/2019 varía en el transcurso del día, con un promedio diario de 18,8 kilómetros por hora [34] (ver Figura 44 y Tabla 27).

Fecha	Coordenada Geográfica	
	Latitud	longitud
08/11/2019	-2.2041957	-80.9694525

Tabla 27 Ubicación inicial de la muestra



Figura 44 Ubicación en Google maps de los puntos GPS

Se sitúa los puntos en los que fueron tomados los datos de la muestra en el sector de la playa de San Lorenzo pertenecientes a la zona costera de Salinas, mediante el recorrido ejecutado por control inalámbrico que realiza el dron naval desde el punto inicial al punto final para determinar el desplazamiento que ha realizado se aplica la fórmula (9) [35], de Haversine para calcular la distancia entre dos puntos considerando la trigonometría esférica dada por la forma de la tierra con el radio medio de 6371 km (ver Tabla 28).

$$\begin{aligned}
 \text{Distancia} = & 6371 * \text{acos}(\cos(\text{radianes}(90 - lat_1)) * \cos(\text{radianes}(90 - lat_2))) \\
 & + \text{seno}(\text{radianes}(90 - lat_1)) * \text{seno}(\text{radianes}(90 - lat_2)) \\
 & * \cos(\text{radianes}(long_1 - long_2))
 \end{aligned} \quad (9)$$

Muestra						
	Punto inicial		Punto Final		Distancia km	Distancia m
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud		
P1	-2.204195	-80.969452	-2.203696	-80.969116	0.06688	66.88
P2	-2.203696	-80.969116	-2.203679	-80.969100	0.00259	2.59
P3	-2.203679	-80.969100	-2.203642	-80.969100	0.00411	4.11
P4	-2.203642	-80.969100	-2.203597	-80.96907	0.00601	6.01
P5	-2.203597	-80.96907	-2.203501	-80.968963	0.01598	15.98
P6	-2.203501	-80.968963	-2.203362	-80.968933	0.01581	15.81
P7	-2.203362	-80.968933	-2.202397	-80.967918	0.15567	155.67
P8	-2.202397	-80.967918	-2.202231	-80.967575	0.04235	42.35

Tabla 28 Coordenadas geográficas de los puntos de muestreo

Para mantener la comunicación entre el dron naval y el control remoto se utilizó los módulos nrf24l01 que poseen un amplio rango de transmisión de 1km con antena

incorporada no se perdió la comunicación teniendo un alcance máximo de 155.67m en la prueba realizada.

El dron naval estuvo en navegación alrededor de 50 minutos realizando maniobras ejecutas por el radio control en donde guardo 114 datos de las cuales se presentó una minoría de 36 datos que no fueron registrados por desconexión con el satélite, se presentó los cálculos de la distancia velocidad y nudos (ver Tabla 29) .

	Distancia	Velocidad	Nudos
Suma	902.76m	45.14m/s	87.75
Promedio	20.52m	1.03m/s	2.0

Tabla 29 Valores promedios distancia -velocidad- nudos

Los datos adquiridos fueron guardados previamente en la tarjeta SD con capacidad de almacenamiento de 4G, en el recorrido realizado con el dron naval se adquirió datos presentados en gráficos estadísticos tomados en la muestra de las diferentes variables como: Salinidad, Sales totales disueltas, conductividad, temperatura, presión, profundidad, altitud que influyen en las propiedades físicas del agua en la zona marino costera de Salinas en sector de San Lorenzo. Se recopila los datos de los sensores, el día 8 de noviembre del 2019 inicio a las 2:40 y finalizo a las 3:30 tomando las muestras de las diferentes variables cada 20 segundos obteniendo los siguientes datos (ver Tabla 30).

	Conductividad Eléctrica Us/cm	Sales Totales Disueltas ppm	Salinidad ppt	Presión mbar	Temperatura °C	Profundidad m	Altitud sobre el nivel medio del mar m	Gravedad específica solo agua de mar
P1	43241	23353	27.84	1015.30	26.27	0.02	-17.04	GRAV:1.022
P2	43251	23355	27.84	1015.70	26.27	0.03	-20.37	GRAV:1.022
P3	43231	23349	27.83	1015.60	25.87	0.03	-19.54	GRAV:1.022
P4	43211	23338	27.82	1016.20	25.67	0.03	-24.52	GRAV:1.022
P5	43241	23353	27.84	1015.60	25.68	0.03	-19.54	GRAV:1.022
P6	43271	23371	27.86	1016.30	26.18	0.03	-24.52	GRAV:1.022
P7	43151	23302	27.77	1015.80	24.79	0.03	-36.96	GRAV:1.022
P8	43131	23292	27.76	1016.70	25.57	0.04	-28.67	GRAV:1.022
P9	43121	23288	27.75	1014.40	25.91	0.01	-29.57	GRAV:1.022
P10	43141	23296	27.76	1017.20	25.91	0.04	-32.82	GRAV:1.022
P11	43131	23291	27.76	1016.40	25.94	0.03	-26.18	GRAV:1.022
P12	43121	23287	27.75	1020.40	26.12	0.08	-59.33	GRAV:1.022
P13	43111	23283	27.74	1018.40	26.08	0.06	-42.77	GRAV:1.022
P14	43121	23290	27.75	1017.30	26.07	0.04	-33.65	GRAV:1.022
P15	43141	23300	27.77	1016.70	25.99	0.04	-28.67	GRAV:1.022

