



### **TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

Diseño de Robot Submarino Operado Remotamente (ROV) con Interfaz de Transmisión de Datos para aplicaciones de monitoreo Submarinas orientado a la Industria 4.0

### **AUTORES**

Pedro Agustín Díaz Silva – Código: 1100975513  
José Andrés Macías Rueda – Código: 1095701810  
José Manuel Álvarez Higuera – Código: 1005451596

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS**  
**TECNOLOGIA EN ELECTRONICA INDUSTRIAL**  
**San Gil - Santander**  
**FECHA DE PRESENTACIÓN: 06-12-2019**



### **TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO**

Diseño de Robot Submarino Operado Remotamente (ROV) con Interfaz de Transmisión de Datos para aplicaciones de monitoreo Submarinas orientado a la Industria 4.0

### **AUTORES**

Pedro Agustín Díaz Silva – Código: 1100975513  
José Andrés Macías Rueda – Código: 1095701810  
José Manuel Álvarez Higuera – Código: 1005451596

**Trabajo de Grado para optar al título de**  
Tecnólogos en Electrónica Industrial

### **DIRECTOR**

Ing. Esp. Hernán Darío Díaz López

### **Adscrito a**

Grupo de Investigación en Tecnologías Socioeconómicas e Ingenierías – GITSEIN

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIAS**  
**TECNOLOGIA EN ELECTRONICA INDUSTRIAL**  
**San Gil - Santander**

**FECHA DE PRESENTACIÓN: 06-12-2019**

R-DC-95

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE  
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO Y  
PRÁCTICA

VERSIÓN: 01

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del Jurado

## DEDICATORIA

Dedicado principalmente a Dios por la vida y la oportunidad de permitir la elaboración de este proyecto. A mis padres, mi hermana y mis abuelos que me han impulsado día a día. Al Ing. Hernán e Ing. Yezid por compartir sus conocimientos y guiarnos con paciencia todos estos años.

*José Andrés Macías Rueda*

Dedicado primero en acción de gracias a Dios por la vida, por permitir la elaboración de este proyecto. A mi padre y Luz por tener paciencia durante su desarrollo, al Ing. Hernán e Ing. Yezid por compartir sus conocimientos y guiarnos en este camino, a mis compañeros por estar ahí dando apoyo en los momentos difíciles, a mi hermano Juan Manuel, para demostrarle que los sueños se pueden hacerse realidad.

*José Manuel Álvarez Higuera*

Este proyecto va dedicado primero a Dios por permitirme cumplir un logro más en mi vida, a mis padres, hermano y abuelos quienes me brindaron su apoyo incondicional y me motivaron a seguir adelante a pesar de las dificultades, al Ing. Hernán e Ing. Yezid por compartirnos sus conocimientos y experiencias durante este proceso y todas aquellas personas que contribuyeron de manera significativa a hacer realidad esta meta.

*Pedro Agustín Díaz Silva*

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a las Unidades Tecnológicas de Santander por habernos permitido completar nuestro ciclo tecnológico en el municipio de San Gil.

Agradecimientos especiales a nuestro asesor, Ingeniero Hernán Darío Díaz López por su dedicación al desarrollo de este proyecto, al Ingeniero Yezid Rolando Vargas Gómez por compartirnos sus conocimientos y experiencias y demás docentes que fueron parte fundamental de este proceso de aprendizaje.

Gracias a los directivos, familiares y compañeros participes en la culminación de este proceso de formación, brindándonos su confianza y apoyo durante la carrera.

*Autores*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>13</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	14
1.3. OBJETIVOS .....	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES .....	15
<b>2. MARCOS REFERENCIALES .....</b>	<b>18</b>
2.1. MARCO TEÓRICO .....	18
2.1.1. ROBÓTICA ACUÁTICA.....	18
2.1.2. ROBÓTICA ACUÁTICA SEGÚN SU DESPLAZAMIENTO .....	21
2.1.3. PRINCIPIO DE FLOTACIÓN DE ARQUÍMEDES, FLOTABILIDAD Y ESTABILIDAD .....	24
• <b><u>CUERPO QUE FLOTA: EL CUERPO SE MANTENDRÁ EN LA SUPERFICIE DEL FLUIDO SI Y SOLO SI LA DENSIDAD DEL FLUIDO ES MAYOR QUE LA DENSIDAD DEL MATERIAL DEL CUERPO SUMERGIDO. ....</u></b>	<b>25</b>
2.1.4. PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS EN EL AGUA .....	26
<b>2.2. MARCO LEGAL.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>27</b>
2.3.1. CRITERIOS DE DISEÑO:.....	27
2.3.2. IMPERMEABILIZACIÓN.....	29
2.3.3. ACELERACIÓN: .....	29
2.3.4. BATIMETRÍA: .....	30
2.3.5. SENSORES.....	31
<b>2.4. MARCO AMBIENTAL.....</b>	<b>33</b>
<b>3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO .....</b>	<b>34</b>
<b>3.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA .....</b>	<b>34</b>
3.1.1. CHASIS .....	34
3.1.2. IMPERMEABILIZACIÓN .....	36
3.1.3. UBICACIÓN DE ACTUADORES.....	36
3.1.4. TAMAÑO DE LAS HELICES Y DIÁMETROS .....	37
3.1.5. FLOTABILIDAD .....	38

3.1.6.	ETAPA DE ACTUADORES Y CONTROLADORES.....	38
<b>3.2.</b>	<b>ETAPA DE SENSADO .....</b>	<b>41</b>
<b>3.3.</b>	<b>ENSAMBLE DEL HARDWARE .....</b>	<b>43</b>
3.3.1.	SISTEMA DE COMUNICACIÓN POR RF .....	45
<b>3.4.</b>	<b>ETAPA DE ADQUISICION DE AUDIO Y VIDEO .....</b>	<b>46</b>
3.4.1.	SUMINISTRO DE ENERGIA.....	46
3.4.2.	IMPERMABILIZACIÓN DEL HARDWARE .....	48
<b><u>4.</u></b>	<b><u>RESULTADOS .....</u></b>	<b><u>49</u></b>
<b>4.1.</b>	<b>PROGRAMACIÓN E INTERFAZ DE LA PLATAFORMA.....</b>	<b>49</b>
4.1.1.	ADQUISICIÓN DE DATOS .....	55
<b>4.2.</b>	<b>MAPA BATIMETRICO .....</b>	<b>59</b>
<b><u>5.</u></b>	<b><u>CONCLUSIONES .....</u></b>	<b><u>64</u></b>
<b><u>6.</u></b>	<b><u>RECOMENDACIONES .....</u></b>	<b><u>66</u></b>
<b><u>7.</u></b>	<b><u>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA .....</u></b>	<b><u>67</u></b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Robot guardián. ....	18
Figura 2. Clasificación de Robots Acuáticos. ....	19
Figura 3. ROV autónomo. ....	20
Figura 4. ROV de intervención. ....	21
Figura 5. Aceleración del ROV. ....	22
Figura 6. Grafica turbulencias. ....	23
Figura 7. Inmersión-emersión. ....	24
Figura 8. Giro del cuerpo que flota. ....	25
Figura 9. Control. ....	28
Figura 10. Ejes del ROV. ....	28
Figura 11. Tipos de estructuras. ....	29
Figura 12. Ejemplo de mapeo. ....	30
Figura 13. Toma de datos mapeo. ....	31
Figura 14. Sensor de presión. ....	32
Figura 15. Sensor yf-s201. ....	33
Figura 16. Diseño del chasis. ....	34
Figura 17. Estructura final. ....	35
Figura 18. Medidas estructurales. ....	35
Figura 19. Impermeabilización. ....	36
Figura 20. Montaje de los motores. ....	37
Figura 21. Tamaño de las helices. ....	37
Figura 22. Corrección de la Fotabilidad. ....	38
Figura 23. Motores. ....	39
Figura 24. Pruebas de velocidad por PWM. ....	39
Figura 25. Esquema de conexión para el controlador. ....	40
Figura 26. Modulo IRF520. ....	41
Figura 27. Ubicación de los sensores. ....	42
Figura 28. Esquemático de control y potencia. ....	43
Figura 29. Ensamble del hardware. ....	44
Figura 30. Esquemático de obtención de datos. ....	44
Figura 31. Control RF. ....	45
Figura 32. Imágenes captadas por la cámara de video. ....	46
Figura 33. Motores vertical y horizontales. ....	47
Figura 34. Diagrama del suministro de energía. ....	47
Figura 35. impermeabilización del hardware. ....	48
Figura 36. Programación e Interfaz de la Plataforma. ....	49
Figura 37. Protocolo MQTT. ....	50
Figura 38. librerías de arduino. ....	50
Figura 39. Código arduino. ....	51
Figura 40. Variables utilizadas. ....	52
Figura 41. Interfaz wifi. ....	53
Figura 42. Respuesta de datos. ....	53
Figura 43. Conexión sensor. ....	54



Figura 44. Lectura GPS .....	54
Figura 45. Lectura sensor de temperatura .....	54
Figura 46. Encendido GPS .....	55
Figura 47. Configuración topic a escuchar .....	56
Figura 48. Configuración briken y topic .....	56
Figura 49. Adquisición de datos .....	57
Figura 50. Datos GPS .....	58
Figura 51. Esquema node-red .....	58
Figura 52. Puntos en .TXT con su respectivo Modelado en autocad.....	59
Figura 53. Curvas de nivel .....	60
Figura 54. Propiedades del esquema .....	60
Figura 55. Pruebas en piscina .....	61
Figura 56. Dashboard .....	62
Figura 57. Captura de la cámara .....	63

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Consumo aproximado ..... 63

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente describe la construcción de un robot submarino ROV (vehículo operado remotamente) el cual, permitirá realizar la exploración acuática en algunas de las fuentes hídricas de San Gil mediante posicionamiento global, trazando una serie de puntos estratégicos los cuales serán utilizados para graficar un plano cartográfico, obteniendo un video que permitirá ver las condiciones y/o especies que están alojadas en estos medios.

La estructura se diseña con materiales convencionales; con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado, resistente para dicha actividad. Cuenta con un protocolo de RF que garantiza una rápida respuesta para el manejo de los actuadores para su maniobrabilidad, así como de los sensores que permiten medir algunos parámetros físicos del medio; datos transmitidos a través de Wifi a una interfaz que monitorea en tiempo real dichas variables mientras son almacenadas en la nube a través del protocolo MSQT. La cámara online se instala a un sistema redundante para evitar pérdida de información a través de una memoria SD. El sistema cuenta con un GPS que permite indicar los puntos de referencia a través de coordenadas almacenadas y transformadas en cartografía de exploración, permitiendo tener un mapa real del sitio con valores de distancias - profundidad a través de la conexión de matrices de puntos que permiten crear grillas para la exploración en tres dimensiones.

Se cumplió satisfactoriamente con lo propuesto tomando los datos de longitud y latitud para realizar su respectivo mapa batimétrico. Además la herramienta Node-Red demostró ser una plataforma que cumplía las expectativas de procesamiento de datos para los sensores, a la vez, el dashboard es sencillo para mostrar datos en tiempo real, aunque se debe tener en cuenta que la velocidad de procesamiento por medio de MQTT es proporcional a la capacidad del computador sobre el cual se maneja.

**PALABRAS CLAVE.** Batimetría, Comunicación RF, Exploración acuática, Node red, Plataforma IOT.

## INTRODUCCIÓN

El proyecto presentado a continuación tiene como pilar fundamental la implementación de nuevas tecnologías, teniendo en cuenta algunos de los desarrollos realizados a nivel nacional e internacional, el cual permite realizar un trabajo de campo en el municipio de San Gil, desarrollando prototipos submarinos que tengan la capacidad de realizar exploración acuática tanto en lugares turísticos; como balnearios o lagunas de piscicultura donde permita ejecutar un levantamiento topográfico del medio, así como lograr tener mediciones cartográficas y de las condiciones del agua y realizando captura de video de los que se encuentra en el fondo acuático.

Basándonos en algunos referentes podemos encontrar el de Palacios Aguilar, A. G. & Gil Navarro J. A. (2014) donde realizaron un “Diseño e implementación de un vehículo submarino operado remotamente para la supervisión en la industria petrolera” Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, facultad de ciencias físicas y matemáticas. En los que tiene que ver la integralidad de los fenómenos enfocados bajo la cultura del equilibrio natural. una experiencia que nos lleva al modelo que se utilice en las compañías que laboran en suelo marino en especial a las de petróleo y gas de manera significativa para lograr que sus operarios a cargo tengan un mejor control como abarcar también la adquisición de datos, técnicas e instrumentos para el recojo y análisis de la información. Por otra parte, se obtiene información de Rodríguez Moreno, F. M. & Cárdenas C. M. (2014)” Prototipo de robot submarino con la capacidad de seguimiento de trayectorias mediante tratamiento de imágenes” Universidad Pedagógica Nacional, facultad de ciencia y tecnología.

En este proyecto de grado se diseña un prototipo de robot acuático, el cual tiene la capacidad de seguir trayectorias mediante el procesamiento de imágenes adquiridas en tiempo real a través del uso de una cámara web. Este prototipo es controlado en el eje x-y, sin tomar en cuenta el eje z. El tipo de control utilizado en este proyecto fue modelo caja negra en el cual solo se tienen en cuenta las entradas y salidas del sistema. La comunicación empleada es inalámbrica y la tecnología utilizada es por el protocolo bluetooth.

El prototipo cuenta con sensores de temperatura y GPS ubicados en la parte frontal dentro de una protección impermeabilizada de manera que permite realizar la exploración acuática de los diferentes escenarios no explorados mediante posicionamiento global, trazando una nube de puntos estratégicos los cuales son utilizados para graficar un plano cartográfico, obteniendo también un video que permite ver las condiciones y especies que están alojadas en este medio. Utilizando también la programación en entornos de desarrollos integrales que permiten realizar todo el monitoreo de los sensores en tiempo real, creando una interfaz que contenga el análisis de los datos tomados por los sensores

## 1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Siendo el municipio de San Gil un destino turístico cuenta con gran afluencia de visitantes en los diferentes periodos del año, teniendo como eje central actividades de aventura en su mayoría actividades acuáticas debido a las diferentes fuentes hídricas que lo rodean, entre pozos, ríos, cascadas, cuevas y piscinas, se evidencian actividades turísticas como canotaje, espeleología, rafting, kayak, torrentismo; o la visita a diferentes pozos y cascadas en donde los turistas interactúan con las diferentes fuentes de agua (Figueroa, 2019). Es evidente la necesidad de conocer la estructura acuática de dichas concentraciones de agua, así como poder conocer las distancias, medidas, profundidades, variables físicas y químicas que permitan garantizar las condiciones turísticas y de seguridad a las personas que visitan y realizan este tipo de actividades.

De igual forma es importante interpretar que la capital turística de Santander presenta desventajas para el turista al momento de llegar a estos lugares, ya que no se cuenta con un modelo topográfico que presenten las dimensiones y profundidades del pozo o si presenta algunas entradas a aguas subterráneas presentando un riesgo para las personas que visitan el lugar, como se evidencia en algunas ocasiones en el municipio con varios casos de personas ahogadas en algunos de estos pozos o quebradas como lo es el ejemplo de un hombre de 29 años de edad que se habría lanzado desde la parte más alta del pozo. Durante el descenso, su cabeza impactó con una piedra. uno de los testigos, precisamente, relató que después de esperar unos minutos y ver que no salía el ciudadano, se lanzaron al afluente para intentar rescatarlo, pero esto no fue posible por la profundidad y la corriente (vanguardia, 2019). Por esto se hace necesario el diseño de una estructura capaz de obtener información a través de un mapa batimétrico del lugar para que los visitantes tengan en cuenta los lugares parcialmente peligrosos.

Por tal motivo, se desea construir un vehículo ROV que supla estas necesidades. Uno de los inconvenientes más representativos es que el vehículo sea capaz de desplazarse por las diferentes fuentes hídricas en los tres ejes cartesianos a través de un protocolo de comunicación con mandos a distancia para el control de todos sus actuadores sin que sea interrumpido por la profundidad del agua o diferentes objetos que puedan interrumpir la comunicación y se pierda el dispositivo en las profundidades.

A su vez el diseño impermeable para todos los componentes electrónicos hace del proyecto un reto de diseño ya que su hardware electrónico presentara problemas con respecto a humedades que se presenten dentro de la estructura, así como los diferentes actuadores que presente el vehículo. La correcta impermeabilización para la instalación de una cámara que permita visualización en tiempo real de la fuente hídrica es un factor importante a tener en cuenta ya que permitirá tener registros fotográficos y en videos de las estructuras internas de la fuente.

Este vehículo al tener diferentes fuentes de consumo tanto eléctricas como electrónicas debe tener un diseño que satisfaga o supla la demanda eléctrica del dispositivo, para esto se deben estimar las baterías suficientes y la forma de que se integren con el ROV, permitiendo la maniobrabilidad del dispositivo y la autonomía suficiente para generar los recorridos, a su vez la importancia de las señales de energía independiente de control y de potencia con el fin de garantizar el correcto funcionamiento.

Adicionalmente se deben recolectar los datos del sensor GPS para que posteriormente se realice un levantamiento batimétrico utilizando el software AutoCAD civil 3d mediante los datos recolectados; además de realizar mediciones de temperatura. Por esto surge la siguiente pregunta de investigación ¿cuáles son los parámetros de construcción a nivel estructural, de hardware y software que permitan la construcción de un ROV para exploración de las fuentes hídricas del municipio de San Gil?

