



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

“DISEÑO DE UN ROBOT PROTOTIPO SUBMARINO ROV’S
PARA LA INSPECCIÓN VISUAL EN LOS TANQUES
RESERVORIOS DE AGUA POTABLE.”

TRABAJO DE TITULACIÓN: DISPOSITIVO TECNOLÓGICO
Para optar al Grado Académico de:
INGENIERO EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

AUTOR: GUAMANGALLO TANDALLA JONATHAN XAVIER

TUTOR: Ing. LOZADA YANEZ PABLO EDUARDO

Riobamba – Ecuador

2018

©2018, Guamangallo Tandalla Jonathan Xavier

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES
INDUSTRIALES

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo técnico: “DISEÑO DE UN ROBOT PROTOTIPO SUBMARINO ROV’S PARA LA INSPECCION VISUAL EN LOS TANQUES RESERVORIOS DE AGUA PORTABLE.”, de responsabilidad del señor Guamangallo Tandalla Jonathan Xavier, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

Dr. Julio Santillán C.

**VICEDECANO DE LA FACULTAD DE
INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA**

Ing. Freddy Chávez V.

**DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA EN CONTROL Y
REDES INDUSTRIALES**

Ing. Pablo Lozada Y.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. Fausto Cabrera A.

**MIEMBRO DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Jonathan Xavier Guamangallo Tandalla soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Jonathan Xavier Guamangallo Tandalla

ESTUDIANTE

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por haberme dado la fuerza de haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi mami Sonia, quien me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada, y siempre perseverar a través de sus sabios. A mi papi Fausto, que cada día que llegaba me preguntaba como me había ido; y también por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracteriza, por el valor mostrado para salir adelante y por su gran amor. Mis hermanos Mayra, Cristian, Verónica y Paul por sus consejos, paciencia y toda la ayuda que me brindaron para concluir mis estudios, los quiero mucho. A mi sobrina Emma Mayté, quien con su sonrisa me hace creer y sentirme muy afortunado de tenerte conmigo. Y a todos mis amigos por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes y recuerden que siempre los llevaré en mi corazón.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar doy infinitamente gracias a Dios, por haberme dado fuerzas y valor para culminar esta etapa de mi vida. Agradezco también el apoyo y confianza brindado por parte de mis padres por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, a mis hermanos que con sus consejos y sabiduría me han ayudado a afrontar los retos que se me han presentado a lo largo de mi vida. Mi Sobrina Emma por llenar más de amor en el hogar. A los ingenieros Pablo Lozada y Fausto Cabrera por su valiosa guía y asesoramiento a la realización del proyecto de titulación, de corazón muchas gracias. Gracias a todas las personas que me ayudaron directamente e indirectamente en la realización de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE ABREVIATURAS.....	vii
INDICE DE TABLAS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1 Robótica submarina	5
1.1.1 Definición	5
1.1.2 Clasificación de los robots submarinos	5
1.1.2.1 Robots Submarinos Operados Remotamente. (ROV's).....	6
1.1.2.2 Robots Submarinos Autónomos (AUV)	7
1.1.2.3 Robots Submarinos Autónomos para Intervenciones (IAUVs)	7
1.1.3 Definición de ROV'S (remote operated vehicle)	8
1.1.4 Partes de un ROV'S	9
1.1.4.1 Estructura.....	9
1.1.4.2 Consola	10
1.1.4.3 Cable Umbilical	10
1.1.5 Aplicación de los ROV'S.....	13
1.1.6 Particularidades de los robots submarinos.....	13
1.1.7 Flotabilidad.....	13
1.1.8 Presión	14
1.1.9 Hidrodinámica.....	14

1.2	Componentes electrónicos empleados en los ROV'S	16
1.2.1	<i>Video</i>	16
1.2.2	<i>Actuadores</i>	17
1.2.3	<i>Sensores</i>	19
1.2.3.1	<i>Definición</i>	19
1.2.4	<i>Microcontrolador</i>	19
1.3	Reservorios de agua	20
1.3.1	<i>Definición</i>	20
1.3.2	<i>Reservorios de cabecera</i>	20
1.3.3	<i>Reservorios flotantes</i>	21