Tabla 30 Datos de la herramienta oceanográfica CTD

Se muestra una estadística de cada una de las variables que forman parte de los parámetros de calidad del agua que comprende el 96.5% de agua pura y el 3.5% esta compuesto de otros elementos, varios de estos llegan a través de procesos físicos, químicos y biológicos [36]. Se detalla un descenso en los valores de conductividad (ver Tabla 31), este valor es directamente proporcional a la concentración de sales totales disueltas, y la salinidad (ver Tabla 32) presentan una diversidad de compuestos químicos, en cuanto a la temperatura depende de la cantidad de radiación solar reciba y estación del año presentando un valor promedio de 25.82° C (ver tabla 33). Estos valores fueron registrados en la superficie del agua a una profundidad máxima de 0.8cm (ver Tabla 34), varia en proporciones mínimas ya que está en constante movimiento debido a las corrientes marinas y a su vez se encuentra sujeto al prototipo y este tiene como finalidad navegar sobre la superficie.

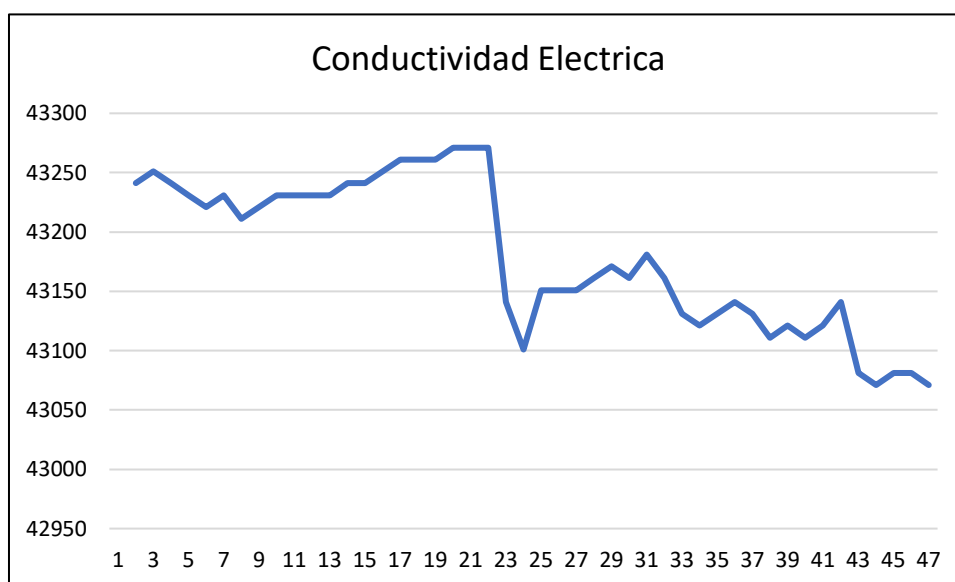


Tabla 31 Datos estadísticos Conductividad

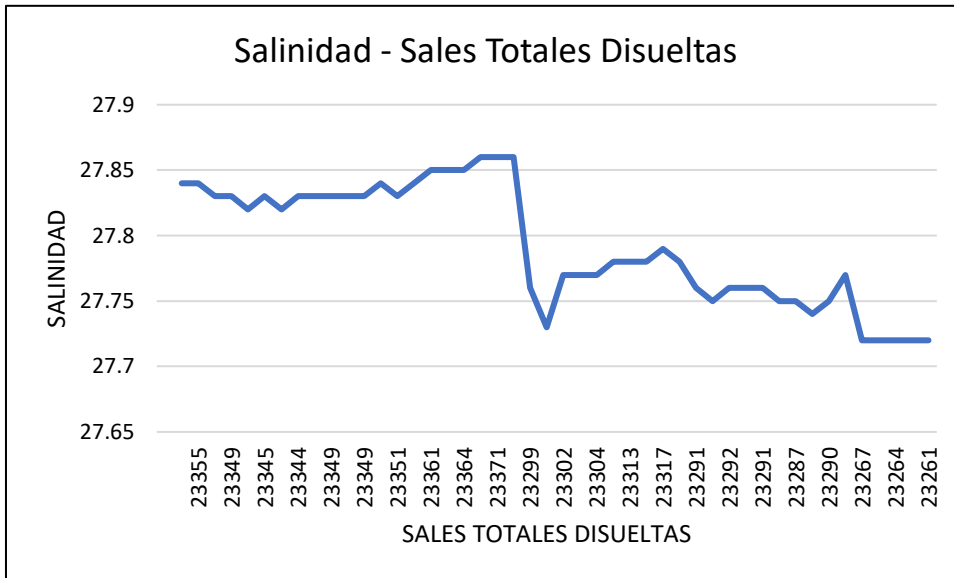


Tabla 32 Datos estadísticos Salinidad- Sales totales disueltas