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

San Gil, una de las ciudades más importantes de la troncal del oriente, exaltada como Capital Turística de Santander desde julio de 2004, reconocimiento que llega a fortalecerla como polo de desarrollo del sur de Santander, apreciándose el crecimiento del turismo y deportes de aventura; en los cuales el canotaje, torrentismo y La exploración de cuevas y cavernas se ha tornado en un verdadero deporte extremo que actualmente se ha categorizado en una actividad de gran interés, así como la visita de balnearios y pozos que han incrementado el turismo de la región (Alcaldía, 2017).

Siendo conscientes de este desarrollo, se plantea crear un vehículo ROV que nos permita realizar la exploración acuática de los diferentes escenarios potenciales donde se desarrollan las actividades de aventura de tal modo que se realice un reconocimiento y análisis de los posibles lugares con alto índice de accidentalidad, es por esta razón que el vehículo contara con instrumentación adaptada para el levantamiento topográfico de los afluentes utilizados para estos deportes.

Los problemas relacionados con este entorno son muy extensos y no solo se da solución en el sector del turismo sino también en la búsqueda de objetos en estanques, lagunas y aguas profundas o poco profundas mediante una cámara de video comunicada con un dispositivo móvil vía wifi, en la que no solo se podrá realizar videos si no también capturas del medio en alta definición, para realizar esta búsqueda de objetos será importante también el módulo GPS con el que cuenta el vehículo ya que dará la ubicación exacta del objeto.

Por otro lado, en la provincia Guanentina no existen antecedentes de desarrollos propios de vehículos ROV que realice estos reconocimientos y análisis que necesitan los estanques o lagunas con grandes dimensiones, por otra parte el vehículo cuenta con una característica de la industria 4.0 y es poder realizar el tratamiento de estos datos en la

nube permitiéndonos obtener estadísticas y gráficos de las diferentes variables que se están midiendo obteniendo así unos datos históricos que nos permiten en el caso de la piscicultura comparar los diferentes niveles de ph y temperatura del afluente.

Este proyecto pretende ser un referente de proyectos de investigación e innovación para el municipio, así como para la Unidades Tecnológicas de Santander regional San Gil aportando un desarrollo para el semillero SSCADA y el grupo de investigación GITSEIN.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Construir un submarino ROV a partir de una estructura en PVC, que permita la exploración y levantamiento topográfico del relieve de superficies de terrenos cubiertos por agua mediante una interfaz de georreferenciación para la transmisión de imágenes.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Realizar la estructura del submarino a través de la selección y ensamble de elementos, materiales, módulos y sensores que le permitan funcionar en las diferentes condiciones fisicoquímicas del agua.
- ✓ Acondicionar los diferentes sistemas de control, potencia, comunicación y monitoreo a través de la programación e integración modular que permita el correcto funcionamiento para el ROV en un entorno acuático.
- ✓ Desarrollar un software en Arduino que permita realizar el procesamiento de datos en la nube utilizando el protocolo MQTT junto con “AutoCAD civil 3d” para crear un entorno simulado que describa el relieve de los cuerpos de agua.

### **1.4. ESTADO DEL ARTE / ANTECEDENTES**

En el mercado nacional como internacional existen empresas dedicadas al diseño e implementación de ROV en los cuales, sus metas es cubrir cada una de las problemáticas utilizando las nuevas tecnologías, para ello es importante tener en cuenta cada una de las características técnicas de los equipos existentes, así como los conceptos del levantamiento batimétrico, además de las características de los sensores a bordo del vehículo que se pueden utilizar como punto de partida para obtener una idea general de la gran cantidad de información que se puede obtener para una laguna, estanque y/o ríos.

Según un estudio de la Universidad Pontificia Bolivariana, en su documento titulado **“Sistemas de posicionamiento dinámico para subacuáticos operados remotamente”** elaborado por (Rivera, 2014) en el cual se realizó un estudio de los ROVs, de los DPS y de los diferentes sistemas de posicionamiento empleados para determinar la ubicación de los ROVs durante una misión de exploración, con el fin de proporcionar información amplia y concreta, mediante un proceso de búsqueda vía web. Se identificaron diversos sistemas de posicionamiento comerciales y las empresas fabricantes y distribuidoras, las cuales fueron contactadas con el fin de obtener información de los productos y de contacto, para facilitar el proceso de selección y compra en un futuro. Se definieron los criterios de selección de los sistemas de posicionamiento, para evaluar las diferentes alternativas comerciales de manera objetiva, en función de las necesidades y requerimientos de operación del ROV. Se seleccionó el sistema de posicionamiento BATS-Desktop system, fabricado por la empresa ORE Offshore EdgeTech. Este sistema es un sistema portable, de alta precisión y compatible con sistemas inerciales y GPS.

Del artículo de avances en ciencias e ingeniería, se toma como punto de partida el **“Diseño y construcción de un ROV (Remotely Operated Vehicle) submarino USFQ”** elaborado por (Soria, Cabrera, & Guerra, 2014). La estructura del submarino puede sumergirse a 50 metros de profundidad sin poner en riesgo a los componentes internos del submarino. El Submarino USFQ tiene flotabilidad negativa. El peso del cable no se consideró en los cálculos de flotabilidad. Durante las pruebas en mar abierto el peso del cable afectó la flotabilidad del submarino, así mismo fue necesario redistribuir los ejes de acero inoxidable para estabilizar el submarino. La cámara de video y el hidrófono funcionaron al mismo tiempo logrando tomar fotos, grabar audio y video; y permitieron al usuario observar en tiempo real lo que sucedía al frente del submarino durante una inmersión. La construcción modular permitió un fácil ensamblado y mantenimiento del submarino. El cable de seguridad no distribuyó la tensión resultante del peso. Por mala manipulación, el cable de potencia soportó toda la carga del peso y como resultado se filtró agua dentro del compartimiento seco a través del cable de potencia. El software LabView simplificó el lenguaje de programación y facilitó la integración de los diferentes componentes de control en una sola interfaz amigable para cualquier usuario.

Según (Sánchez, 2019) los ROV tienen muchas aplicaciones en la ciencia, en la pesca, en el control ambiental y limpieza de océanos y también en el ámbito militar donde se encarga entre otras cosas del rescate y el salvamento de materiales y vidas humanas, sobretodo porque nos facilita la exploración en zonas de difícil acceso (OTAN, 2017). El objetivo del uso del ROV en operaciones de rescate es la de búsqueda y exploración del material, vida humana y algún objeto sumergido en las profundidades ya sea en el medio marítimo, fluvial o lacustre. Como se puede recordar, tiempo atrás se produjo el trágico accidente con el submarino ARA “San Juan” en Argentina, cuyo rastro se perdió en el Océano Atlántico a unas 300 millas náuticas al este de la ciudad de Comodoro Rivadavia, se contrató los servicios de la empresa estadounidense “Ocean Infinity” de la industria de Exploración de Fondos Marinos para la búsqueda del submarino siniestrado. Esta empresa procedió a usar sus vehículos ROV los cuales tenían capacidad para operar a



6000 metros de profundidad y trabajar gran tiempo en inmersión pudiendo localizar la nave sumergida.

(Ramírez, Gutiérrez, Vásquez, & Flórez, 2007) presenta el diseño mecánico de un vehículo sumergible operado remotamente ROV, con el que se busca entregar información visual confiable para inspección y mantenimiento de cascos de barcos y estructuras sumergidas, en los puertos de intercambio comercial colombianos. El diseño se parte en tres grandes etapas (preliminar, básica y detallada), las cuales comprenden la ejecución de actividades como la exploración del estado del arte, la definición de las restricciones y especificaciones de diseño, la división del vehículo en subsistemas funcionales, el planteamiento y selección de alternativas para cada subsistema, el análisis y síntesis de piezas que requieren ser manufacturadas, la selección de partes comerciales y la integración de los subsistemas en un solo conjunto. La validación y definición de cada uno de los elementos del vehículo se hace utilizando herramientas CAD/CAE y software de programación de alto nivel, basados en principios de ingeniería como la mecánica de sólidos, materiales y fluidos. Los resultados, tales como planos de taller y ensamble y la documentación del diseño tanto en medios magnéticos como escritos, permitirán que la construcción y la correcta operación de un prototipo de ROV sean posibles.

En (Rodríguez Moreno, F. M. & Cárdenas C. M. 2014) **“Prototipo de robot submarino con la capacidad de seguimiento de trayectorias mediante tratamiento de imágenes”** Universidad Pedagógica Nacional, se trabajó un prototipo de robot acuático, el cual tiene la capacidad de seguir trayectorias mediante el procesamiento de imágenes adquiridas en tiempo real a través del uso de una cámara web. Este prototipo es controlado en el eje X - Y, sin tomar en cuenta el eje Z. El tipo de control utilizado en este proyecto fue modelo Caja Negra en el cual solo se tenían en cuentas las entradas y salidas del sistema, el controlador se diseñó usando un control PID digital. La comunicación empleada fue inalámbrica y la tecnología utilizada fue Bluetooth.

## 2. MARCOS REFERENCIALES

### 2.1. MARCO TEÓRICO

#### 2.1.1. *Robótica Acuática*

El desarrollo de la investigación sobre la robótica acuática se inspira en la morfología de los animales, siendo un descubrimiento para la comunidad robótica. Parte de estas investigaciones en robots submarinos se han enfocado en la eficiencia y maniobrabilidad de los peces en el agua, permitiendo el desarrollo de sistemas que ejecutan tareas como mantenimiento e inspección de tuberías de petróleo, aceite en plataformas oceánicas o de gas, como también la exploración geofísica del suelo marino para investigación.

La mayoría de los robots acuáticos que se encuentran en la actualidad usan hélices o propelas para su propulsión. Con las investigaciones se ha encontrado mejor eficiencia en cuanto al uso de estas, por lo cual el objetivo es usar el mínimo de energía para su recorrido y distribuirlo equitativamente mejorando el control de todo el robot. De ahí se parte en la eficiencia de los diseños para un mejor desempeño de estos sin afectar factores importantes para su ejecución.

Debido a esto, las investigaciones se han centrado en la emulación de sistemas BDF (body or Caudal Fin) [IO] y MPF (Median or Paired Fin), estos métodos mejoran el control de movimiento y maniobrabilidad del robot y emplea energía en los movimientos.

El proyecto Robo Ray es uno de los ejemplos de estos métodos para la optimización de energía con los movimientos, realizado en el año 2001 en la University of British Columbia de Canada, el cual emula el movimiento rajiforme de una aleta controlada.

Figura 1. Robot guardián.

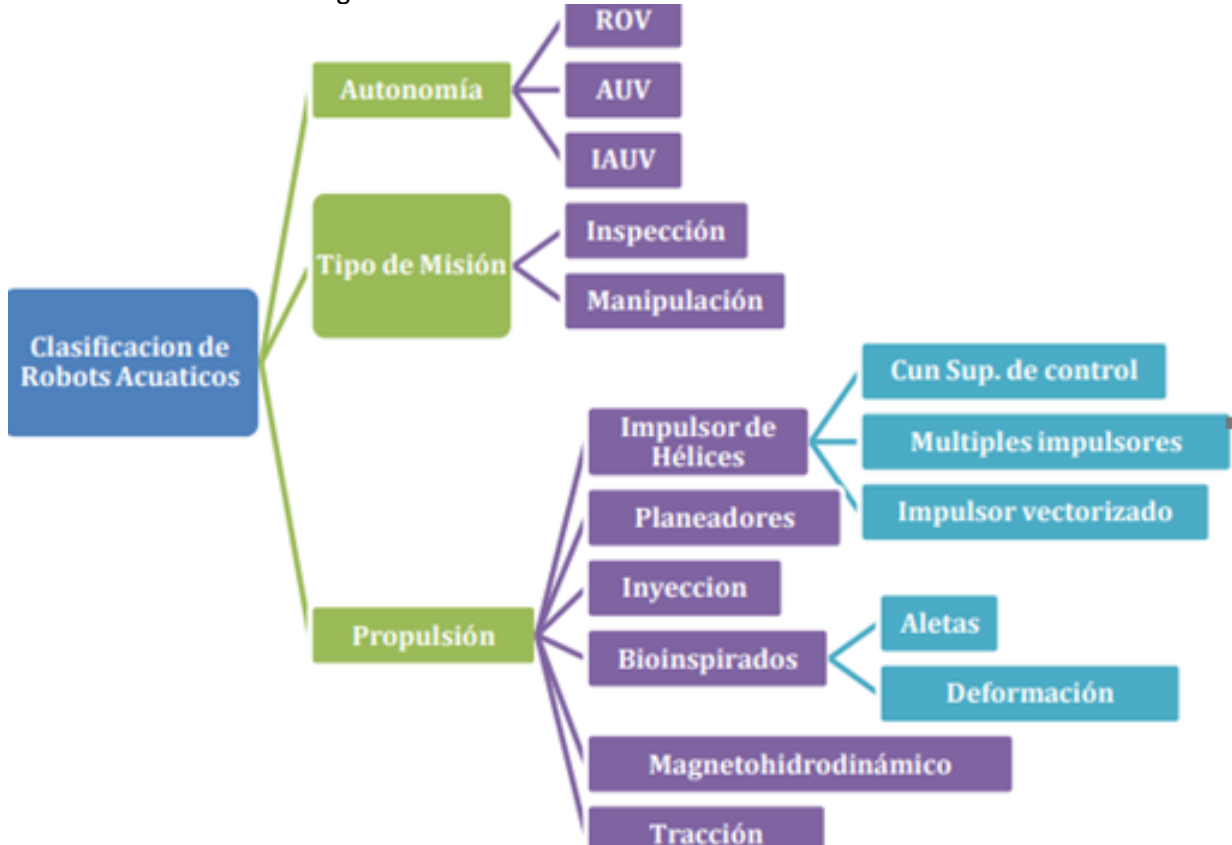


Fuente:

<https://www.nauticexpo.es/prod/subsea-tech/product-30441-189951.html>

Los robots acuáticos se pueden clasificar de dos maneras: la primera se enfoca en el nivel de autonomía para realizar un trabajo específico, como se observa en la siguiente figura.

Figura 2. Clasificación de Robots Acuáticos.



Fuente: (Meza & Forero, 2015)

En la figura se presentan la clasificación de los robots submarinos ya sean autónomos, tele operados o híbridos. Por tanto, los robots se pueden clasificar según su misión a realizar, ya sea de inspección o manipulación; esto define el tipo de sensores que se han de utilizar y la estructura que este debe poseer. Para definir el sistema de propulsión se estudian los movimientos a realizar y el consumo de energía en este tipo de ambientes.

Los robots acuáticos han sido diseñados para realizar misiones como son: Misión de inspección donde el robot navega y no necesita un manipulador, en otras palabras es autónomo, puesto que su trabajo es adquirir información de inspección, como la toma de imágenes mediante una o varias cámaras, sensores de temperatura, acústica o de calidad del agua y revisión de instalaciones, sean metálicas como tuberías o en espacios abiertos; como las misiones de manipulación donde el robot interviene con manipuladores para poder hacer una inspección en tiempo real del entorno de operación, conocidos como tele operados, entre estas tareas se tiene la apertura y cierre de válvulas, ensamble y desmontaje de componentes, recolección de muestras para estudios, como el apoyo en rescate de personas en ambientes de difícil acceso.

Figura 3. ROV autónomo.



Fuente:

[http://www.marinevision.es/es/diving-pro/videoray/rov\\_mss.html](http://www.marinevision.es/es/diving-pro/videoray/rov_mss.html)

### 2.1.1.1 Robots Submarinos Operados Remotamente, ROVs

Los robots operados remotamente (ROVs, por sus siglas en ingles de Remotely Operated) se encuentran unidos por un cable de transmisión, el cual, permite el paso de datos y la alimentación del robot, para que en la superficie se le den los parámetros a realizar y a su vez deja ver los datos recolectados por los sensores, para que el usuario conozca el estado del ambiente en el que se encuentra el robot. En la actualidad este tipo de robots por las exigencias de los trabajos en las estructuras submarinas, como las instalaciones petroleras o de gas, son utilizados para la inspección, manteniendo un ritmo de producción en un tiempo adecuado, según el tipo de reparación que este necesite realizar; sin embargo, se hace eficiente por el consumo elevado de energía.

### 2.1.1.2 Robots Submarinos Autónomos, AUVs

Los robots submarinos autónomos (AUVs, por sus siglas en ingles de Autonomous Underwater) como su nombre lo dice poseen la habilidad de realizar misiones sin la supervisión del usuario y además posee una fuente de energía recargable, como también una comunicación constante con el usuario sin necesidad de estar conectado, aun así tienen tareas predeterminadas, también se pueden transmitir misiones adicionales. Este tipo de robots rompen la barrera de los ROVs para algunas tareas, como las de investigación, debido a la capacidad de almacenar información internamente, son usados para operaciones de detección de artefactos explosivos, con aplicaciones de vigilancia

que ofrece desde hace varios años las compañías tecnológicas, siendo una novedad en este campo.

### 2.1.1.3 Robots Submarinos Autónomos para intervenciones, IAUVs

Son diseñados para misiones de observación, pero también se pueden programar tareas de manipulación, este tipo de robots es el resultado de los dos anteriores, el cual posee menos restricciones al momento de realizar tareas y envía información de forma simultánea de los datos recolectados, para permitirle al usuario por medio de una interfaz tener conocimiento del área.