CAPÍTULO II

2	MARCO METODOLÓGICO	22
2.1	Diseño de la estructura mediante software CAD para el modelado mecánico en 3D 23	
2.2	Selección del material que responda la exigencia de la función del prototipo de acuerdo a las características mecánicas y coste	24
2.2.1	<i>Estructura principal del robot</i>	26
2.2.2	<i>Sistema de propulsión de inmersión del robot</i>	30
2.2.2.1	<i>Cálculos de la fuerza de rozamiento (coeficiente de arrastre)</i>	30
2.2.2.2	<i>Cálculo de flotabilidad</i>	37
2.2.2.3	<i>Selección de los propulsores</i>	39
2.3	Diseño electrónico	42
2.3.1	<i>Fuente de alimentación</i>	42
2.3.2	<i>Cordón umbilical</i>	44
2.3.3	<i>Circuito de iluminación</i>	45
2.3.3.1	<i>Placa de iluminación</i>	45
2.3.3.2	<i>Etapa de potencia para circuito de iluminación</i>	47

2.3.4	<i>Sensor Visual (Cámara)</i>	48
2.3.5	<i>Tarjeta de control</i>	50
2.3.6	<i>Palanca de mando</i>	51
2.4	Programación de los dispositivos	52
2.4.1	<i>Calibración de motores Brushless</i>	52
2.4.2	<i>Calibración de servomotores</i>	53
2.4.3	<i>Programación del HMI (Human Machine Interface)</i>	53
2.4.3.1	<i>Interfaz del usuario</i>	53
2.4.3.2	<i>Bloques de programación</i>	54
2.5	Pruebas mediante simulación	56
2.5.1	<i>Simulación de presión en el robot prototipo</i>	56
2.5.2	<i>Velocidad en el robot prototipo</i>	57
2.5.3	<i>Velocidad que actúa sobre el motor en el robot prototipo</i>	58

CAPÍTULO III

3.	MARCO DE RESULTADOS	60
3.1	Imágenes capturadas en intervalos de 1 a 4 metros de profundidad.	62
3.2	Comportamiento de la cabina según su forma (cilíndrica y cuadrada).	64
3.3	Comportamiento de los motores durante el sumergimiento	66

	CONCLUSIONES	70
--	---------------------------	----

	RECOMENDACIONES:	71
--	-------------------------------	----

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

INDICE DE ABREVIATURAS

3D	Tres dimensiones
A	Amperio
CAD	Computer-Aided Design (Diseño asistido por computador)
HMI	Human Machine Interface
in	pulgadas
Kg	kilogramo
mm	milímetros
N	newton
PLA	Poliácido láctico
PVC	Policloro de vinilo
ROVS	Remote Operated Vehicle (Vehículo operado a distancia)
RPM	revoluciones por minuto
usb	Universal Serial Bus
V	Voltios

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Dimensiones de la Cúpula.....	27
Tabla 2-2: Dimensiones del Cuerpo del ROV'S.....	28
Tabla 3-2: Dimensiones de la parte posterior	28
Tabla 4-2: Dimensiones de las boyas.....	29
Tabla 5-2: Dimensiones de la cubierta de motores	30
Tabla 6-2: Consumo de potencia	42

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Clasificación de los robots submarinos.....	5
Figura 2-1:	Robot submarino operado remotamente ROV.....	6
Figura 3-1:	Robot submarino autónomo (AUV).....	7
Figura 4-1:	Robot submarino autónomo (IAUV)	8
Figura 5-1:	ROV'S	9
Figura 6-1:	Consola de un ROV'S.....	10
Figura 7-1:	Cable Coaxial.....	11
Figura 8-1:	Cable utp	12
Figura 9-1:	Fibra óptica.....	12
Figura 10-1:	Aspecto hidrodinámico	15
Figura 11-1:	Flujo laminar	15
Figura 12-1:	Flujo turbulento.....	16
Figura 13-1:	Cámara sumergible	16
Figura 14-1:	Detalle del rotor y estator de un motor brushless.....	18
Figura 15-1:	Funcionamiento del motor	18
Figura 16-1:	Microcontroladores	20
Figura 17-1:	Reservorio de almacenamiento tipo cabecera	21
Figura 18-1:	Reservorio de almacenamiento tipo flotante	21
Figura 1-2:	Diagrama de etapas del diseño ROV'S.....	22
Figura 2-2:	Efecto de la forma sobre el arrastre	23
Figura 3-2:	Fibra de carbono	25
Figura 4-2:	Acrílico	25
Figura 5-2:	PVC.....	26
Figura 6-2:	Tabla de coeficiente de arrastre	32
Figura 7-2:	Prototipo ROV'S.....	36
Figura 8-2:	Thruster t100.....	40
Figura 9-2:	Motor Brushless	40
Figura 10-2:	Cubierta para los Motores	41
Figura 11-2:	Batería Li-Po.....	43
Figura 12-2:	Batería seca 12 voltios	44
Figura 13-2:	Cable UTP categoría 5e	45
Figura 14-2:	Diodo led tipo chip.....	46