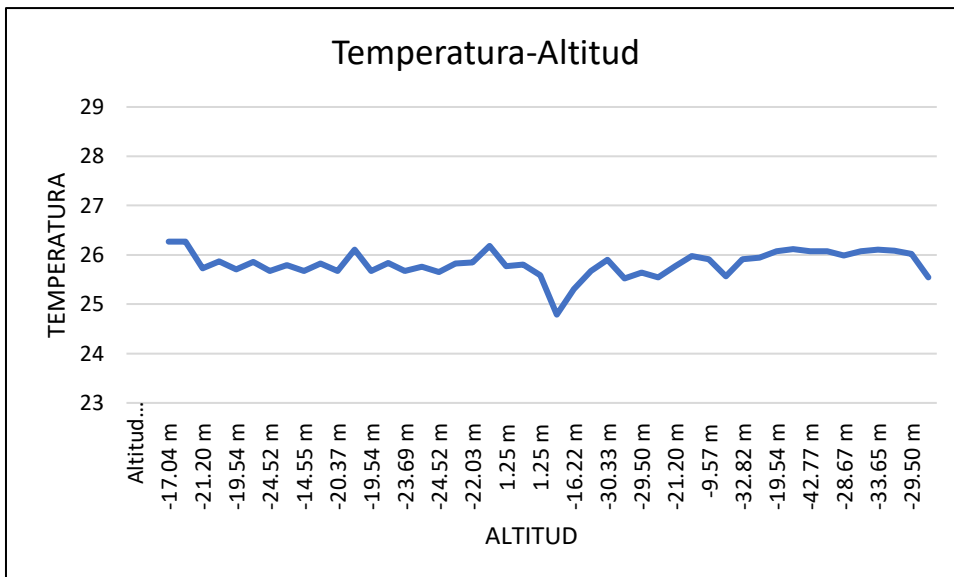


Tabla 33 Datos estadísticos Temperatura - Altitud

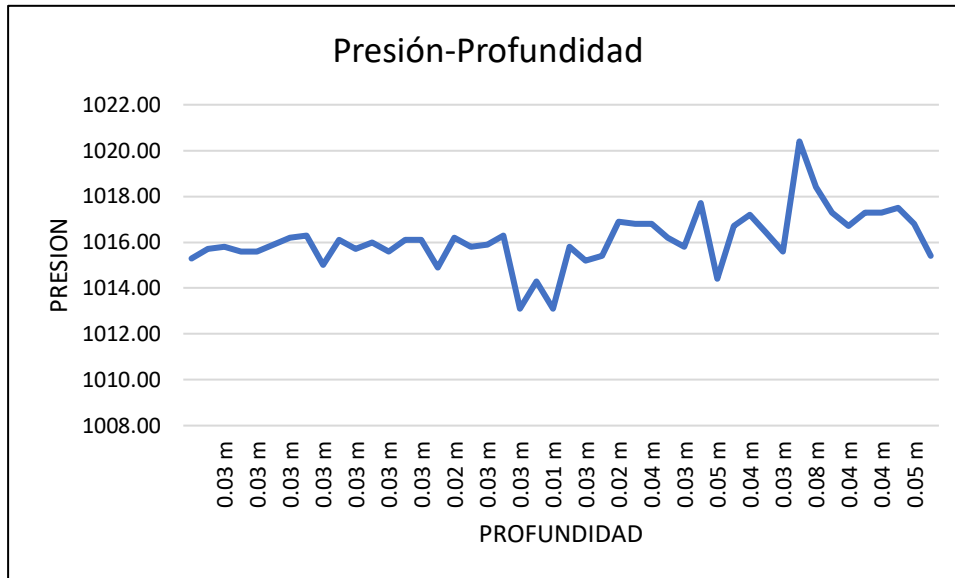


Tabla 34 Datos estadísticos Presión - Profundidad

2.8 CONCLUSIONES

El diseño de la estructura mecánica electrónica del catamarán funciona correctamente, se realizaron pruebas en la playa de San Lorenzo, presenta un equilibrio inicialmente estable con el 50% del casco sumergido en el agua, dado que por los factores externos viento y olas se divisa una estabilidad rotacional en la que varía el nivel de flotación no se observó indicios de volcamiento.

Los propulsores se encuentran estratégicamente ubicado en cada lado del catamarán, se encuentran alimentados independientemente por una batería de 11.1V con una entrega total de corriente nominal de 20 veces los 3000mA por hora con una potencia de 0.03kWh con una duración aproximada de 10 horas.

Se obtiene una correcta comunicación de radiofrecuencia de 2.4 Ghz en forma remota del dron naval gracias al amplio rango de transmisión de 1km a la redonda que poseen los módulos nrf24l01 con antena incorporada, no se perdió la comunicación teniendo un alcance de 103.76m en la prueba realizada.