Figura 4. ROV de intervención.



Fuente: (F. M. Rodríguez Moreno & C. M. Cárdenas, 2014).

### 2.1.2. Robótica Acuática según su desplazamiento

En términos generales cuando se habla de robots acuáticos tipo hexápodo, se hace referencia a robots que están compuestos por extremidades, las cuales, les permiten hacer movimientos en distintas direcciones. Este tipo de robots posee una distinción sobre los demás, debido a que la gran mayoría de robots acuáticos poseen formas de propulsión para poder realizar su movimiento en diferentes direcciones.

Este tipo de robots tienen características que permiten reconocer el fluido sobre el cual se encuentre, para esto se debe tener en cuenta la gravedad y el peso, además no afectan a los peces, por tanto, las fuerzas adicionales que se generan para mantenerse se ven reflejados al momento de sumergirse, lo que implica mecanismos que apliquen resistencia y para esto los parámetros que ayudan a contrarrestar estos efectos son:

#### 2.1.2.1 Arrastre:

- **Arrastre de fricción:** Se produce por la fricción del pez y el agua, el cual se aumenta con la velocidad.

- **Arrastre de forma:** Se genera por la distorsión del fluido y por el cuerpo del pez.
- **Arrastre por vórtices:** Según las aletas se produce la energía en los vórtices generados por el movimiento.

### 2.1.2.2 Empuje:

Es causado por las asimetrías en el fluido afectando el movimiento.

### 2.1.2.3 Reacción por aceleración:

Se genera por la resistencia del agua alrededor del cuerpo o de una aleta para cambios de velocidad.

Como anteriormente se menciona, estos parámetros son importantes para este tipo de robots, debido a su estructura, se debe tener en cuenta el fluido donde se encuentre. Este tipo de robots con esta fisionomía no son muy comunes, pero un ejemplo de este tipo de robots es Whegs™ el cual posee las 6 extremidades que le permiten nadar sobre un fluido. Los conceptos de funcionamiento de estos también se basan en los movimientos que un artrópodo realiza al caminar, la gran mayoría de robots solo se basan en los movimientos de propulsión en un solo sentido, este tipo de robots es poco usual no solo porque se limitan a requisitos de diseño sino de evadir obstáculos.

Muchos de los animales acuáticos no viven en el agua: como las ranas y los pingüinos, los cuales tornan ventaja de sus extremidades para flotar así. El diseño de este tipo de robot es apto para nadar, los diseños que se encuentran son muy similares solo que cambian sus extremidades para mejor la eficiencia.

Estos diseños han tenido en cuenta los parámetros que sirven para contrarrestar los efectos de la gravedad y del fluido respecto a la estructura.

Figura 5. Aceleración del ROV.



Fuente: (Meza & Forero, 2015)

### 2.1.2.4 Turbulencias

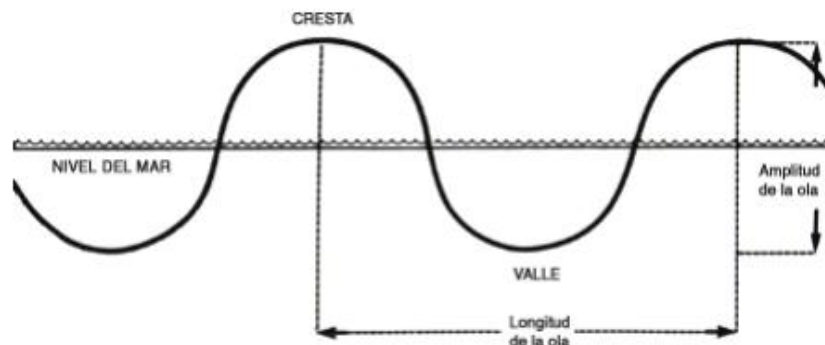
Es difícil observar el movimiento ondulatorio claramente individualizado de las olas, pero en alta mar, y sobre todo en ciertos días de calma, se ve como la superficie es recorrida

por una ondulación, que presentan elevaciones llamadas crestas y depresiones denominadas valles. Estas crestas y valles se propagan con regularidad, en líneas paralelas, que determinan el ascenso y descenso de las embarcaciones, que se mueven con ritmo pausado y solemne.

Para estudiar a las olas y sus efectos, los investigadores han empleado una terminología especial para los diversos elementos que lo conforma. Se llama longitud de onda o de ola a la distancia que separa dos crestas consecutivas. Altura de la ola es la distancia vertical que separa la cresta del valle (depresión más baja de la ola); el peralte es la relación entre la altura y la longitud de la ola; el período es el tiempo que separa el paso de dos crestas sucesivas delante de un punto fijo y la celeridad o velocidad de fase es el resultado de dividir la longitud de onda entre el periodo.

En los estudios de oceanografía física se considera teóricamente a las olas como una forma suave y simétrica que puede ser descrita aplicando el modelo de propagación electromagnética, pero en el mar el oleaje presenta gran diversidad en forma, tamaño e intensidad; sin embargo, para facilitar su estudio se distinguen dos tipos principales de ondas o de olas: las libres y las forzadas, u olas propiamente dichas.

Figura 6. Grafica turbulencias.



**Fuente:** (Meza & Forero, 2015)

La ola libre, también llamada pura, se produce por causas ajenas a los vientos, y el lugar donde se origina se localiza lejos del punto donde se presenta, por lo que cubre áreas extensas del océano.

En cambio, las olas forzadas o de gran longitud de onda son causadas por intensas depresiones atmosféricas acompañadas de vientos activos, y se localizan en un sector reducido del mar. Las olas hacen que la superficie del océano presente características extremadamente ordenadas, y no se debe confundir a las olas libres, que son raras, con las olas forzadas o formadas en un lugar determinado por la acción de un viento local. Las olas libres se originan en sitios bien definidos y recorren la superficie marina produciendo movimientos ondulatorios que no presentan periodicidad.

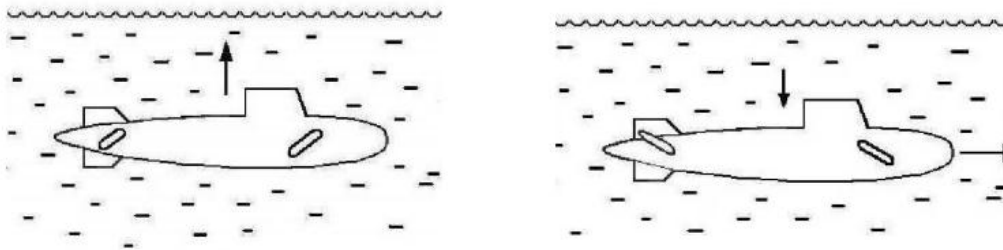
### 2.1.2.5 Comunicación

Los protocolos de comunicación usados para este tipo de robots pueden variar, desde la tele operación del robot por medio de una plataforma que puede ser desde un computador hasta un control remoto; por tanto, los datos que se pueden enviar dependen de los dispositivos que se estén usando para la recepción de información, así mismo, puede ser enviado por protocolos como RS-232 o por transmisión de datos vía bluetooth o wifi, donde por cada canal se predetermina una señal en especial, de modo que dependiendo el receptor se entrega al usuario.

### 2.1.2.6 Inmersión – Emersión

Algunos sumergibles o submarinos emplean un sistema de planos de inmersión: delanteros y traseros, que son ajustados de cierta forma para hacer que el sumergible sea capaz de emerger o de hundirse, esto es posible mientras el sumergible se desplace a una velocidad considerable, ya que de lo contrario no existiría la fuerza hidrodinámica que actuaría directamente sobre los planos de inmersión y por tanto el sumergible no podría hundirse o emerger.

Figura 7. Inmersión-emersión.



Fuente: (Meza & Forero, 2015)

### 2.1.3. Principio de flotación de Arquímedes, Flotabilidad y Estabilidad

"Cualquier cuerpo total o parcialmente sumergido en un fluido es empujado hacia arriba por una fuerza que es igual al peso del fluido desplazado por el cuerpo".

La fuerza que el fluido ejerce hacia arriba sobre el objeto sumergido se conoce como fuerza de flotación, donde la magnitud de esta fuerza es igual al peso del fluido desplazado por el objeto. La fuerza de flotación actúa verticalmente hacia arriba a través del centro de gravedad del fluido desplazado, esta fuerza se puede representar matemáticamente de la siguiente forma:

$$F_f = P_f * V_d \quad (1)$$



Donde  $F_r$  es la Fuerza de Flotación,  $P_r$  es el peso específico del fluido y  $V_d$  es el volumen desplazado del fluido.

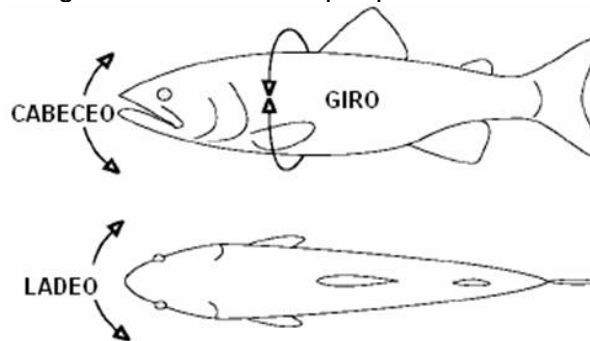
A continuación, se describe el estado en que se puede encontrar un cuerpo dentro del agua.

- **Cuerpo Sumergido que alcanza el fondo:** El cuerpo se desplazará hasta el fondo de un recipiente sí y solo sí la densidad del material del cuerpo sumergido es mayor a la densidad del fluido, esto quiere decir que, si el peso del cuerpo es mayor que el empuje, la resultante de las fuerzas estará dirigida hacia abajo y el cuerpo se hundirá.
- **Cuerpo Sumergido que no alcanza el fondo:** Si el peso del cuerpo es igual al empuje, la resultante será nula y el cuerpo se mantendrá en equilibrio dentro del fluido.
- **Cuerpo que flota:** El cuerpo se mantendrá en la superficie del fluido sí y solo sí la densidad del fluido es mayor que la densidad del material del cuerpo sumergido.

Un cuerpo en un fluido se considera que es estable si regresa a su posición inicial después de haber girado un poco alrededor del eje horizontal. La estabilidad tiene diferentes condiciones dependiendo de que tanto este o no sumergido el cuerpo.

Los peces experimentan tres clases de movimientos considerados inestables, estos son: el giro, que es la rotación sobre el eje longitudinal del pez, el cabeceo, que es la rotación vertical y el ladeo, que es la rotación horizontal del pez.

Figura 8. Giro del cuerpo que flota.



**Fuente:** (Meza & Forero, 2015)

La estabilidad del eje longitudinal del pez se logra haciendo que coincidan en una misma línea vertical el centro de gravedad de la plataforma y el centro de flotabilidad ya que estas dos fuerzas son opuestas y equilibradas. Para esto los elementos más pesados deben ir en la parte inferior del pez y los que tengan mayor flotabilidad en la parte de arriba. La estabilización en el momento de la inmersión se puede lograr de dos maneras:

La primera, es cambiando el centro de masa desplazando elementos que tengan pesos considerables en relación con la plataforma hacia el sitio deseado (hacia delante para la inmersión o hacia atrás para la emersión). La segunda, es colocando elementos con flotabilidad positiva, que cambien de lugar el centro de flotabilidad.

#### **2.1.4. Propagación de las ondas en el agua**

El sonido es un fenómeno físico que se produce cuando un objeto vibra y genera una serie de ondas de presión que de forma alternativa comprimen y descomprimen las moléculas del aire, agua o sólido por los que pasan las ondas.

Estos ciclos de compresión y descompresión, se pueden describir en términos de frecuencia. Existen una serie de factores que influyen en la distancia que el sonido puede recorrer debajo del agua y su duración. Por una parte, las partículas de agua pueden reflejar, dispersar y absorber ciertas frecuencias de sonido al igual que ciertas partículas de la atmósfera puede reflejar, dispersar y absorber determinadas longitudes de onda de la luz. El agua de mar absorbe 30 veces la cantidad de sonido absorbida por el agua destilada, con sustancias químicas específicas (como sulfato de magnesio y ácido bórico) atenuando ciertas frecuencias de sonido. Los sonidos de baja frecuencia, cuyas longitudes de onda de gran amplitud pasan sobre partículas minúsculas, tienden a desplazarse más lejos sin que se produzca ninguna pérdida por absorción o dispersión. Las oscilaciones de las partículas de agua en estas ondas no quedan limitadas a la superficie, sino que se extienden con amplitud decreciente hasta el fondo, la velocidad con la que se desplazan estas ondas en el agua es de 1435 m/s.

La velocidad del sonido disminuye a medida que la temperatura del agua baja. Por debajo de cierta distancia donde la temperatura es casi constante, la velocidad no cambia, aunque el aumento de presión provoca que la velocidad del sonido aumente.

Debido a que las ondas del sonido se curvan o refractan en dirección a la región de velocidad mínima, los cambios de temperatura o presión provocan que las ondas sonoras reboten de un lado para otro dentro de una región llamada canal de sonido profundo. En este canal, el sonido recorre largas distancias con una pérdida mínima de señal.

## **2.2. MARCO LEGAL**

En Colombia el uso de la tecnología en ambientes cotidianos se regula bajo el estatuto de la resolución número 2163 de 2016, por lo cual se reglamentó el Decreto 2297 de 2015 y se dictan otras disposiciones. De las cuales se objeta sobre la implementación de plataformas tecnológicas en ambientes cotidianos y en la movilización.

Al mismo tiempo, la ley N° 1951 24 de enero de 2019 donde se crea el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de acuerdo a la Constitución, para contar con el ente

rector de la política de ciencia, tecnología e innovación que genere capacidades, promueva el conocimiento científico y tecnológico, contribuya al desarrollo y crecimiento del país y se anticipe a los retos tecnológicos futuros, siempre buscando el bienestar de los colombianos y consolidar una economía más productiva y competitiva y una sociedad más equitativa.

Debido a que el proyecto se basa en buena parte de la comunicación de datos en un ambiente marítimo, el decreto 1078 de 2015, en el título 3 el cual describe en sus capítulos “DE LAS TELECOMUNICACIONES DEL SERVICIO MÓVIL MARÍTIMO”. El cual se reglamenta cualquier tipo de comunicación en ambientes acuáticos para un óptimo y correcto uso, sin embargo se debe considerar que el decreto se fomentó para embarcaciones con personal abordo, el cual se exime en este caso, ya que se presenta una embarcación totalmente sin tripulación, pero se compite como una nave la cual en el decreto se considera como “ toda construcción principal o independiente, idónea para la navegación y destinada a ella, cualquiera que sea su sistema de propulsión”, a la vez posee mecanismos tales como:

- ✓ ESTACIÓN MÓVIL: Estación del servicio móvil destinada a ser utilizada en movimiento o mientras está detenida en puntos no determinados.
- ✓ MOTONAVE: Nave cuya propulsión se realiza a través de motor, se encuentre este dentro o fuera de borda.
- ✓ PILOTOS PRÁCTICOS. Profesional titulado por la autoridad marítima o fluvial competente, experto en el conocimiento de una zona marítima, fluvial o puerto específico, que asesora a los capitanes en las maniobras de las naves.

En el Capítulo 2, DISPOSICIONES GENERALES, Artículo 2.2.3.2.5. Obligaciones de los licenciatarios, se predisponen unas condiciones de utilizar las bandas o espacio de radiofrecuencia por parte de una embarcación.

## 2.3. MARCO CONCEPTUAL

### 2.3.1. CRITERIOS DE DISEÑO:

#### 2.3.1.1 Control:

El robot está controlado de forma remota y será libre de escoger una forma de comunicación alámbrica o inalámbrica entre el centro de control y el robot. Si se escoge un medio de control alámbrico debe tener en cuenta la cobertura del robot y el manejo. Si escoge una forma inalámbrica debe tener en cuenta factores como la rápida respuesta del dispositivo, la cobertura y la maniobrabilidad con el fin de evitar accidentes en el vehículo.

Figura 9. Control.



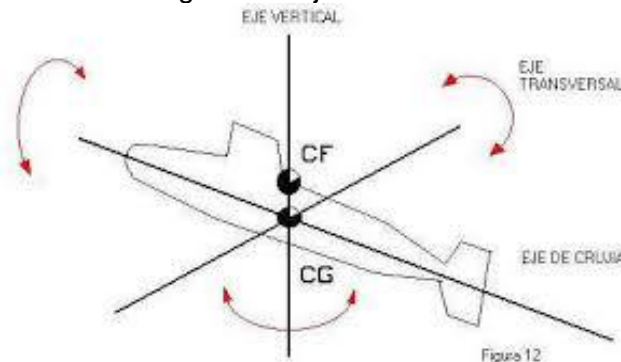
Fuente: (Meza & Forero, 2015)

Para el manejo del robot será libre de escoger el dispositivo de accionamiento, ya sean controles alámbricos o inalámbricos, interfaces, computadores, celulares, tablets, joystick o cualquier otro que el estudiante considere y garantice la funcionalidad.

### 2.3.1.2 Maniobrabilidad:

El robot debe poder desplazarse en cualquiera de los ejes (X, Y, Z), esto lo debe garantizar el diseño que se escoja, a través de la selección de motores, compuertas, bombas o diferentes métodos de propulsión que se consideren necesarios para garantizar la maniobrabilidad del dispositivo.

Figura 10. Ejes del ROV.