Figura 15-2:	Placa pcb de leds	46
Figura 16-2:	a) placa pcb b) placa de leds	47
Figura 17-2:	a) Placa Pcb de potencia b) Placa en 3D	48
Figura 18-2:	GoPro Hero 4	48
Figura 19-2:	GoPro Action Cam.....	49
Figura 20-2:	Raspberry Pi	50
Figura 21-2:	Arduino mega 2560.....	51
Figura 22-2:	Palanca de mando	52
Figura 23-2:	Motores Brushless.....	52
Figura 24-2:	Servomotores	53
Figura 25-2:	Interfaz del usuario	54
Figura 26-2:	Bloque de VISA	55
Figura 27-2:	Bloque file Dialog.....	55
Figura 28-2:	Captura y visualización de imagen	56
Figura 29-2:	Presión en el robot prototipo.....	57
Figura 30-2:	Velocidad en el robot prototipo	58
Figura 31-2:	Simulación de turbulencia en turbina.....	59
Figura 3- 1:	Junta de agua potable regional Chan.....	60
Figura 3- 2:	Tanque de almacenamiento de agua potable.....	61
Figura 3- 3:	Sumergimiento del robot en tanque de almacenamiento	61
Figura 3- 4:	Pared interna a 1m de profundidad	62
Figura 3- 5:	Pared interna a 2m de profundidad	63
Figura 3- 6:	Pared interna a tres metros de profundidad.....	63
Figura 3- 7:	Pared interna a 4m de profundidad	64
Figura 3- 8:	Simulación de velocidad con cabina cilíndrica.....	65
Figura 3- 9:	Simulación de presión con cabina cilíndrica.....	65
Figura 3- 10:	Simulación de velocidad con cabina cúbica	66
Figura 3- 11:	Simulación de presión con cabina cuadrada requerirá mayor potencia	66

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 3- 1	Consumo de Corriente de los motores Brushless en el exterior	67
Gráfico 3- 2	Consumo de Corriente de los motores Brushless al sumergirlo	68
Gráfico 3- 3	Consumo de corriente a los motores brushless de avance al sumergirlo	69

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo diseñar un robot prototipo submarino ROV'S, para la inspección visual en los tanques reservorios de agua potable y realizar un mantenimiento preventivo a los mismos, evitando la suspensión del líquido inesperadamente. Se aplicó el método heurístico para resolver este problema, planteando una solución con su posible efectividad. El prototipo se diseñó en un software CAD para el modelado 3D, considerando aspectos de simplicidad para facilitar su construcción y sus aspectos hidrodinámicos; una vez confirmado el modelado se seleccionó el material que conforma el robot, acrílico para el diseño de la cabina, debido a su resistencia y transparencia; el cuerpo y boyas en PVC, por su accesibilidad en el mercado y resistencia a la humedad; para los accesorios se usó el material PLA, siendo este una fibra de plástico para impresiones 3D; los propulsores son motores brushless impermeabilizados; una cámara sumergible por su calidad de imagen; luces leds para lugares oscuros; un cable multi-par UTP categoría 5e, para la comunicación entre el ordenador y el robot; un micro-controlador Arduino para la ejecución de los actuadores conjuntamente con un HMI desarrollado en LABVIEW, que realizará la captura de imágenes y video del robot. Durante la inspección se obtuvo como resultado una calidad de imagen efectiva de la cámara del ROV'S a diferentes profundidades, la luz del prototipo para la captura de imagen no influyó en la inspección. Los motores brushless de avance demostraron el desempeño lineal esperado, mientras que, en los motores inferiores encargados de sumergir al robot existió una disminución de velocidad a mayores profundidades, esto es debido a la presión existente en el tanque. Finalmente, los materiales y equipos seleccionados para el diseño del prototipo fueron los adecuados, así como su interfaz. Se recomienda utilizar este prototipo en aguas no turbulentas.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIA DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA>, < DISEÑO CAD>, <ROV'S>, <BRUSHLESS>, <MICROCONTROLADOR>.