Mediante el control PID se mostró una mejora en el comportamiento de la ruta de navegación, se logró atenuar el direccionamiento del prototipo estilo catamarán en la que ambos cascos fueron parte fundamental para contrarrestar el oscilamiento.

Se realizó la adquisición de datos con la herramienta oceanográfica CTD en la tarjeta de memoria con capacidad 4G, se recolectó información de forma autónoma en puntos fijos y durante todo su recorrido, mostrándose en cuadros estadísticos el resultado de las variables: salinidad, sales totales disueltas, conductividad, temperatura, presión, profundidad, altitud que influyen en las propiedades físicas del agua en la zona marino costera de Salinas

2.9 RECOMENDACIONES

De acuerdo al diseño físico del catamarán se reajustan y refuerza las partes que se encontraban débiles en las uniones entre cascos, esto provoca mayor peso, por tanto, se recomienda utilizar flotadores en la parte interna o externa del prototipo porque sin estos tienden a tener poca flotabilidad y como consecuencia se hunde por la influencia de agua presente en los cascos.

Se debe revisar minuciosamente el pegamento que cubra en su totalidad las piezas impresas en 3D que contienen los elementos electrónicos, este material es propenso a la filtración de agua.

Existe un retardo de cinco minutos en la comunicación entre el gps neo 6m y el satélite, de acuerdo a las pruebas realizadas, esto implica que cualquier misión marina a realizar con el catamarán se debe esperar este tiempo antes de cualquier ejecución.

En el prototipo catamarán se utilizan domos plásticos de color plomo, para futuros trabajos se recomienda utilizar domos transparentes porque permiten visualizar los elementos y las conexiones electrónicas que son utilizados en vehículos submarinos autónomos (AUV) y vehículos operado a distancia (ROV) específicos para la robótica marina el cual permite guardar herméticamente los dispositivos electrónicos de manera confiable y segura.

2.10 BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Dunbabin, A. Grinham y J. Udy, «An Autonomous Surface Vehicle for Water Quality Monitoring,» de ACRA (Australasian Conferencia en Robotica y Automatizacion, Australia, Sydney, 2009.
- [2] M. Castillo, M. Melo, G. Mosquera, V. Utreas y F. Bajaña, «Ministerio del Ambiente del Ecuador,» Junio 2015. [En línea]. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/QUINTO-INFORME-BAJA-FINAL-19.06.2015.pdf>.
- [3] P. Muñoz, V. Artola y C. Zambrano, «Secretaria Nacional de Planificacion y Desarrollo- Agenda zonal 5,» Ediecuatorial, Quito, 2015.
- [4] L. Zambrano, «Inocar,» de ACTA OCEANOGRÁFICA DEL PACÍFICO. VOL. 15, N° 1, 2009.
- [5] Elena, «KARTENN Tecnologías para la gestión ambiental y territorial,» Oceanografía Low-Cost, 28 junio 2013. [En línea]. Available: <http://www.kartenn.es/oceanografia-low-cost/>. [Último acceso: 16 diciembre 2018].
- [6] «Ministerio de relaciones exteriores y movilidad humana,» 7 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.cancilleria.gob.ec/el-territorio-maritimo-de-ecuador-sera-53-veces-mas-extenso-que-el-territorio-nacional-continental-una-vez-en-que-entre-en-vigor-el-acuerdo-con-costarica/>.
- [7] Ciifen, «Centro internacional para la investigacion del fenomeno del el Niño,» [En línea]. Available: http://www.ciifen.org/index.php?option%3Dcom_content%26view%3Dcategory%26layout%3Dblog%26id%3D99%26Itemid%3D132%26lang%3Des.
- [8] F. Valdez y R. Pallas, Microcontroladores fundamentos y aplicaciones con Pic, Bcelona, 2007.
- [9] K. J. Astrom y T. Hagglund, Control PID avanzado, Madrid: Pearson Educacion S. A., 2009.
- [10] C. Pardo, «Picuino,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.picuino.com/es/arduprog/control-pid.html>.
- [11] A. Perez, Protocolos de comunicaciones entre microcontroladores, 2016.

- [12] NXP Semiconductors, «UM10204I2C-bus specification and user manual,» 2014.
- [13] A. Molina, L. Roque, B. Garces, Y. Rojas, M. Dulzaides y M. Selin, «El proceso de comunicacion mediado por las tecnologias de la informacion. Ventajas y desventajas en diferentes esferas de la vida social,» Scielo, vol. 13, n° 4, 2015.
- [14] E. contributors, «Ecured,» 16 Agosto 2019. [En línea]. Available: <https://www.ecured.cu/index.php?title=Radiofrecuencia&oldid=3509558>.
- [15] P. Lozano, Oceánicas pioneras de la oceanografía, Madrid: Asetec.
- [16] M. V. C. VINICIO, «Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4794>. [Último acceso: 13 Enero 2020].
- [17] M. J. Moreira Torres, «Repositorio Universidad Estatal Península de Santa Elena,» 2017. [En línea]. Available: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/4255>.
- [18] BlueRobotics, «AQUA EXPLORACIÓN,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.bluerobotics.com/store/sensors-sonars-cameras/sensors/bar30-sensor-r1/>.
- [19] «Atlas Scientific,» 2 Diciembre 2019. [En línea]. Available: https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/EC_K_0.1_probe.pdf.
- [20] «Atlas Scientific,» 2019. [En línea]. Available: https://www.atlas-scientific.com/product_pages/kits/ec_k0_1_kit.html.
- [21] J. Cifuentes, M. d. P. Torres y M. Frias, «Biblioteca digital,» [En línea]. Available: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/html/sec_17.html.
- [22] C. Ilamo, Fisica, Progreso S.A, 2003.
- [23] J. A. G. Lopez, «Densidad relativa-gravedad especifica,» Tiempo real S.A, 2007.
- [24] «Blue Robotics,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.bluerobotics.com/store/thrusters/t100-t200-thrusters/t200-thruster/>.