Fuente: (Meza & Forero, 2015)

### 2.3.1.3 Estructura:

Para la estructura se puede escoger la forma del robot, las dimensiones, el material, la ubicación de dispositivos, motores, bombas, instrumentación, electrónica, entre otros; de

manera que garantice el movimiento del mismo a través de todos los ejes, importante tener en cuenta la profundidad del vehículo.

Figura 11. Tipos de estructuras.



Fuente: (Meza & Forero, 2015)

No está de más hablar de la correcta instalación de la electrónica y motores de manera que no se produzcan filtraciones de agua dentro de la electrónica, produciendo daños y circuitos que entren en corto. Para esto se debe evaluar la forma de permear de la mejor forma posible cada uno de los elementos que no se pueden mojar.

### **2.3.2. Impermeabilización**

La impermeabilización puede asegurar que los componentes mecánicos y electrónicos estén protegidos del agua. Depende del grado de protección que se quiera brindar a los componentes internos, además que, en ocasiones se requiere tener acceso a alguno de los motores, baterías o mecanismos internos del robot. También es importante que el tipo de materiales utilizados no se deterioren con el tiempo por el agua. Finalmente, en la parte inferior del robot se necesita que el agua entre en el tanque de almacenamiento para mantenerlo estable y pueda sumergirlo o emergerlo dependiendo el caso.

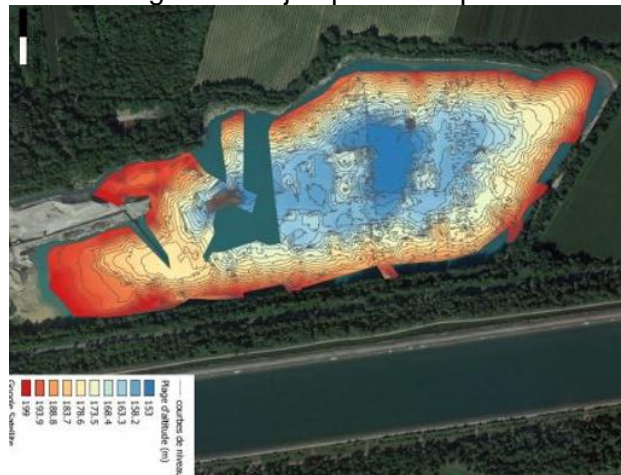
### **2.3.3. Aceleración:**

Es la variación de la velocidad por unidad de tiempo, es decir, razón de cambio en la velocidad respecto al tiempo:  $a = dV/dt$ . Así mismo la segunda ley de Newton indica que en un cuerpo con masa constante, la aceleración del cuerpo es proporcional a la fuerza que actúa sobre él mismo:  $a = F/m$ .

### 2.3.4. Batimetría:

Es una ciencia para estudiar las profundidades marinas, lagunas o incluso cursos de agua. Permite determinar la topografía submarina de un estanque con una precisión muy alta. Se utiliza para llevar a cabo levantamientos destinados a asegurar la navegación en superficie o submarina, mediciones de existencia debajo del agua o del nivel de sedimentación, estudios de lecho de río, pero también en el mundo de la cantera. Por lo tanto, la batimetría puede usarse para muchas aplicaciones. También es muy útil para explorar los fondos marinos y establecer misiones de reconocimiento.

Figura 12. Ejemplo de mapeo.

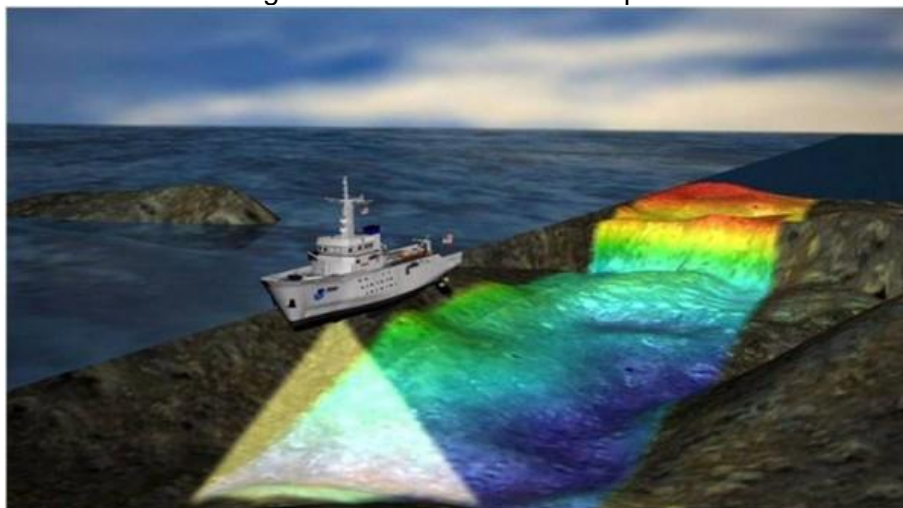


Fuente: <http://www.heliceo.com/es/industrias/batimetria/>

La tecnología de la batimetría funciona con un ecosonda también llamado SONAR (Sound, Navigation & Ranging). Es una herramienta de medición de distancia que puede medir el tiempo de viaje de una señal acústica reflejada por el fondo o por cualquier elemento suspendido (peces, rocas, algas marinas, etc.). Este dispositivo está compuesto en dos partes:

- ✓ En primer lugar, está el transductor o la sonda que se encuentra debajo de la superficie. Es un dispositivo que convierte señales eléctricas en ondas de sonido y viceversa. Por lo tanto, puede cambiar del modo de receptor al modo de transmisor en cualquier momento.
- ✓ La segunda parte, es llamada sonda o ecosonda que recibe los impulsos eléctricos del transductor y los transmite en imágenes al operador.

Figura 13. Toma de datos mapeo.



**Fuente:**

<http://www.comunidadism.es/blogs/%C2%BFque-es-una-batimetria-y-cuales-son-sus-aplicaciones>

El transductor emitirá ultrasonido para tocar el fondo. Una vez que la onda alcanza un obstáculo, rebota de vuelta a la sonda y se convierte en una señal eléctrica. La información se envía a la sonda que puede calcular la distancia del obstáculo entre la velocidad de la onda y el tiempo que tardó en llegar al fondo. Por lo tanto, el transductor es una de las piezas centrales del dispositivo. Hay varios tipos que difieren en varios criterios, como el ángulo o la frecuencia, pero también en la composición o la potencia.

## 2.3.5. Sensores

### 2.3.5.1 Acelerómetro

Es un dispositivo que mide la aceleración en dos ejes. Este arroja una señal de salida (DC) proporcional a la aceleración que experimenta en cada eje, aparte de tener esta salida análoga tiene una digital, la cual varía el ciclo útil dependiendo de la entrada. Los acelerómetros son capaces de medir aceleración tanto negativa como positiva. Puede medir aceleración estática como es la gravedad o aceleración dinámica. Su funcionamiento consiste en un condensador diferencial de placas cada una independiente entre sí y una placa central con una masa capaz de moverse proporcional a la aceleración. Cuando se experimenta una aceleración se produce una deflexión resultando así una señal cuadrada con un ciclo útil proporcional a esta deflexión.

### 2.3.5.2 Sensor de presión

Utiliza galgas de torsión para medir la presión. Normalmente miden la presión relativa a la presión atmosférica, pero en algunas ocasiones es necesario conocer la presión relativa entre dos puntos, a estos sensores se les conoce como sensores de presión diferencial.

Dentro del sensor existen dos diafragmas separados por una galga en el centro, se conoce como el diafragma sensor, y su función es impedir el paso de fluido interno de un lado hacia otro. Uno de los diafragmas se encuentra sujeto a una presión constante o de referencia la cual puede ser la presión atmosférica.

También, en los sensores diferenciales, se pueden aplicar dos presiones y la posición del diafragma sensor será una función de la presión diferencial.

Figura 14. Sensor de presión



**Fuente:**

<https://www.hbm.com/es/7646/que-es-un-sensor-de-presion/>

**Sensor de temperatura:** sensor-de-temperatura-ds18b20-en-sonda. Ideal para medir la temperatura en ambientes húmedos e incluso dentro del agua. Esto es debido a que viene en forma de sonda impermeable. Puede medir temperaturas entre  $-55^{\circ}\text{C}$  y  $125^{\circ}\text{C}$ . Es un rango muy amplio, sin embargo, no en todo el rango tenemos el mismo error. Para temperaturas entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $85^{\circ}\text{C}$  podemos tener  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Para el resto de temperaturas entre  $-55^{\circ}\text{C}$  y  $125^{\circ}\text{C}$  el error es de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Posee distintas resoluciones, las cuales varía de 9-bit, 10-bit, 11-bit, 12-bit, utilizando por defecto 12-bit. Se comunica por medio del protocolo 1-Wire.

Figura 15: sensor de temperatura tipo sonda.



**Fuente:**

<https://chips.mecatronicum.com/product/sensor-de-temperatura-ds18b20-digital-tipo-sonda-sumergible-1m/>



**Sensor de flujo:** Se compone internamente de un rotor cuyas paletas tiene un imán, la cámara en donde se encuentra el rotor es totalmente aislado evitando fugas de agua, externamente a la cámara tiene un sensor de efecto hall que detecta el campo magnético del imán de las paletas y con esto el movimiento del rotor, el sensor de efecto hall envía los pulsos por uno de los cables del sensor, los pulsos deberán ser convertidos posteriormente a flujo pero esto ya es tarea del Arduino o controlador que se desee usar.

Figura 15. Sensor yf-s201



**Fuente:**

<https://naylampmechatronics.com/sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html>

## 2.4. MARCO AMBIENTAL

Con el fin de estimular la investigación científica que se adelanta actualmente sobre los ambientes acuáticos y sus derivaciones, por parte de entidades o personas naturales colombianas, estas podrán continuar tales investigaciones con el solo registro ante la entidad administradora del recurso, el cual en el marco legal de la constitución colombiana se rige por DECRETO 1608 (DE JULIO 31 DE 1978).

Para adelantar investigaciones en el territorio nacional, se requiere permiso de estudio previo que será otorgado conforme a este decreto y a las normas que se dicten en su desarrollo (art 35). Por ende, el proyecto se rige por el control antepuesto del Ministerio de Ambiente, para demostrar que no afecta en gran parte al ambiente sobre el cual se aplicara. Se toma en cuenta que los recursos ambientales, no sufrirán grandes cambios, debido a que no se induce ningún tipo de sustancia o aparato eléctrico que ponga en riesgo la fauna alrededor. Sin embargo, se observa que hay un cambio en las corrientes debido a la turbulencia que genera las hélices en el agua, proporcionando a la fauna cercana un cambio de orientación.

### 3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

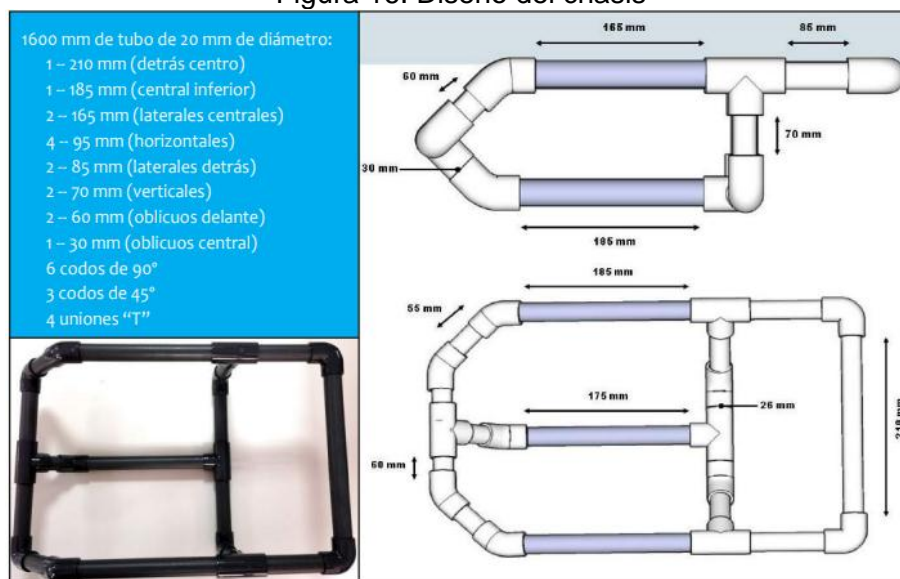
#### 3.1 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Para el desarrollo de este proyecto como primer paso se orienta hacia el diseño estructural, con el fin de poder establecer puntos de equilibrio con base en el peso, así como la realización de pruebas de flotabilidad y sumersión; establecer las medidas que mejor se adopten para las fuentes hídricas del municipio, así como la impermebealización adecuada que permita el almacenamiento de la estructura electrónica.

##### 3.1.1. CHASIS

Se realiza un análisis detallado de los diferentes tipos de estructuras de submarinos encontrándose este taller que está inspirado en el MIT Sea Perch Program (<http://seaperch.mit.edu/index.php>). Un ROV (Remote Operated Vehicle) es un vehículo submarino no tripulado controlado a través de una consola de mando unida al vehículo por un cordón umbilical. Estos ROVs deben ir equipados con motores para su propulsión y pueden ser además equipados con sensores, brazos mecánicos o cámaras submarinas. Este taller contiene las instrucciones paso a paso para la construcción de un ROV a partir de materiales sencillos como la madera, plásticos, PVC y elementos electrónicos en un tiempo medio de unas 15 a 20 horas de dedicación.

Figura 16. Diseño del chasis



Fuente: <http://divulgacion.plocan.eu/>

Según el análisis se opta por una estructura ligera, pero al mismo tiempo robusta, que soporte todos los elementos que forman parte del ROV. Por tal motivo se eligió el modelo estándar, el cual permite que el vehículo cuente con una maniobrabilidad adecuada y con

una estructura realizada en tubo de PVC permitiendo que el vehículo no sufra deformaciones.

Figura 17. Estructura final

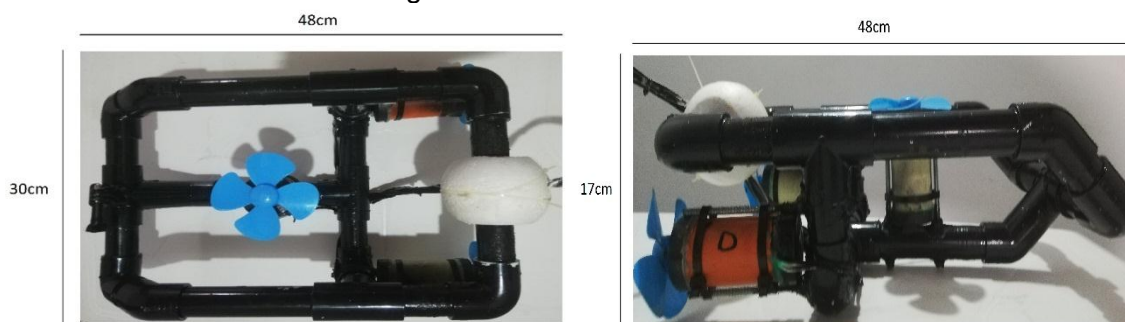


Fuente: Autores

Se determina que el material de la estructura fuese de pvc ya que es un material ligero, resistente, liviano y nos permite trabajar sobre él con la seguridad que no se va desarmar.

En las siguientes figuras se muestra la estructura ensamblada, así como sus medidas:

Figura 18. Medidas estructurales



Fuente: Autores

Ya al tener la estructura formada, iniciamos a adaptar los motores y el lugar donde debe ir cada uno para que cumpla a cabalidad su funcionamiento, y a la vez probar su flotabilidad en el agua.

### 3.1.2. IMPERMEABILIZACIÓN

Una vez construida la estructura final de vehículo con las medidas de 48cm de largo, 30 de ancho y 17cm de alto como se muestra en la anterior figura, se procede a realizar la impermeabilización de los motores, primero se envuelven los tres motores con cinta aislante, debido a que él cuenta con unos agujeros para la refrigeración del motor sin embargo es importante no envolver el rotor. Se toma un tubo de 1 $\frac{1}{2}$  a la medida del motor y se llena con silicona caliente sin añadir al rotor trasero y delantero para así garantizar el giro del motor como se observa en la siguiente figura. Por último, se añade vaselina en forma de cono en el rotor delantero para realizar el sellado de la parte trasera del tubo con una tapa 1 $\frac{1}{2}$ , se realiza el mismo procedimiento para la delantera teniendo en cuenta el agujero donde va a encajar el eje.

Figura 19. Impermeabilización



Fuente: Autores

Decidimos impermeabilizar los motores con tubo pvc ajustandolos con silicona y en el eje del motor aplicando vaselina de forma que impida el paso de agua hacia adentro y asi nos quemé el motor. De esta manera nos funciono correctamente sin ningun problema.

### 3.1.3. UBICACIÓN DE ACTUADORES

Para instalar de los motores en el vehículo primero se realiza la marcación donde se ubica cada motor en el cual; el motor vertical se coloca en el centro de gravedad de la estructura y orientan los movimientos en el eje Y. Los motores de movimiento horizontal se colocan en las barras laterales de la estructura, orientado hacia atrás para facilitar la propulsión. Para fijar los motores se realizan dos agujeros con una broca  $\frac{1}{4}$  separados a la distancia exacta del diámetro del motor ya encapsulado, para luego insertar un empaque y un tornillo de 8 a 9 cm y ajustándolo con una arandela y una tuerca al chasis, una vez estén bien sujetos los tornillos se procede a ajustar los motores con dos bridas en la parte superior e inferior del motor, se ajustan bien y luego se le aplica silicona para una mayor sujeción.