- [25] Phi Robotics, 1.1 ed., Maharashtra, 2014, p. 10.
- [26] «Kingstom Technology,» 2018. [En línea]. Available: https://www.kingston.com/datasheets/SDCIT-specsheet-8gb-32gb_latam.pdf.
- [27] u-blox, Neo-6 series, vol. 1, 2011, p. 2.
- [28] L. Llamas, 8 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-joystick/>.
- [29] «Arduino,» 7 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/main/software>.
- [30] «SketchUp,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.sketchup.com/es>.
- [31] «Fritzing,» 2020. [En línea]. Available: <https://fritzing.org/home/>.
- [32] «Ultimaker,» Faber Electronics, European Regional Development Fund, 2020. [En línea]. Available: <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>.
- [33] L. llamas, «Teoria de control,» 23 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/teoria-de-control-en-arduino-el-controlador-pid/>.
- [34] Cedar Lake Ventures, « Weather Spark,» 09 noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/d/18290/11/8/Tiempo-promedio-el-8-de-noviembre-en-Salinas-Ecuador>.
- [35] H. Subhan, Furqan, A. Utama y F. Wirda, «Haversine method in looking for the Nearest Masjid,» International Journal of recent trends in engineering, vol. 3, 2017.
- [36] J. Catañeda, «oceanography,» [En línea]. Available: <https://www.mt-oceanography.info/IntroOc/index.html>.
- [37] L. LLamas, 14 Mayo 2016. [En línea]. Available: <https://www.luisllamas.es/arduino-spi/>.
- [38] C. Araujo Álvarez, I. L. Cortes Barrero y N. I. Quiñones García, «Simulacion de procesos,» 2 Septiembre 2011. [En línea]. Available: <https://simulaciondeprocesosudenar.wordpress.com/>.
- [39] «InvenSense,» 19 Agosto 2013. [En línea]. Available: <https://www.waveshare.com/w/upload/0/03/MPU6050-Register-Map-and-Descriptions.pdf>. [Último acceso: 23 noviembre 2019].

ANEXOS

Anexo 1 Construcción y pruebas dron naval



Figura 45 Construcción dron naval



Figura 46 Prueba funcionamiento en piscina

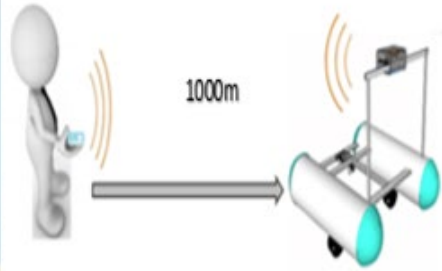


Figura 47 Prueba de comunicación del dron naval



Figura 48 Prueba de funcionamiento dron naval en playa de San Lorenzo

LINKPlanner (4.8.8)
File Edit View Project Tools Help

RECORRIDO DRON NAVAL

- Network Sites
 - Subscriber Sites
 - P
 - p1
 - P2
 - P3
 - P4
 - P5
 - P6
 - P7
 - P8
 - PTP Links
 - PMP Links
 - Project Configuration
 - Bill of Materials

Subscriber Sites in RECORRIDO DRON NAVAL

Name	Latitude	Longitude	Maximum Height (m)	Description
P	02.20439S	080.96844W	10	
p1	02.20417S	080.96945W	10	
P2	02.20386S	080.96931W	10	
P3	02.20378S	080.96930W	10	
P4	02.20336S	080.96893W	10	
P5	02.20269S	080.96828W	10	
P6	02.20235S	080.96788W	10	
P7	02.20198S	080.96729W	10	
P8	02.20152S	080.96672W	10	

Figura 49 Ingreso de coordenadas geográficas de los 8 puntos

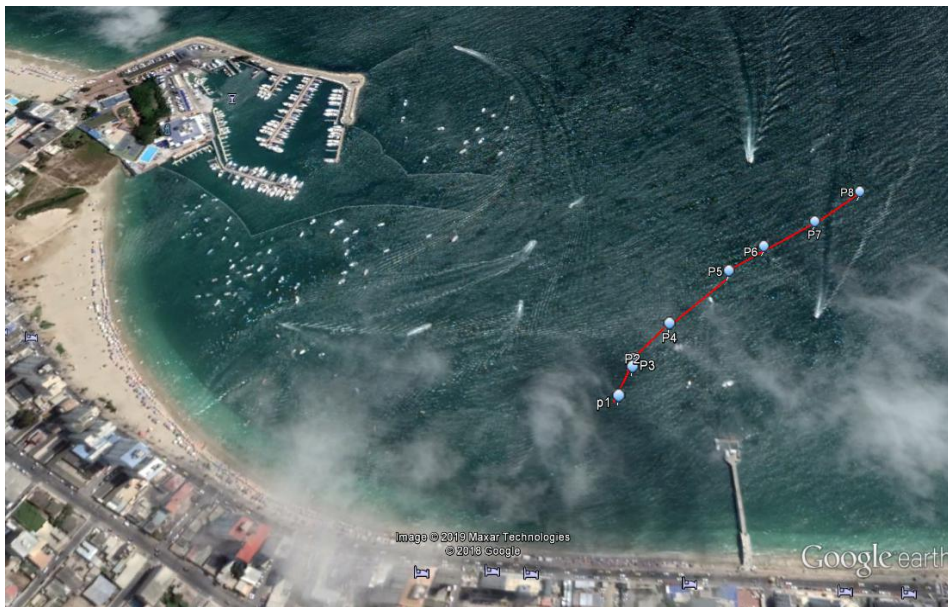


Figura 50 Ubicación de puntos en Google maps

Anexo 2 Código Funcionamiento Motores

```
#include<wire.h>
#include <SPI.h>
#include <RF24.L01.h>
#include <servo.h>
#define CE_PIN 6
#define CSN_PIN 8
Servo ESC; //motor izquierda
Servo ESC1; //motor derecha
RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);

int vel=100;
int16_t Acc_rawX,Acc_rawY, Acc_rawZ,Gyr_rawX, Gyr_rawY,Gyr_rawZ;
const uint64_t pipe=0XE8E8F0F0E1LL;

/*DECLARACION DE VARIABLES*/
int joystick[6];
int lectura, lectura1, lectura2, lectura3;
int speedright=0;
int speedLeft=0;
int xAxis, Yaxis;

float Acceleration_angle [2];
float Total_angle[2];
float rad_to_deg=180/3.1416;
float time, elapsed_time, timePrev;
float PID, error, previous_error, pwmESC, pwmEsc1;
float pid_p=0,
float pid_i=0;
float pid_d=0;

//CONSTANTE PID
double kp=3.3;
double Ki=0.005;
double Kd=0;
double throttle=1300;

float desired_angle=0;
void setup() {

wire.begin();
wire.beginTransmission(0x68); //dirección de esclavo
wire.write(0x6B);
wire.endTransmission(true);
Serial.begin(9600);
ESC.attach(10); //motor izquierda
ESC1.attach(9); //motor derecha
Time=millis();

//ACTIVAR EL ESC
ESC.writeMicroseconds(1000);
ESC1.writeMicroseconds(1000);
delay(5000); //Esperar 5 segundos para hacer la activación
```



```

else if ( radio.available() )
  { radio.read( joystick, sizeof(joystick) );
  xAxis = joystick[0];
  if ((joystick[0] > 384) && (joystick[0] < 666)) { //motor izquierdo funciona
    lectura2 = 3.067 * (joystick[0] - 666) + 2000;
    ESC.writeMicroseconds(lectura2);
  }
  else if ((joystick[0] < 383)) {
    lectura2 = 3.067 * (joystick[0] - 666) + 0; // motor stop izquierdo
    ESC.writeMicroseconds(lectura2);
  }
  if ((joystick[0] < 375) && (joystick[0] > 0)){
    lectura3 = 2.94*(joystick[0]-340)+2000;
    ESC1.writeMicroseconds(lectura3);
  }else if ((joystick[0] > 376) && (joystick[0] < 666)){
    lectura3 = 2.94*(joystick[0]-340)+0;
    ESC1.writeMicroseconds(lectura3);
  }}}
void pid()
{ {
  timePrev=time;
  time=millis();
  enlasepTime=(time-timePrev)/1000;
  wire.beginTransaction(0x68);
  wire.write(0x3B);
  wire.endTransmission(false);
  wire.requestFrom(0x68,6true);

  Acc_rawX=Wire.read()<<8|Wire.read();
  Acc_rawY=Wire.read()<<8|Wire.read();
  Acc_rawZ=Wire.read()<<8|Wire.read();
  /*---X---*/
  Acceleration_angle[0] = atan((Acc_rawY/16384.0)/sqrt(pow((Acc_rawX/16384.0),2) +
  pow((Acc_rawZ/16384.0),2)))*rad_to_deg;
  /*---Y---*/
  Acceleration_angle[1]=atan(1*(Acc_rawX/16384.0)/sqrt(pow((Acc_rawY/16384.0),2) +
  pow((Acc_rawZ/16384.0),2)))*rad_to_deg;

  wire.beginTransaction(0x68);
  wire.write(0x43);
  wire.endTransmission(false);
  wire.requestFrom(0x68,4true);
  Gyr_rawX=Wire.read()<<8|Wire.read();
  Gyr_rawY=Wire.read()<<8|Wire.read();
  /*---X---*/
  Gyro_angle[0] = Gyr_rawX/131.0;
  /*---Y---*/
  Gyro_angle[1] = Gyr_rawY/131.0;
  /*---X axis angle---*/
  Total_angle[0] = 0.98 *(Total_angle[0] + Gyro_angle[0]*elapsedTime) +
  0.02*Acceleration_angle[0];
  /*---Y axis angle---*/
  Total_angle[1] = 0.98 *(Total_angle[1] + Gyro_angle[1]*elapsedTime) +
  0.02*Acceleration_angle[1];
  error = Total_angle[1] - desired_angle;
  pid_p = kp*error;