Figura 20. Montaje de los motores



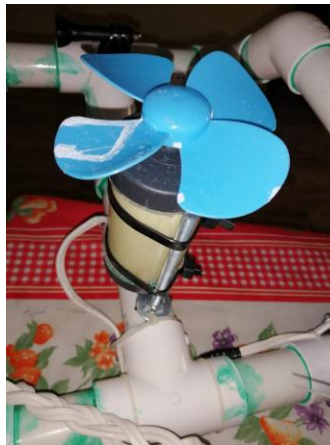
Fuente: Autores

Luego de ya tener la impermeabilización correcta y terminada, seguimos con el ensamble de los motores al chasis, de manera que le permitieran al rov un fácil desplazamiento y también lograra sumergirse sin tener que hacer mucho esfuerzo.

### 3.1.4. TAMAÑO DE LAS HELICES Y DIÁMETROS

La selección de las hélices son un factor importante a la hora de construir el vehículo ya que estas permite tener en cuenta la velocidad de desplazamiento y fuerza de arrastre idónea para el submarino, por tal motivo se realiza la elección de una hélice de 10 cm de diámetro compuesta con 4 aspas que permita una mayor fuerza de arrastre y menor velocidad de crucero para así llevar a cabo la toma de datos del GPS.

Figura 21. Tamaño de las helices



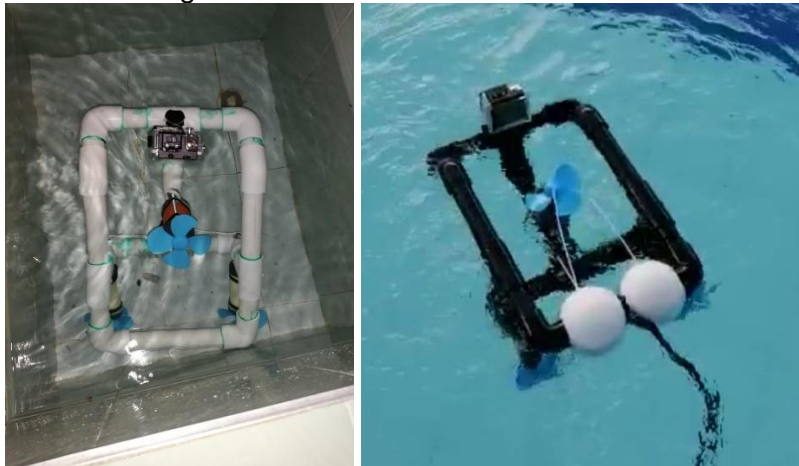
Fuente: Autores

Para decidir el tamaño de las hélices practicamos prueba y error, de esta manera nos dimos cuenta que al tener hélices muy grandes el motor no tenía la suficiente fuerza para moverlas y también tendían a partirse fácilmente, al cambiar por unas hélices muy pequeñas, no le brindaban al roV la suficiente capacidad de movilidad lo que se nos convertía en un problema.

### 3.1.5. FLOTABILIDAD

Un problema a solucionar dentro de la estructura tiene que ver con el punto de equilibrio al momento de flotar, como se muestra en la siguiente figura, en donde se evidencia que el centro de gravedad no fue proporcional. Se decide hacer una corrección con un elemento de flotabilidad para realizar el ajuste.

Figura 22. Corrección de la Flotabilidad



Fuente: Autores

Para lograr esto con el submarino se hace necesario instalar una bola de icopor en la parte de atrás del vehículo. Ya que tenía un contrapeso en la zona donde se instalan los motores horizontales. Al mantener una simetría y al distribuir los pesos se logra posicionar el centro de gravedad del submarino en la parte donde se encuentra ubicado el motor de inmersión de la estructura; de esta manera, el submarino mantiene estable.

### 3.1.6. ETAPA DE ACTUADORES Y CONTROLADORES

A continuación, se presentan las características técnicas de los controladores que se eligieron para el vehículo, así como los actuadores capaces de suministrar la corriente necesaria para su funcionamiento, del mismo modo se presentan los esquemas planteados para su buen funcionamiento.

### 3.1.6.1 ACTUADORES – MOTOR

Para la construcción del vehículo ROV se elige utilizar una combinación de 3 motores RS-775; esta combinación permitirá realizar desplazamientos en los ejes X, Y, Z. este motor puede generar 53,759 Ncm de empuje; tiene un consumo de 2.5 Ampere y trabaja con 12 Volt DC.

Figura 23. Motores



Fuente:

<https://www.robotshop.com/es/es/motor-rs-775-7000rpm-12v-7613oz-in.html>

Se realizan pruebas con una fuente de voltaje dual de 0 a 32 Vdc para establecer los consumos de corriente por cada motor sin carga y realizar el cálculo de autonomía de las baterías, en el que se obtiene un consumo de 1.04 A una vez normalizado el motor como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 24. Pruebas de velocidad por PWM



Fuente: Autores

Se logro ver la velocidad sin carga que presento el motor y su consumo para lograr tener unos calculos aproximados de cuanto nos duraria las fuentes de alimentacion y tambien como debiamos alimentar el rov de maneraa correcta para no llegar a saturar el sistema.

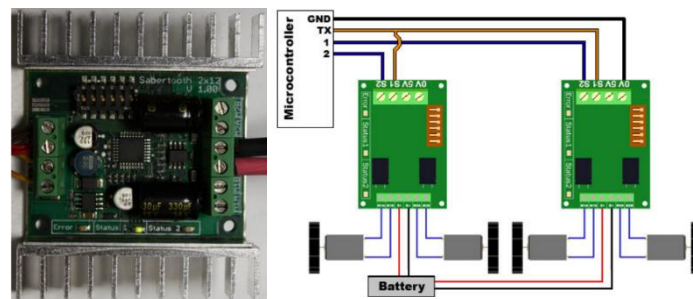
### 3.1.6.2 ETAPA DE CONTROL

A continuación, se presentan los controladores, con las características más importantes para su selección, así como algunos diagramas esquemáticos de su respectiva conexión.

### 3.1.6.3 CONFIGURACIÓN SABERTOOTH

Para satisfacer las necesidades de corriente del vehículo, se opta por un controlador Sabertooth 2x12, el cual puede suministrar hasta 12A continuos y 25A pico por canal. Maneja un voltaje de 12 a 24Vdc. Este controlador cuenta con unas características especiales ya que permite realizar variación de velocidad e inversión del giro gracias a que viene programado para trabajar en los ejes X-Y. La conexión del controlador es la que se muestra a continuación.

Figura 25. Esquema de conexión para el controlador



Fuente:

<https://www.dimensionengineering.com/datasheets/Sabertooth2x12.pdf>

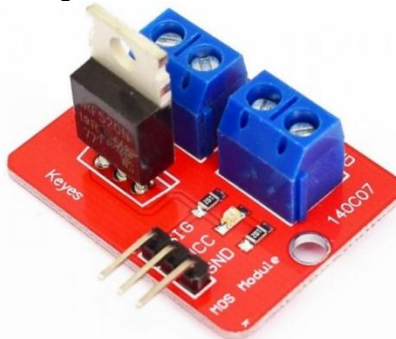
Se puede conectar directamente al receptor el cual ejecuta las acciones enviadas por el radio control. Ya que los picos de arranque de nuestros motores eran muy elevados, con el controlador sabertooth logramos alcanzar a estos picos y así lograr que los motores funcionen con normalidad sin ningún inconveniente.

### 3.1.6.4 CONFIGURACIÓN MOSFET

Por otra parte, se maneja un módulo IRF520 para el motor ubicado verticalmente que permite el uso de PWM para la variación de velocidad del motor, permitiendo el uso de hasta 5A de corriente, para así poder controlar la velocidad de inmersión del submarino para poderse mantener estable a dicha profundidad.



Figura 26. Modulo IRF520

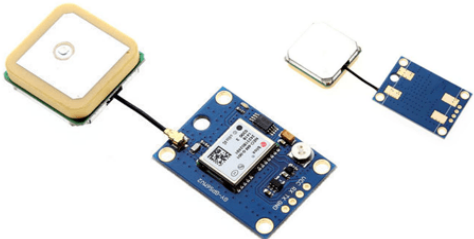


Fuente: <https://laelectronica.com.gt/modulo-controlador-mosfet-irf520>

Con el uso de este mosfet se logra tener un control en que tanto se decaea que avance el motor de inmersion y la velocidad con la cual va trabajar este motor. Logrando estabiizarlo en un punto bajo el agua si es necesario para toma de datos imágenes u otros.

### 3.2. ETAPA DE SENSADO

Los sensores son parte fundamental del submarino ya que estos permiten la obtención de datos en tiempo real de las diferentes características tanto del agua como del vehículo, por lo que se mide temperatura, velocidad y posicionamiento. Para la obtención se utilizaron los siguientes sensores como se muestran en la tabla a continuación:

SENSOR	CARACTERÍSTICAS
<p style="text-align: center;">Modulo GPS</p>  <p style="text-align: center;"><b>Fuente:</b> <a href="https://www.luisllamas.es/localizacion-gps-con-arduino-y-los-modulos-gps-neo-6/">https://www.luisllamas.es/localizacion-gps-con-arduino-y-los-modulos-gps-neo-6/</a></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Modulo GPS Ublox NEO-6M</li> <li>-Comunicación serial</li> <li>-Voltaje de alimentación: (3.5 – 5 )VDC</li> <li>-Antena cerámica activa incluida</li> <li>-LED indicador de señal</li> <li>-Tamaño de antena 22x22mm</li> <li>-Tamaño de módulo 23x30mm</li> <li>-Batería incluida</li> <li>-BAUDRATE: 9600</li> <li>-EEPROM para guardar configuración de parámetros</li> <li>-Sistema de coordenadas: WGS-84</li> <li>-Sensibilidad de captura -148dBm</li> <li>-Sensibilidad de rastreo: -161 dBm</li> <li>-Máxima altura medible: 18000</li> <li>-Máxima velocidad 515 m/s</li> <li>-Exactitud: 1micro segundo</li> <li>-Frecuencia receptora: L1 (1575.42 Mhz)</li> <li>-Código C/A 1.023 Mhz</li> <li>-Tiempo de inicio primera vez: 38s en promedio</li> <li>-Tiempo de inicio : 35s en promedio</li> </ul>

<p style="text-align: center;"><b>Sensor de temperatura</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Fuente:</b> <a href="https://www.bigtronica.com/centro/3174-large_default/sensor-de-temperatura-ds18b20-en-sonda.jpg">https://www.bigtronica.com/centro/3174-large_default/sensor-de-temperatura-ds18b20-en-sonda.jpg</a></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>CARACTERÍSTICA</th> <th>VALOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Voltaje de alimentación</td> <td>3V a 5,5V</td> </tr> <tr> <td>VDD</td> <td>voltaje de alimentación</td> </tr> <tr> <td>GND</td> <td>Tierra</td> </tr> <tr> <td>DQ</td> <td>Datos</td> </tr> <tr> <td>Rango de temperaturas</td> <td>-55°C a 125°C</td> </tr> <tr> <td>Error (-10°C a 85°C)</td> <td>±0,5°C</td> </tr> <tr> <td>Error (-55°C a 125°C)</td> <td>±2°C</td> </tr> <tr> <td>Resolución programable</td> <td>9-bit, 10-bit, 11-bit o 12-bit (default)</td> </tr> </tbody> </table>	CARACTERÍSTICA	VALOR	Voltaje de alimentación	3V a 5,5V	VDD	voltaje de alimentación	GND	Tierra	DQ	Datos	Rango de temperaturas	-55°C a 125°C	Error (-10°C a 85°C)	±0,5°C	Error (-55°C a 125°C)	±2°C	Resolución programable	9-bit, 10-bit, 11-bit o 12-bit (default)
CARACTERÍSTICA	VALOR																		
Voltaje de alimentación	3V a 5,5V																		
VDD	voltaje de alimentación																		
GND	Tierra																		
DQ	Datos																		
Rango de temperaturas	-55°C a 125°C																		
Error (-10°C a 85°C)	±0,5°C																		
Error (-55°C a 125°C)	±2°C																		
Resolución programable	9-bit, 10-bit, 11-bit o 12-bit (default)																		
<p style="text-align: center;"><b>Sensor flujo de agua</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>Fuente:</b> <a href="https://cdn.shopify.com/s/files/1/0409/9041/products/yf_1024x1024.png?v=1571439083">https://cdn.shopify.com/s/files/1/0409/9041/products/yf_1024x1024.png?v=1571439083</a></p>	<p>Modelo: YF-S201</p> <p>Voltaje de funcionamiento: 5V~18V Corriente de operación: 15mA (5V)</p> <p>Frecuencia de caudal <math>f=7.5^{\circ}Q</math> Pulsos por litro: 450</p> <p>Paso de caudal: 1L/min ~ 30L/min Presión del líquido: 1.75Mpa</p> <p>Conector</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Amarillo: Señal de Pulso (salida)</li> <li>· Rojo: +Vcc</li> <li>· Negro: Gnd</li> </ul> <p>Humedad de almacenamiento: 25%RH~95%RH</p> <p>Temperatura de operación: -25°C~80°C</p>																		

Estos sensores se ubican de manera estratégica dentro del vehículo para obtener una medición más precisa. En la siguiente figura se muestra el lugar y la posición en la que se adecuan los sensores, instalando el sensor de flujo en la parte delantera del vehículo, la sonda de temperatura se sujetó a un costado izquierdo de la estructura y el GPS se instala en la tapa de caja de icopor debido a que este pierde comunicación bajo el agua.

Figura 27. Ubicación de los sensores



Fuente: Autores

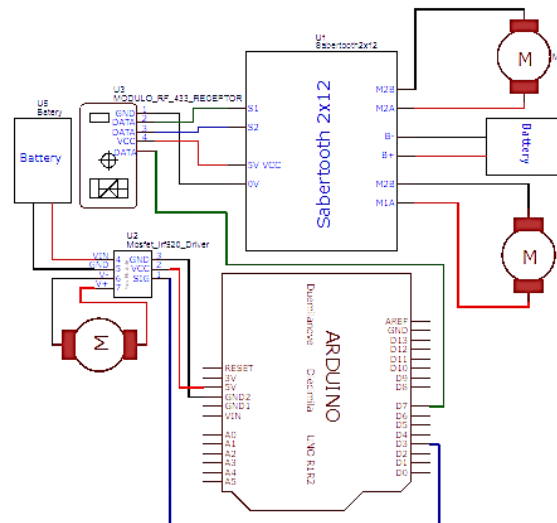
En la ubicación de cada uno de los sensores teníamos que tener muy en cuenta su función y los elementos que quedan cotinuos a cada uno de estos sensores ya que al

tener algún elemento que les estorbara en el caso del sensor de flujo, o algún tipo de calor en el caso del sensor de temperatura, podría alterar fácilmente la correcta toma de datos del dispositivo.

### 3.3. ENSAMBLE DEL HARDWARE

Luego de realizar pruebas independientes de los dispositivos y sensores se procede a realizar el ensamblaje de todo el sistema de control y comunicación, para así garantizar que el desplazamiento y obtención de datos sea adecuado en el ROV. Para ello se realizan las siguientes conexiones como se muestra en el diseño esquemático del circuito integrado de control y potencia que tiene el vehículo ROV. Por otra parte, se muestra también la integración realizada con el nodemcu para la recolección en tiempo real.

Figura 28. Esquemático de control y potencia

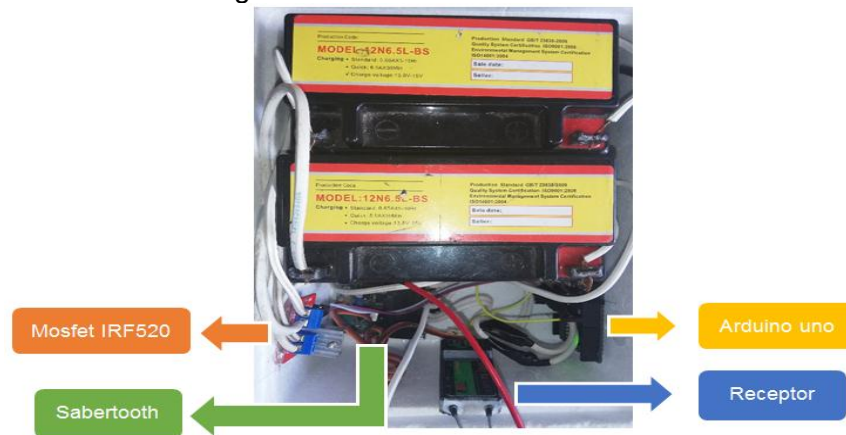


Fuente: <https://easyeda.com/pediaz.2199/esquematico>

Se realiza el diagrama esquemático de control y potencia de la figura, utilizando el programa online EasyEDA el cual es un conjunto de herramientas EDA basado en la web que permite a los ingenieros de hardware diseñar, simular, compartir públicamente y privado, además de discutir esquemas, simulaciones y placas de circuito impreso.

Se puede evidenciar la conexión de los dos motores horizontales y la batería al sabertooth y del controlador al receptor del radio control, es importante aclarar que el controlador ya viene previamente programado, el motor vertical se conectó a la salida del mosfet donde también se encuentra conectada la segunda batería. Al módulo llega la señal que recibió el Arduino del receptor. En la siguiente figura se muestra la conexión de control y potencia para el vehículo.