```

```

if (-30<error<30) {

pid_i=pid_i +(ki*error);
}
Pid_d=kd*((error-previous-error)/enlapsedTime);
PID=pid_p+pid_i+pid_d;
If (PID<-1000) {
PID=-1000;
}
If(PID>1000){
PID=1000;
}
PwmESC=throttle+PID;
PwmESC1=throttle+PID;
//IZQUIERDA ESC
if(pwmESC<1000){
pwmESC=1000;
}if( pwmESC>2000)
{
pwmESC=2000;
}
//DERECHA ESC1
if(pwmESC1<1000){
pwmESC1=1000;
}if( pwmESC1>2000)
{
PwmESC1=2000;
}

ESC.writeMicrosecond(pwmESC);
ESC1.writeMicrosecond(pwmESC1);
Previous_error=error;
}}

```

Anexo 3 Código control inalámbrico

```
#define "nRF24I01.h"
#define "RF24.h"
#define <SPI.h>
#define CE_PIN 9
#define CSN_PIN 10
#define xAxis 14
#define yAxis 15
const uint64_t pipe=0XE8E8F0F0E1LL;

RF24 radio(CE_PIN, CSN_PIN);

/*-----( Declaracion de Variables )-----*/
int joystick[6]; /
int buttonUp = 2;
int buttonRight = 3;
int buttonDown = 4;
int buttonLeft = 5;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  radio.begin();
  radio.openWritingPipe(pipe);
  radio.stopListening();
  pinMode(buttonUp,INPUT_PULLUP);
  pinMode(buttonRight,INPUT_PULLUP);
  pinMode(buttonDown,INPUT_PULLUP);
  pinMode(buttonLeft,INPUT_PULLUP);
  digitalWrite(buttonUp,LOW);
  digitalWrite(buttonRight,LOW);
  digitalWrite(buttonDown,LOW);
  digitalWrite(buttonLeft,LOW);
}
void loop() {
  joystick[0] = analogRead(xAxis);
  joystick[1] = analogRead(yAxis);
  joystick[2] = digitalRead(buttonUp);
  joystick[3] = digitalRead(buttonRight);
  joystick[4] = digitalRead(buttonDown);
  joystick[5] = digitalRead(buttonLeft);
  radio.write( joystick, sizeof(joystick) );
  delay(20);
  Serial.print("X = ");
  Serial.print(analogRead(xAxis));
  Serial.print(" Y = ");
  Serial.print(analogRead(yAxis));
  Serial.print(" Up = ");
  Serial.print(digitalRead(buttonUp));
  Serial.print(" Right = ");
  Serial.print(digitalRead(buttonRight));
  Serial.print(" Down = ");
  Serial.print(digitalRead(buttonDown));
  Serial.print(" Left = ");
  Serial.println(digitalRead(buttonLeft));
}
```