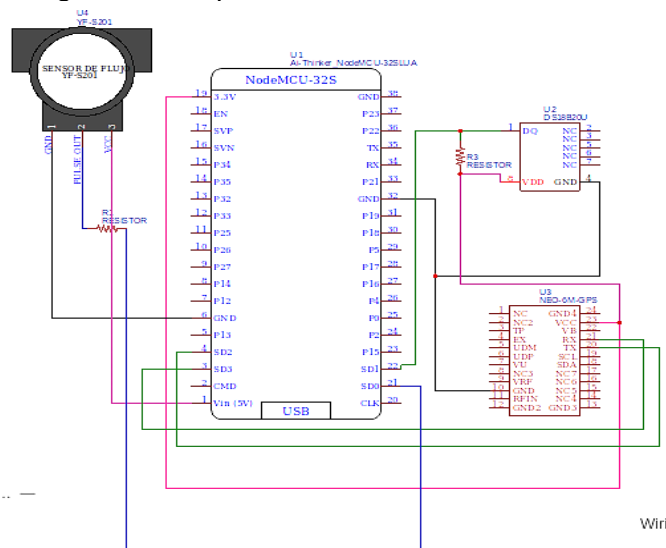
Figura 29. Ensamble del hardware



Fuente: Autores

La conexión de la etapa de comunicación del ROV, ha sido ensamblada por medio del módulo ESP8266 el cual se conectan tanto el GPS, como la sonda de temperatura y el sensor de flujo. El modulo GPS cuenta con cuatro pines, los cuales dos son de alimentación y los otros de comunicación, contando con un Tx y Rx, estos pines se conectan al pin Rx del nodemcu con el pin Tx del GPS, y el Tx del nodemcu con el Rx del GPS. En la conexión de la sonda de temperatura es necesaria colocar una resistencia entre la parte de datos con la de alimentación debido a que así lo recomienda el fabricante, al mismo tiempo para estabilizar la señal de la sonda. En el sensor de flujo, se propone colocar una resistencia en la salida de datos para regular tanto la cantidad de tensión que se envía al nodemcu y proteger la placa.

Figura 30. Esquemático de obtención de datos



Fuente: <https://easyeda.com/josemanuelahi/SensorSubmarino>

En la anterior imagen se puede ver el circuito de conexiones para el sensor de flujo, para su correcta utilización y de esta manera una apropiada toma de datos más exactos.

### 3.3.1. Sistema de comunicación por RF

Para garantizar el movimiento del vehículo a través de señales RF se usa un sistema de radio control de 2.4 GHz. Para controlar el movimiento del submarino, el programa relaciona las señales emitidas por el radio control y las envía al controlador sabertooth el cual ya viene previamente programado, a cada movimiento del joystick según la dirección y eje corresponde una señal enviada al controlador de cada motor permitiendo obtener un movimiento determinado. Para el control se utilizaron solo dos joysticks uno para el movimiento en todos los ejes y el otro para realizar la inmersión.

Para entender un poco mejor como se controla el vehículo se explicará la función de los dos joysticks que se encontraron en el radio control como aparece en la siguiente figura.

Figura 31. Control RF



Fuente: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-495626061-control-remoto-drone-avion-flysky-i6-receptor-6-ch-24-ghz-JM?matt\\_tool=82425019&matt\\_word&qclid=EA1aIQobChMltv3jiOPn5wIVBqSzCh1AKwPBEAQYBCABEgITEPD\\_BwE&quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-495626061-control-remoto-drone-avion-flysky-i6-receptor-6-ch-24-ghz-JM?matt_tool=82425019&matt_word&qclid=EA1aIQobChMltv3jiOPn5wIVBqSzCh1AKwPBEAQYBCABEgITEPD_BwE&quantity=1)

El joystick que se encuentra a mano derecha permite ir hacia adelante y atrás también así para la derecha e izquierda. También se puede visualizar en la pantalla que trae este control donde se puede encontrar el canal que se está utilizando además de la variación de cada elemento dentro del mismo. Por último, el joystick de la izquierda es el que permite la variación de velocidad del motor vertical el cual permite una inmersión proporcional.

### 3.4. ETAPA DE ADQUISICION DE AUDIO Y VIDEO

La adquisición de video y sonido se realiza por medio de una cámara wifi ultra HD la cual permite realizar grabaciones en tiempo real por medio de un dispositivo móvil, así como también permite tomar fotografías durante la grabación, lo que es una ventaja para poder visualizar el entorno marino, también cuenta con una memoria SD de 8GB que permite realizar grabaciones cuando se pierde la comunicación con el dispositivo móvil. La resolución del wifi es de aproximadamente 1m de profundidad, garantizando que el controlador del vehículo pueda mantener estable el vehículo durante la inmersión.

Figura 32. Imágenes captadas por la cámara de video



Fuente: Autores

Ya obtenido el sistema de toma de imágenes pasamos a probarlo obteniendo un resultado muy optimo pues la cámara wifi ultra hd nos funcionó correctamente tomando imágenes y videos con buena calidad y permitiéndonos controlarla directamente desde el teléfono.

#### 3.4.1. SUMINISTRO DE ENERGIA

Con el fin de dar la potencia necesaria para todo el sistema eléctrico y electrónico se instalan 2 baterías recargables de 12 V con 7,5 Ah. Una de las baterías se conecta al sabertooth el cual alimentara los dos motores laterales, la otra se conecta al módulo mosfet IRF520 que está conectado al motor vertical. Esta configuración permite alimentar de forma continua al controlador y motores por 30 minutos. Las baterías tienen un interruptor que permite el encendido y apagado del sistema. Para la transmisión de potencia al submarino se instaló cable dúplex que pueda soportar una corriente aproximada de 15 Ampere.

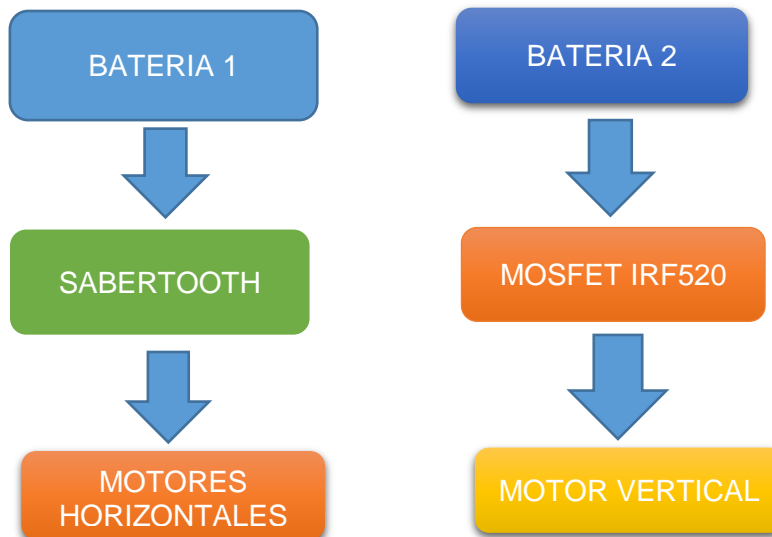
Figura 33. Motores vertical y horizontales



Fuente: Autores

Ya teniendo la listo la conexión y la adaptación al chasis del roV, se procede a pintarlo y dejarlo ya todo ensamblado para proceder a las pruebas y de mejoras ya con el sistema de sensores instalado.

Figura 34. Diagrama del suministro de energía



Fuente: Autores

Al momento de energizar nuestro circuito decidimos partir en dos partes, de manera que la alimentación de cada elemento fuera la adecuada y nos diera la mayor eficiencia posible, tomando medidas de el consumo de cada elemento se decide dividir y así evitar cualquier tipo de complicaciones de este tipo.

### 3.4.2. IMPERMABILIZACIÓN DEL HARDWARE

Se realiza la impermeabilización del hardware en una caja de icopor debido a que por el peso de las baterías no se adaptó a la estructura. En esta caja se colocaron las dos baterías, el controlador, el mosfet IRF520, el receptor del radio control, el nodemuc y el GPS. Una vez instalado todo en la caja y de realizar la impermeabilización se procedió a realizar las pruebas en la piscina con el robot donde se obtuvieron resultados satisfactorios cumpliendo con una buena estabilidad, desplazamiento y flotabilidad; además de que no causo interferencias con el GPS. Por otra parte, se realizó la instalación de los sensores en partes estratégicas del robot para garantizar una buena medición, ubicando la sonda de temperatura a uno de los costados de la estructura, en la parte delantera se instaló un sensor de flujo para captar la velocidad con la que se desplaza el vehículo.

Figura 35.impermabilización del hardware



Fuente: Autores

Se busca la manera mas adecuada de poder impermeabilizar nuestras fuentes y tambien la electronica de manera que fuera practica para moverla y abrirla si fuese necesario hacer algun arreglo buscando tambien una forma segura para que no se llegara a quemar ningun elemento. Es asi como decidimos introducir todo dentro de una caja de icopor logrando asi trabajar sin ningun inconveniente.



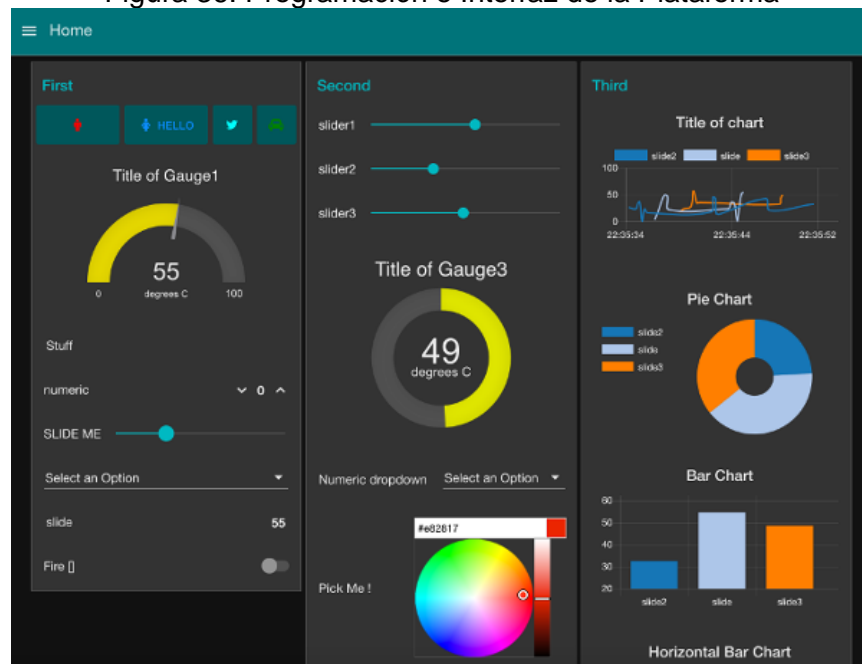
## 4. RESULTADOS

A continuación, se presentan todas las pruebas ejecutadas con respecto al control del submarino, monitoreo de variables y comportamiento del mismo, bajo diversas condiciones de funcionamiento.

### 4.1. PROGRAMACIÓN E INTERFAZ DE LA PLATAFORMA

Se realiza una plataforma donde se obtengan en tiempo real todos los datos ilustrados en gráficos donde se pueda realizar un análisis rápido de las características del medio además poder guardar estos datos para después analizarlos más detalladamente con software más apropiado, a continuación, se procederá a explicar cada uno de los sketch de Arduino y node red para comprender un poco mejor como realizar montaje de la plataforma y lectura de los sensores instalados en el submarino.

Figura 36. Programación e Interfaz de la Plataforma

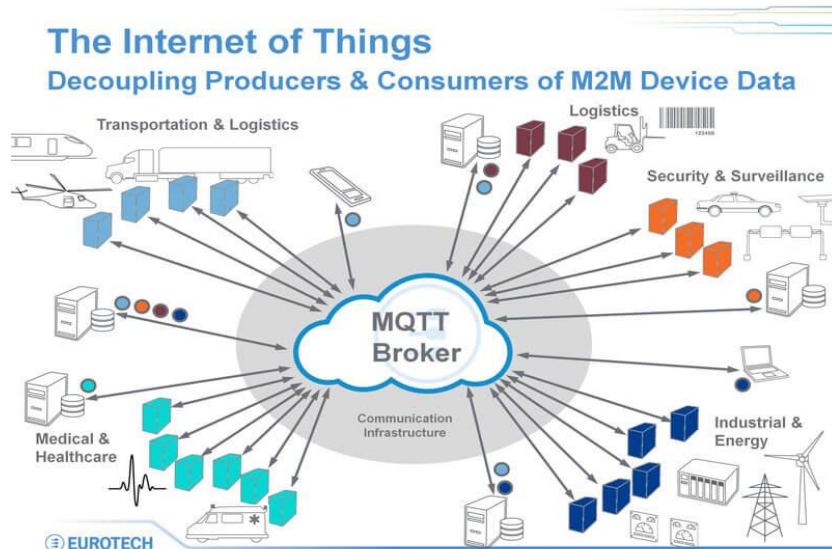


Fuente: <https://www.pinterest.com/pin/847591592347474384/>

El módulo wifi ES8266 se programa de manera sencilla por medio de la IDE de Arduino. Por ello, se utiliza esta herramienta para interconectar tanto el módulo con el protocolo. Una de las características principales del protocolo es su bajo consumo de banda, permitiendo así mayor fluidez de datos, teniendo en cuenta que si se procede a dar mayor seguridad este consumirá mayor ancho.

MQTT es llamado un protocolo ligero porque todos sus mensajes tienen una pequeña huella de código. Cada mensaje consta de una cabecera fija, una cabecera variable opcional, una carga útil de mensaje limitada a 256 MB de información y un nivel de calidad de servicio (QoS).

Figura 37. Protocolo MQTT



Fuente: <https://cdn.thenewstack.io/media/2016/04/M2M.jpg>

Una vez que se tiene el broken MQTT, se procede a la comunicación de datos a partir del modulo, comunicando los mensajes a los clientes ya conectados al broken. Por medio de IDE se escoje la placa a desarrollar (NodeMCU 1.0) y el puerto.

Figura 38. librerías de arduino

```

mqttnodemcu
Basic ESP8266 MQTT example
This sketch demonstrates the capabilities of the pubsub library in combination
with the ESP8266 board/library.
It connects to an MQTT server then:
- publishes "hello world" to the topic "outTopic" every two seconds
- subscribes to the topic "inTopic", printing out any messages
  it receives. NB - it assumes the received payloads are strings not binary
- If the first character of the topic "inTopic" is an '1', switch ON the ESP Led,
  else switch it off!
It will reconnect to the server if the connection is lost using a blocking
reconnect function. See the 'mqtt_reconnect_nonblocking' example for how to
achieve the same result without blocking the main loop.
To install the ESP8266 board, (using Arduino 1.6.4+):
- Add the following 3rd party board manager under "File -> Preferences -> Additional Boards Manager URLs":
  http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json
- Open the "Tools -> Board -> Board Manager" and click install for the ESP8266*
- Select your ESP8266 in "Tools -> Board"
*/

#include <SoftwareSerial.h> //incluimos SoftwareSerial
#include <TinyGPS++> //
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

Compilado
El sketch usa 287420 bytes (27%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 1044464 bytes.
Las variables Globales usan 28440 bytes (24%) de la memoria dinámica, dejando 23400 bytes para las variables locales. El máximo es 81920 bytes.
NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module), 80 MHz, Flash, Disabled, All SSL cipheres (most compatible), 4M (no SPIFFS), v2 Lower Memory, Disabled, TLS, MEM-HTTP, CLIENT, Only Sketch, 115200 en /dev/tty/USB0
    
```

Fuente: Autores

La imagen anterior corresponde al IDE de Arduino con el sketch ya elaborado de la configuración del módulo, el cual se explica a continuación.

```
#include <SoftwareSerial.h> //incluimos SoftwareSerial
#include <TinyGPS++.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
```

Al empezar se incluyen las librerías las cuales dependen tanto de los sensores como de las funciones a utilizar.

La librería <SoftwareSerial.h> permite tener el puerto habilitado del módulo ESP8266 desde sus pines digitales, aunque este módulo tenga pines definidos como TX y RX, estos no se utilizaron debido a la falta de documentación para su funcionamiento y se optó por configurar pines digitales como comunicación.

TinyGPS++.h es una librería desarrollada por Mikal Hart, la cual da soporte a los módulos GPS Neo-6 entre muchos otros, sin embargo esta biblioteca tiene bastantes versiones. La principal ventaja de <TinyGPS++.h> frente a las otras es poder desglosar por medio de llamados los diversos datos que se obtienen del sensor, ya sea solamente la altura o la longitud, latitud, hora y fecha entre muchas otras.

Al trabajar con módulos ESP8266 es fundamental contar con la librería <ESP8266WiFi.h>, debido a que está diseñada fundamentalmente para convertir el código C++ en lenguaje Lua, comprensible para el ESP8266, teniendo en cuenta que también permite configurar el modulo en sus distintas funciones ya sea como estación o como cliente, y conectarse a una red ya sea por cifrado TLS o por conexión simple.

Figura 39. Código arduino

```
mqqtndemcu.ino  ReadMe.adoc
// Update these with values suitable for your network.

const char* ssid = "lenovo";
const char* password = "12345678";
const char* mqtt_server = "192.168.43.252";

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);

//Configuracion de pines de gps
static const int RXPin = D2, TXPin = D3; // Pines para la conexión con el modulo GPS
static const uint32_t GPSBaud = 9600; // Tasa de Baudios para conectarse con el gps (9600)

double lati = 0;
double longi = 0;

TinyGPSPlus gps; // Crea una instancia del objeto GPS
SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin); // La conexión serial con el GPS
```

Fuente: Autores

La librería <PubSubClient.H> es un complemento de <ESP8266WiFi.H> para la conexión al protocolo MQTT, del cual permite ya sea como cliente o como publicador o broken, compartir los diferentes datos que se envían.

La sonda DS18B20, es una sonda con protocolo 1-Wire el cual solo el Arduino no es capaz de comprender, por eso la biblioteca <OneWire.h> está diseñada para convertir el protocolo en legible para el IDE de Arduino, al mismo tiempo identificar a cada sonda conectada para diferenciarla.

Después de instaladas las librerías, se procede a la definición de las variables las cuales ayudan a simplificar el código. En primera instancia se definen la conexión a internet del módulo tal como la ssid (nombre de la red a conectar), y la contraseña de la misma. También se ejecuta la orden al módulo que actúe como cliente, el protocolo mqtt también se ejecuta en este paso, señalando la IP del servidor principal y ejecutando la orden para empezar el proceso con PubSubClient.

Los pines del módulo GPS también se definen, teniendo en cuenta ya sea los pines de Tx y Rx, a la vez de la velocidad con la cual se desea trabajar el módulo. Se inicia el protocolo de comunicación del GPS por medio de <TinyGPPlus gps;>.

Figura 40. Variables utilizadas

```

mqqtndemcu.ino  ReadMe.adoc
50
51 //Configuracion de temperatura pines de sonda
52 String temperatureString = "";
53 // GPIO where the DS18B20 is connected to
54 const int oneWireBus = D1;
55 // Setup a oneWire instance to communicate with any OneWire devices
56 OneWire oneWire(oneWireBus);
57 // Pass our oneWire reference to Dallas Temperature sensor
58 DallasTemperature sensors(&oneWire);
59 // Set GPIOs for: output variable, status LED, PIR Motion Sensor, and LDR
60 const int output = 15;
61 const int statusLed = 12;
62 const int motionSensor = 5;
63 const int ldr = A0;
64 // Store the current output state
65 String outputState = "off";
66
67
68
69 // Timers - Auxiliary variables
70 unsigned long now = millis();
71 unsigned long lastMeasure = 0;

```

Fuente: Autores

También se define los pines de conexión para la sonda, y sus variables que permiten de forma eficiente la adquisición de datos de manera exacta.

En el void setup\_wifi() se declara la configuración de inicio de la comunicación por medio de WiFi, enviando primero un mensaje de "conectando a: ", luego busca entre el área la red cuyo nombre ya previamente se ha estipulado y procede a conectarse, mostrando la IP con la cual fue dada. Si hay algún error en la conexión se informará en el puerto serial.

Figura 41. Interfaz wifi

```
void setup_wifi() {
    delay(10);
    // We start by connecting to a WiFi network
    Serial.println();
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(ssid);

    WiFi.begin(ssid, password);

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

    randomSeed(micros());

    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");
    Serial.println("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}
```

Fuente: Autores

En el void callback() se ejecuta el protocolo mqtt, empezando con la definición del topic como una variable tipo String, se lee el topic para demostrar el mensaje enviado. En este void, se define el módulo como emisor, y envía datos a un topic previamente ya creado en el servidor para algún cliente lo escuche.

Figura 42. Respuesta de datos.

```
void callback(String topic, byte* payload, unsigned int length) {
    Serial.print("Message arrived [");
    Serial.print(topic);
    Serial.print("] ");
    String messageTemp;
    for (int i = 0; i < length; i++) {
        Serial.print((char)payload[i]);
    }
    Serial.println();
    if(topic=="esp8266/output"){
        Serial.print("Changing output to ");
        if(messageTemp == "on"){
            digitalWrite(output, LOW);
            Serial.print("on");
        }
        else if(messageTemp == "off"){
            digitalWrite(output, HIGH);
            Serial.print("off");
        }
    }
}
```

Fuente: Autores

El void setup() es el cuerpo principal en el cual se inicia la lectura del GPS al mismo tiempo la iniciación del protocolo WiFi y MQTT. Los puertos estándar son el 1883 para la comunicación no cifrada y el 8883 para la comunicación cifrada mediante SSL/TLS. Durante el handshake SSL/TLS, el cliente valida el certificado del servidor para autenticar el servidor.

Figura 43. Conexión sensor

```
void setup() {
  // Start the DS18B20 sensor
  sensors.begin();
  ss.begin(GPSBaud);
  // Serial port for debugging purposes
  Serial.begin(115200);

  setup_wifi();
  client.setServer(mqtt_server, 1883);
  client.setCallback(callback);
}
```

Fuente: Autores

El void loop() se divide en dos partes. La primera consta de leer las variables del GPS, utilizando la propiedad de esta librería de tener separado la longitud, latitud y altura en variables diferentes.

Figura 44. Lectura GPS

```
void loop() {
  smartDelay(500);          // Energizamos el GPS
  lati = gps.location.lat(); // Variables donde guardamos la latitud
  longi = gps.location.lng();
  String latitud="";
  String longitud="";
  String alt="";
  latitud=String(gps.location.lat(),5);
  longitud=String(gps.location.lng(),5);
  alt=String(gps.altitude.meters(),7); // Variables donde guardamos la longitud
}
```

Fuente: Autores

La segunda parte define la conexión a MQTT, primero confirma si hay una conexión previa, una vez tenga una conexión estable procede a publicar al broker los diferentes datos adquiridos. Entre ellos la temperatura, la latitud, longitud y altura, demostrando en pantalla si se han enviado los valores a los topics correspondientes.

Figura 45. Lectura sensor de temperatura

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

// Timer variable with current time
now = millis();

// Publishes new temperature and LDR readings every 30 seconds
if (now - lastMeasure > 3000) {
  lastMeasure = now;
  sensors.requestTemperatures();
  // Temperature in Celsius degrees
  temperatureString = String(sensors.getTempCByIndex(0));
  // Uncomment the next line for temperature in Fahrenheit degrees
  // temperatureString = String(sensors.getTempFByIndex(0));
  // Publishes Temperature values
  client.publish("esp8266/temperature", temperatureString.c_str());
  Serial.println("Temperature published");
  client.publish("esp8266/latitud", latitud.c_str());
  client.publish("esp8266/longitud", longitud.c_str());
  Serial.println("Latitud y longitud publicada");
  client.publish("esp8266/altitud", alt.c_str());
  Serial.println("altura publicada");
  delay(3000);
}
```

Fuente: Autores

Al finalizar el código, el `Static Void()` permite tener encendido el módulo GPS, teniendo en cuenta que estos módulos poseen una batería recargable, almacenando temporalmente una cierta cantidad de datos para su respectiva ubicación.

Figura 46. Encendido GPS

```
static void smartDelay(unsigned long ms)           //Este código asegura que el gps siempre este energizado
{
  unsigned long start = millis();
  do
  {
    while (ss.available())
      gps.encode(ss.read());
  } while (millis() - start < ms);
}
```

Fuente: Autores

#### 4.1.1. ADQUISICIÓN DE DATOS

La obtención de datos a través de MQTT, se efectúa a través de un script. Teniendo en cuenta que previamente se ha instalado el protocolo en la máquina, para su funcionamiento como cliente.

```
#!/bin/bash
#Configuración del broker y topic a escuchar
#Cambiar por valores propios las siguientes variables:
broker="192.168.43.252"
port="1883"
topic="esp8266/latitude"
archivo="/home/timoteo/valores.dat"
#-----
#ponemos el cliente mosquitto
value1=(mosquitto_sub -t "esp8266/longitud" -h $broker -p $port)
value2=(mosquitto_sub -t "esp8266/latitude" -h $broker -p $port)
ts=$(date "+%Y-%m-%d %H:%M:%S")
#guardamos la fecha y hora actual en una variable
#Guardamos valores uno detrás de otro:
echo "$ts, $value1" >> $archivo
done
```

En el script se definen tanto la IP del servidor principal como el topic a escuchar. Luego se llama al cliente MQTT para empezar la obtención de datos y grabarlos en un archivo de texto, se tiene en cuenta que para dar la ruta de acceso para la creación de un archivo.

Figura 47. Configuración topic a escuchar

```
#!/bin/bash
#Configuracion del broken y topic a escuchar
#Cambiar por valores propios las siguientes variables:
broker="192.168.43.252"
port="1883"
topic="esp8266/longitud"
archivo="/home/timoteo/valores1.dat"
#-----
#ponemos el cliente mosquitto
mosquitto_sub -t "esp8266/longitud" -h $broker -p $port | while read value; do
ts=$(date +%Y-%m-%d %H:%M:%S)
#guardamos la fecha y hora actual en una variable
#Guardamos valores uno detras de otro:
echo "$value" >> $archivo
done

#!/bin/bash
#Configuracion del broken y topic a escuchar
#Cambiar por valores propios las siguientes variables:
broker="192.168.43.252"
port="1883"
topic="esp8266/latitud"
archivo="/home/timoteo/valores2.dat"
#-----
#ponemos el cliente mosquitto
mosquitto_sub -t $topic -h $broker -p $port | while read value1; do
ts=$(date +%Y-%m-%d %H:%M:%S)
#guardamos la fecha y hora actual en una variable
#Guardamos valores uno detras de otro:
echo "$value1" >> $archivo
done
```

Fuente: Autores

La configuracion topic se utiliza para la obtencion de los datos por medio de la zona wifi sabiendo diferenciarlos de los demas dispositivos y se utiliza de modo que es un codigo de texto simple, para disminuir la cantidad de almacenamiento del mismo, a la vez para separar y ordenar la cantidad de mensajes que llegan al servidor

Figura 48. Configuración broken y topic

```
#!/bin/bash
#Configuracion del broken y topic a escuchar
#Cambiar por valores propios las siguientes variables:
broker="192.168.43.252"
port="1883"
topic="esp8266/altitud"
archivo="/home/timoteo/valores3.dat"
#-----
#ponemos el cliente mosquitto
mosquitto_sub -t $topic -h $broker -p $port | while read value1; do
ts=$(date +%Y-%m-%d %H:%M:%S)
#guardamos la fecha y hora actual en una variable
#Guardamos valores uno detras de otro:
#echo "$ts, $value1" >> $archivo
echo "$value1" >> $archivo
done
```

Fuente: Autores



El broken es la dirección ip que se tiene el cliente a escuchar en la zona WiFi, con ella se identifica el mensaje de proveniencia y se procede a interpretarlo solamente de esa fuente. El puerto 1883 es para establecer la comunicación por este sin necesidad de recurrir a otro. Ya que este es especial para comunicación de máquina a máquina. El topic es la característica principal del mensaje, de este se sabe que datos se están leyendo o que significan en este caso se lee ya sea solamente la latitud o longitud pero solamente uno de estos. Y el archivo es el lugar donde se guardarán los datos y su tipología es decir, su extensión para su posterior lectura.

Figura 49. Adquisición de datos