Anexo 4 Código CTD

```
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <Time.h>
#include "MS5837.h"
File Archivo;
MS5837 sensor1;
TinyGPSPlus gps;
String inputstring = "";
String sensorstring = "";
boolean input_string_complete = false;
boolean sensor_string_complete = false;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial3.begin(9600);
  Serial1.begin(9600);
  inputstring.reserve(10);
  sensorstring.reserve(30);
  Wire.begin();
  sensor1.init();
  sensor1.setModel(MS5837::MS5837_30BA);
  sensor1.setFluidDensity(997); // kg/m^3 (freshwater, 1029 for seawater)
  if (!SD.begin(53))
  { Serial.println("Error al iniciar");
    return;
  } Serial.println("Iniciado correctamente");
  if (!SD.exists("datalog.csv"))
  {
    Archivo = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
    if (Archivo) {
      Archivo.println("DATOS SENSORES");
      Archivo.close();
    } else {
      Serial.println("Error creando el archivo datalog.csv");
    }
  }
}
void serialEvent()
{ inputstring = Serial.readStringUntil(13);
  input_string_complete = true;
}
void serialEvent3() {
  sensorstring = Serial3.readStringUntil(13);
  sensor_string_complete = true;
}
void loop() {
  sensor1.read();
  while(Serial1.available()){
    if(gps.encode(Serial1.read()))
    {
      Archivo = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
      if (input_string_complete == true) {
        Serial3.print(inputstring);
        Serial3.print("\r");
        inputstring = "";
        input_string_complete = false;
      }
    }
  }
}
```

```

}if(sensor_string_complete == true) {
  if (isdigit(sensorstring[0]) == false) {
    Serial.println(sensorstring);
  } else{print_EC_data();
  } sensorstring = "";
  sensor_string_complete = false;
}}}}void print_EC_data(void) {
char sensorstring_array[30];
char *EC;
char *TDS;
char *SAL;
char *GRAV;
float f_ec;
sensorstring.toCharArray(sensorstring_array, 30);
EC = strtok(sensorstring_array, ",");
TDS = strtok(NULL, ",");
SAL = strtok(NULL, ",");
GRAV = strtok(NULL, ",");
if (Archivo) {
  Serial.println("Escribiendo SD: ");
  //Archivo.print(millis());
  Archivo.print("EC:");
  Archivo.print(EC);
  Archivo.print(",");
  Archivo.print("TDS:");
  Archivo.print(TDS);
  Archivo.print(",");
  Archivo.print("SAL:");
  Archivo.print(SAL);
  Archivo.print(",");
  Archivo.print("GRAV:");
  Archivo.print(GRAV);
  Archivo.print(",");
  Archivo.print("Pressure:");
  Archivo.print( sensor1.pressure());
  Archivo.print (" mbar");
  Archivo.print(",");
  Archivo.print("Temperature:");
  Archivo.print( sensor1.temperature());
  Archivo.print("deg C");
  Archivo.print(",");
  Archivo.print("Depth:");
  Archivo.print( sensor1.depth());
  Archivo.print(" m");
  Archivo.print(",");
  Archivo.print("Altitude:");
  Archivo.print( sensor1.altitude());
  Archivo.print(" m above mean sea level");
  Archivo.print(",");
  Archivo.print("Latitude: ");
  Archivo.print(gps.location.lat(),6);
  Archivo.print(",");
  Archivo.print("Longitude: ");
  Archivo.print(gps.location.lng(),6);
  Archivo.print(",");
  Archivo.print(",");
}

```



```

Archivo.print("Altitude: ");
Archivo.print(gps.altitude.meters());
Archivo.print(",");
Archivo.print("Date: ");
  Archivo.print(gps.date.day());
  Archivo.print("/");
  Archivo.print(gps.date.month());
  Archivo.print("/");
  Archivo.print(gps.date.year());
Archivo.print(",");
Archivo.print("Time: ");
if (gps.time.hour() < 10) Archivo.print(F("0"));
Archivo.print(gps.time.hour()-5);
Archivo.print(":");
if (gps.time.minute() < 10) Archivo.print(F("0"));
Archivo.print(gps.time.minute());
Archivo.print(":");
if (gps.time.second() < 10) Archivo.print(F("0"));
Archivo.print(gps.time.second());
Archivo.print(".");
if (gps.time.centisecond() < 10) Archivo.print(F("0"));
Archivo.println(gps.time.centisecond());
Archivo.println();
Archivo.close();
Serial.print("EC:");
Serial.print(EC);
Serial.print(",");
Serial.print("TDS:");
Serial.print(TDS);
Serial.print(",");
Serial.print("SAL:");
Serial.print(SAL);
Serial.print(",");
Serial.print("GRAV:");
Serial.print(GRAV);
Serial.print(",");
Serial.print("Pressure: ");
Serial.print(sensor1.pressure());
Serial.print(" mbar");
Serial.print(",");
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(sensor1.temperature());
Serial.print(" deg C");
Serial.print(",");
Serial.print("Depth: ");
Serial.print(sensor1.depth());
Serial.print(" m");
Serial.print(",");
Serial.print("Altitude: ");
Serial.print(sensor1.altitude());
Serial.print(" m above mean sea level");
Serial.print(",");
Serial.print("Latitude: ");
Serial.print(gps.location.lat(),6);
Serial.print(",");

```

```

//Longitude
Serial.print("Longitude: ");
Serial.print(gps.location.lng(),6);
Serial.print(",");
//Altitude
Serial.print("Altitude: ");
Serial.print(gps.altitude.meters());
Serial.print(",");
//DATO
Serial.print("Date: ");
Serial.print(gps.date.day());
Serial.print("/");
Serial.print(gps.date.month());
Serial.print("/");
Serial.print(gps.date.year());
Serial.print(",");
Serial.print("Time: ");
if (gps.time.hour() < 10) Serial.print(F("0"));
Serial.print(gps.time.hour()-5);
Serial.print(F(":"));
if (gps.time.minute() < 10) Serial.print(F("0"));
Serial.print(gps.time.minute());
Serial.print(F(":"));
if (gps.time.second() < 10) Serial.print(F("0"));
Serial.print(gps.time.second());
Serial.print(F(":"));
} Serial.println();
} else {
  Serial.println("Error al abrir el archivo");
}
delay(20000);
}

```

Anexo 5 ENLACE VIDEO

<https://youtu.be/2hVuM9t8hQ4>