```
*Untitled x valores3.dat x valores1.dat x valores2.dat x
|1213.6000000
1213.6000000
1214.9000000
1214.9000000
1214.9000000
1214.9000000
1215.0000000
1215.0000000
1214.9000000
1214.9000000
1215.0000000
1215.0000000
1215.0000000
1214.7000000
1214.7000000
1213.5000000
1213.5000000
1211.9000000
1211.9000000
1211.0000000
1211.0000000
1211.0000000
1211.0000000
1211.0000000
1211.0000000
1211.0000000
```

Fuente: Autores

En la adquisición de datos guardados en el documento txt, se confirmó que la velocidad de escritura es proporcional a la velocidad del procesador de la máquina o computador. Por ende la velocidad que se tenía con un Intel atom fue de 2bytes/s, permitiendo guardar solamente dos valores cada segundo.

Figura 50. Datos GPS

2019-11-13	23:02:12,	1166.9000000
2019-11-13	23:02:15,	1166.6000000
2019-11-13	23:02:18,	1166.0000000
2019-11-13	23:02:21,	1165.3000000
2019-11-13	23:02:24,	1165.4000000
2019-11-13	23:02:27,	1165.8000000
2019-11-13	23:02:37,	1167.6000000
2019-11-13	23:02:40,	1167.7000000
2019-11-13	23:02:43,	1167.8000000
2019-11-13	23:02:46,	1168.0000000
2019-11-13	23:02:49,	1167.6000000
2019-11-13	23:02:52,	1167.6000000
2019-11-13	23:02:55,	1167.6000000
2019-11-13	23:02:58,	1167.4000000
2019-11-13	23:09:44,	1169.5000000
2019-11-13	23:09:47,	1169.5000000
2019-11-13	23:09:50,	1169.5000000
2019-11-13	23:09:55,	1169.5000000
2019-11-13	23:09:57,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:00,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:04,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:06,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:09,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:12,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:15,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:18,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:21,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:25,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:28,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:31,	1169.5000000
2019-11-13	23:10:34,	1169.5000000

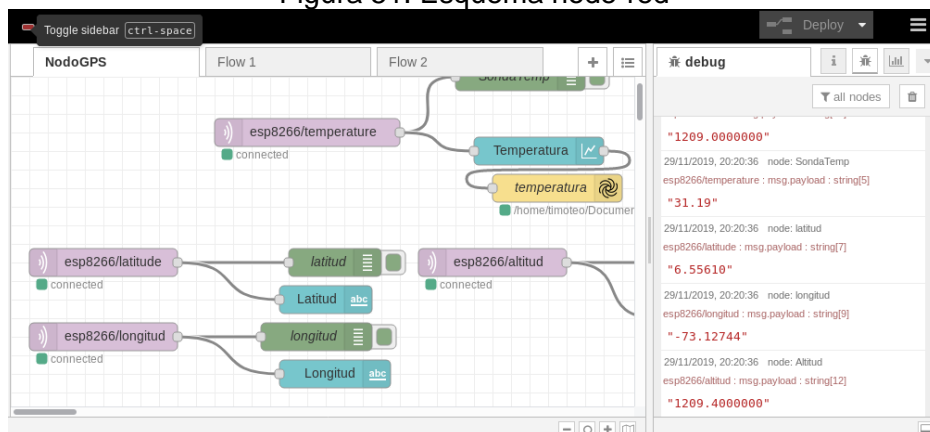
Fuente: Autores

Ya teniendo la toma de datos del sensor, podemos pasar a la realización del mapa batimetrico con las líneas de nivel montadas en autocat, así podemos ver facilmente las dimensiones del lugar en sus tres ejes: x,y,z.

### 3.2.2 Dashboard Node-Red

En el software de Node-Red se distinguen incontables herramientas, entre ellas el dashboard. Como módulo proporciona un conjunto de nodos en Node-RED para crear rápidamente un panel de datos en vivo. Estos nodos requieren node.js versión 8. La última versión para admitir el nodo v6 fue 2.9.5.

Figura 51. Esquema node-red

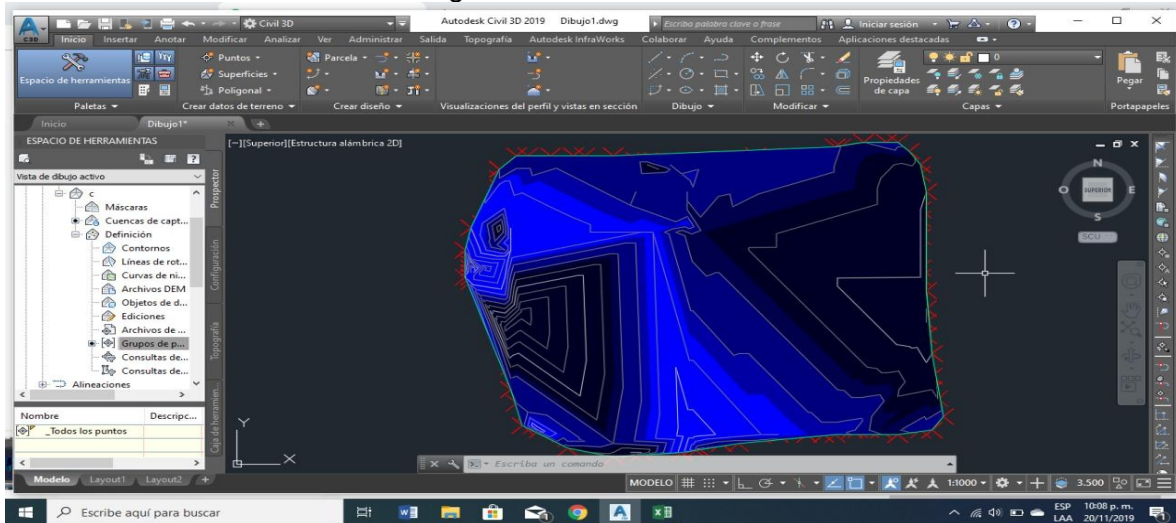


Fuente: Autores



elevación, una vez realizada la comparación de elevaciones se procede a sacar las curvas de nivel mostradas a continuación.

Figura 53. Curvas de nivel



Fuente: Autores

Además de visualizar las curvas de nivel y taludes se pueden ver las propiedades del modelado tales como coordenadas mínimas y máximas además de dar el área de la superficie en 2D y 3D que representan puntos a favor para obtener un análisis más detallado del afluente.

Figura 54. Propiedades del esquema

Propiedades de superficie - submarino	
Información   Definición   Análisis   Estadísticas	
<b>Estadísticas</b>	Valor
<b>General</b>	
Número de revisión	0
Número de puntos	440
Coordenada X mínima	802834.000m
Coordenada Y mínima	8072513.000m
Coordenada X máxima	804044.000m
Coordenada Y máxima	8074151.000m
Elevación mínima	2872.000m
Elevación máxima	2694.000m
Elevación media	2680.285m
<b>Extendida</b>	
Área de superficie 2D	1230495.50metros cuadrados
Área de superficie 3D	1235645.90metros cuadrados
Pendiente/talud mínimos	0.00%
Pendiente/talud máximos	728.87%
Pendiente/talud medios	5.86%
<b>TIN</b>	
Número de triángulos	821
Área de triángulo máxima	29046.50metros cuadrados
Área de triángulo mínima	8.00metros cuadrados
Longitud de triángulo mínima	3.606m
Longitud de triángulo máxima	595.623m

Fuente: Autores

La estructura que se realiza en tubo de PVC presento una muy buena estabilidad en el medio acuático además de ser una estructura pequeña y muy liviana, por otra parte al momento de realizar el montaje de los motores se evidencio una inclinación hacia atrás motivo por el cual se le incorporo una bola de icopor en la parte trasera del vehículo para balancear el peso sucediendo de igual manera al momento de instalar los cables de potencia del motor, lo que presento una carga para el vehículo y un posible inconveniente debido a que podría enredarse con las hélices del submarino por lo que se decide colocarle icopor en ciertas parte del cable.

Figura 55. Pruebas en piscina



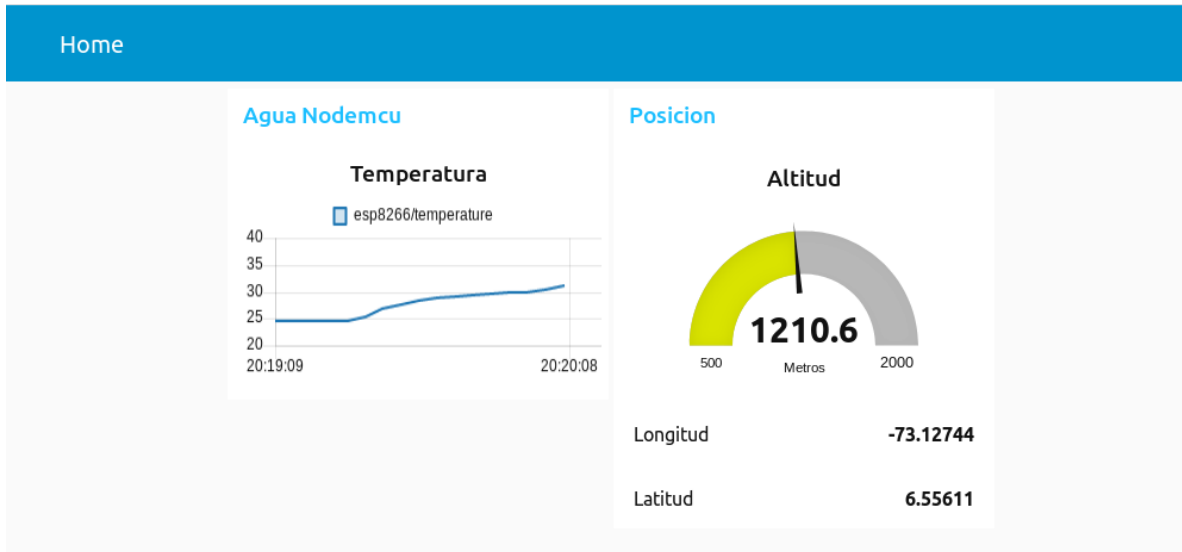
Fuente: Autores

Una vez se realiza la prueba de inmersión se observó que el vehículo presento una menor resistencia fluidodinámica, logrando así una profundidad de aproximadamente 2 metros de profundidad, debido a la mayor presión ejercida.

Los motores rs-775 representan un consumo significativo de corriente lo cual demando la utilización de una batería más y la adaptación del mosfet IRF520 para la variación de velocidad por PWM del motor de inmersión. Una vez conectada toda la parte electrónica y de potencia se procedió a realizar la prueba en el agua presentando un mayor consumo de corriente.

La velocidad de comunicación entre los sensores y el equipo de cómputo, fue significativamente rápida, debido a que el protocolo MQTT consume muy poco ancho de banda, sin embargo, las características del equipo se vieron influenciadas en el procesamiento de tiempo real, reduciendo su velocidad a casi 2 segundos por dato. Al mismo tiempo la plataforma de visualización presentaba las demoras de casi 3 segundos por dato o quedándose colgada por la poca capacidad del equipo.

Figura 56. Dashboard



Fuente: Autores

El módulo GPS en ambientes abiertos tiene una recepción casi instantánea, cerca de los 10 segundos se conecta a los satélites suficientes (5) para generar la triangulación de la posición del receptor, por el contrario, en ambientes cerrados la comunicación demora entre 20 min a 3h en su conexión presentando fallos en la alimentación de la batería recargable.

Durante la obtención de los datos tanto de latitud como longitud y altura se desarrolló un script, el cual se ejecuta desde la consola junto con el protocolo y Node-Red, ya que la ejecución de este tipo de programas permite la generación con mayor velocidad y en tiempo real con una base de datos, de la cual la diferencia de cada dato es de 3 a 4 s.

Al encender tanto el ROV como el sistema de comunicación de sensores se presentó la intermitencia entre la alimentación de los sensores y el módulo GPS, debido a que tanto la sonda con 1mA (datasheet) y el sensor de flujo con 15mA (datasheet) consumen alrededor de 16mA cerca de la capacidad de corriente que soporta el nodemcu. Sin embargo, el módulo de GPS consume cerca de los 45mA, el cual por medio del pin de 5V permite alimentar cerca de los 100mA, dejando al módulo WiFi con un promedio del 30% de la corriente y bajando su capacidad de respuesta para la conexión. Por ende, como la demanda de intensidad no es tan alta se opta por una fuente de mayor corriente como una lipo de 7.3V a 1400 mA para su alimentación.

El suministro de energía tiene un tiempo de duración de 30 minutos aproximadamente por otra parte se realiza una tabla comparativa del consumo de corriente de los motores horizontales con carga de agua y sin carga.

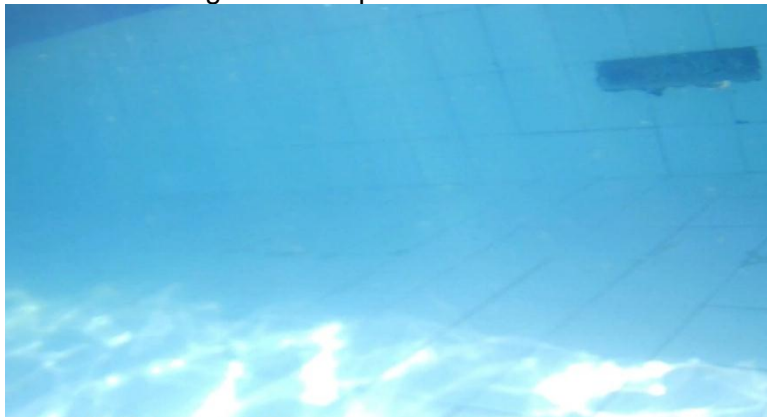
Tabla 1. Consumo aproximado

	%PWM	Consumo de corriente motores horizontales
<b>Sin carga</b>	30%	1.50A
	60%	2.58A
	100%	7.20A
<b>Con carga</b>	30%	1.87A
	60%	7.4A
	100%	7.98A

Fuente: Autores

La adquisición de video se realizó satisfactoriamente ya que se logró capturar imágenes de la prueba realizada en la piscina, donde se cuenta con una buena resolución de video y audio a su vez se realizó la observación por medio del aplicativo móvil y se observó que la señal wifi de la cámara al momento de llegar a los 80 cm de profundidad pierde comunicación con el dispositivo móvil por ello se le inserto una tarjeta SD a la cámara que permitió realizar y guardar la grabación en la misma.

Figura 57. Captura de la camara



Fuente: Autores

El tamaño de la camara, su peso y los diferentes accesorios que ya venian incluidos con ella nos permitio facilitar y ajilizar las pruebas ya que solamente era adaptarsela al chasis y conectarla al dispositivo movil e iniciar las pruebas bajo el agua, sin necesidad de impermeabilizar ni conectar alambriicamente.

## 5. CONCLUSIONES

- ✓ Para el procesamiento y almacenamiento de datos provenientes en una red cerrada, se tienen diversos tipos de métodos y protocolos para su obtención. MQTT demostró ser capaz de fluir en un ambiente con un mínimo de procesamiento y memoria, a la vez ser compatible con programas de software libre consumiendo muy pocos recursos, y manteniendo una respuesta aceptable.
- ✓ Los ROV son dispositivos muy eficientes en ambientes acuáticos, pero se debe tener en cuenta que estos se deben diseñar para lo que se va a explorar, ya que tanto el peso como la inercia bajo el agua influyen en la toma de decisiones y en los datos que toman los sensores. La maniobrabilidad bajo un ecosistema acuático se ve influenciada en la parte de potencia (baterías y motores) como en la parte de control. Si el ROV no cumple con las especificaciones correctas en un ecosistema previamente estipulado, no podrá cumplir su papel fundamental.
- ✓ Los motores rs-775 presentaron un consumo significativo de corriente lo cual demanda la utilización de una batería más y la adaptación del mosfet IRF520 para la variación de la velocidad por PWM del motor de inmersión. Una vez conectada presentó un mayor consumo de corriente quemándose el mosfet IRF520, lo cual se solucionó con un battle switch de 30A de corriente. Obteniendo así un control de profundidad mediante un relevo.
- ✓ La herramienta Node-Red demostró ser una plataforma que cumplía las expectativas de procesamiento de datos para el procesamiento de los sensores por medio del WIFI, a la vez, el dashboard es intuitivo y sencillo para demostrar datos en tiempo real, aunque se debe tener en cuenta que la velocidad de procesamiento por medio de MQTT es proporcional a la capacidad del computador sobre el cual se maneja. Es recomendable utilizar la plataforma en un dispositivo con buena memoria y procesador sobresaliente.
- ✓ Se debe tener mucho cuidado al momento de abrir los huecos para los ejes de los motores ya que si no queda bien centrado queda trabajando forzado y no funcionara bien, también al momento de impermeabilizar debe quedar muy bien sellado ya que si se filtra el agua podría arruinar el motor.
- ✓ Para la transmisión y toma de imágenes la cámara wifi tipo go-pro resulto efectiva ya que con su funcionamiento al estar conectada al celular logramos capturar 1 videos e imágenes cuando queramos. Y si el desplazamiento es lejano podemos dejarla grabando y almacenado en su base de datos pues su alcance vía wifi no supera los dos metros bajo el agua.



- ✓ Los motores, aunque funcionaron bien tienen un muy alto consumo y esto nos genera problema para la alimentación y también hace que se eleve la temperatura del sabertoolth es recomendable cambiarlos por otros con la misma fuerza, pero con menor consumo.
- ✓ El prototipo debe tener un correcto balanceo de peso y también de aire dentro del pues si presenta mucho aire dentro se convierte en una resistencia muy grande no permitiendo que se sumerja y la movilidad bajo el agua, también debe quedar sumergido al momento de iniciar su uso ya que de lo contrario no se sumergiría fácilmente

## 6. RECOMENDACIONES

Realizar algunas modificaciones en cuanto a la parte de potencia ya que la batería no permite una exploración de solo 30 minutos, aparte el controlador presenta una alta temperatura al momento de exceder el tiempo de exploración.

Se hace necesaria la adaptación de sensor de profundidad o si se desea obtener información más detallada del medio, instalar un sonar el cual permite levantar el mapa batimétrico un poco más exacto.

Realizar una modificación del mosfet IRF520 para poder realizar un mejor control de velocidad de inmersión, para cumplir con este objetivo se debe también realizar un cambio de motores por unos de mayor torque para que pueda realizar inmersiones mayores a dos metros.

Es recomendable utilizar la plataforma en un dispositivo con buena memoria y procesador debido a la cantidad de recursos para el procesamiento en tiempo real. La cantidad de datos procesados también dependen de una velocidad de internet aceptable, permitiendo obtener un resultado con menor margen de error. En el monitoreo de tiempo real se debe tener en cuenta la conexión entre los sensores, el microcontrolador y el servidor.

Se debe tener mucho cuidado al momento de abrir los huecos para los ejes de los motores ya que si no queda bien centrado trabajarán forzados y no funcionarán bien, también al momento de impermeabilizar, debe quedar muy bien sellado ya que si se filtra el agua se podría arruinar el motor.

Los motores, aunque funcionaron bien tienen un muy alto consumo y esto genera problema para la alimentación y también hace que se eleve la temperatura del sabertooth, por lo que es recomendable cambiarlos por otros con la misma fuerza, pero con menor consumo.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

s. alcaldía, (2017). información general. [online]. Aviable:<http://www.sangil.gov.co/sangil/informacion-general/>

F. M. Rodríguez Moreno & C. M. Cárdenas. (2014) “Prototipo de robot submarino con la capacidad de seguimiento de trayectorias mediante tratamiento de imágenes”. Universidad Pedagógica Nacional, Colombia.

HÉLICÉO. (2019). Batimetría: saber todo sobre cómo funciona | Hélicéo. [online]. Aviable:<http://www.heliceo.com/es/industrias/batimetria/>

Hernández, L. del Valle (2016). Programar fácil. NodeMCU tutorial paso a paso desde cero. [online]. Aviable:<https://programarfacil.com/podcast/nodemcu-tutorial-paso-a-paso/>

Hernández, L. del Valle (2015). Programarfacil. Introducción a JavaScript. [online]. Aviable:<https://programarfacil.com/blog/programacion/introduccion-al-javascript/>

Hernández, L. del Valle (2019). Programarfacil. Introducción a Node-RED y Raspberry Pi con un sistema de alarma con Arduino. [online]. Aviable:<https://programarfacil.com/blog/raspberry-pi/introduccion-node-red-raspberry-pi/>

J. A. Ramírez, L. B. Gutiérrez, R. E. Vásquez & D. A. Flórez. (2007). Diseño mecánico de un vehículo sumergido operado remotamente para inspección subacuática.

J. Ceja, R. Renteria, R. Ruelas & G. Ochoa. (2017). Módulo ESP8266 y sus aplicaciones en el internet de las cosas (2nd ed., p. Página 9). Peru: © ECORFAN-Perú.

J. Sánchez. (2019). Beneficios de uso de ROV's en las operaciones de búsqueda y rescate del grupo de salvamento de la marina de guerra del Perú. [online]. Aviable: <https://hdl.handle.net/11042/4209>

K. Figueroa. (2019). Weekendsantander.com. TOP 5 de los mejores deportes extremos en San Gil que recordarás por siempre - Blog Viajero, Weekend Santander: [online]. Aviable:<https://weekendsantander.com/blog/deportes-extremos-en-san-gil-santander>

LastMinuteEngineers, (2019). Create A Simple ESP8266 NodeMCU Web Server In Arduino IDE. [online]. Aviable: <https://lastminuteengineers.com/creating-esp8266-web-server-arduino-ide/>

M. Laborda, J. Github. (2016). Introducción al ESP8266 y NodeMCU. [online]. Aviable: <https://github.com/jaimelaborda/Planta-Twittera/wiki/1.-Introducci%C3%B3n-al-ESP8266-y-NodeMCU>.

M. Meza. & D. Forero. (2015). diseño y construcción de un robot acuático. [online].  
Aviable:<http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00002151.pdf>

N. Soria, D. Cabrera & P. Guerra. (2014). Diseño y construcción de un ROV (Remotely  
Operated Vehicule) submarine USFQ. Avances en ciencias e ingeniería. [online]. Aviable:  
<https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/166/168>

Rivera, V. A. (2014). Sistemas de posicionamiento dinámico para vehículos subacuáticos  
operados remotamente. [online].  
Aviable:[https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2226/TrabajoGradoV  
eronicaArango.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/2226/TrabajoGradoVeronicaArango.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Tatar, Andrei, IBM Corp. (2015). Github.node-red-dashboard. [online]. Aviable:  
<https://github.com/node-red/node-red-dashboard>

The Programming Language Lua. (2019). [online]. Aviable.: <https://www.lua.org/>

Tutoriales,NaylampMechatronics,(2016).naylampmechatronics.Usando ESP8266 con el  
IDE de Arduino. [online]. Aviable:[https://naylampmechatronics.com/blog/56\\_usando-  
esp8266-con-el-ide-de-arduino.html](https://naylampmechatronics.com/blog/56_usando-esp8266-con-el-ide-de-arduino.html)

Valencia, C., & Suell, M. (2010). Estado del arte de los vehículos autónomos sumergibles  
alimentados por energía solar. ITECKNE.

vanguardia. (2019). [www.vanguardia.com](http://www.vanguardia.com). [online].  
Aviable:[https://www.vanguardia.com/judicial/bomberos-de-san-gil-siguen-en-busca-del-  
venezolano-desaparecido-en-el-pozo-la-milagrosa-MN816196](https://www.vanguardia.com/judicial/bomberos-de-san-gil-siguen-en-busca-del-venezolano-desaparecido-en-el-pozo-la-milagrosa-MN816196)