ABSTRACT

The objective of this research is to design an ROV'S submarine prototype robot. This will carry out the visual inspection and preventive maintenance in the reservoirs of drinking water to avoid the suspension of the water service. To solve this problem a method called heuristic was applied. The prototype was designed in a software CAD with characteristics of 3D. It was considered simple aspects to facilitate its construction and hydrodynamic characteristics, after establishing the type of robot the material that was used was selected such as: acrylic because it is resistant and transparent, to design the cabin, PVC was used to make the body and the Buoys, because it is very easy to find in the commercial market, this is also resistant to moisture, for the accessories the PLA material was used, which is plastic fiber for 3D printing; The thrusters are brushless motors resistant to water, a camera submersible for its image quality, LED lights for dark places, a UTP category 5e multi-pair cable to establish communication between the computer and the robot, plus a microcontroller for the performance of the actuators with an HMI that was developed in LABVIEW, which has the function of capturing images and videos. During the inspection a good image quality of the ROV'S camera was achieved in different depths, the light of the prototype for the image capture did not influence the inspection. The advance brushless motors verified the expected performance, while in the lower motors responsible for submerging the robot there was a decrease in speed at greater depths since the tanks are at higher pressure. Finally, the materials and equipment selected for the design of the prototype were adequate; as well as its execution. It is recommended not to use it in turbulent waters.

KEY WORDS: TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING, ENGINEERING AND ELECTRONIC TECHNOLOGY, CAD DESIGN, ROV'S, BRUSHLESS, MICROCONTROLLER.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Los robots submarinos son vehículos submarinos controlados desde la superficie por medio de un cable llamado umbilicales, por el cual se transmiten las ordenes emanadas por su piloto, desde la superficie. Son altamente maniobrables y al menos, llevan una cámara de video y luces. Dependiendo del tipo de robot, pueden llevar accesorios tales como sonares, brazos manipuladores y sensores de variados tipos (WinRob S.P.A 2016)

En el Ecuador, existen pocos ejemplos, de desarrollo propio de vehículos submarinos, así como de tecnología de apoyo para estos tales como, sensores, material y actuadores. En las últimas décadas se ha propuesto varias arquitecturas de robots submarinos ROV'S. Algunas con la finalidad de realizar inspección que fue desarrollada en la Escuela Politécnica del ejército (ESPE), con el tema de Diseño y construcción de un prototipo de robot submarino para la inspección de los cascos de buques. (Fase uno), por el señor Chopitea Javier, 2010; con la finalidad de realizar una inspección visual preventivo de los cascos de buque para evitar grandes desastres en alta mar.

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se ha desarrollado una tesis para la obtención del título de ingeniero en electrónica y computación, el tema que se desarrollo es el Diseño e implementación de un robot submarino controlado por radiofrecuencia para exploración en pequeños estanques de agua dulce. Desarrollado por Leónidas Oña y René Armijos. Este proyecto trata de la implementación de un prototipo controlado por radiofrecuencia capaz de sumergirse en el agua y desplazarse en la misma.

De igual manera existen robot operados remotamente sumergibles para la exploración de fondos marinos como en la Universidad de Pamplona con el tema "Diseño y construcción de un prototipo submarino para la exploración (mecarov) " por los señores MARTINEZ, Jeisson; et al. Silva en el año 2016, con la finalidad de realizar recorridos omnidireccionales y a profundidades considerables del mar.

Actualmente, podemos encontrar varios robots acuáticos en inspección visual, como la de cascos de barcos, fondos subacuáticos entre otros. Existen varias empresas que desarrollan ROV'S entre

ellas tenemos Automax Robots Japón con sus robots manipuladores MURS-300 donde sus principales características son, aleación de titanio, se utiliza como un robot de exploración en aguas profundas, y es capaz de operar a una profundidad de 10.000 metros. La operación es controlada por el sistema informático avanzado con funciones avanzadas para controlar el sistema de coordenadas o el sistema de evitar colisiones.

También se tiene la empresa RovBuilder Rusia donde diseña pequeños robots submarinos para inspección para trabajos submarinos con una amplia experiencia y conocimiento en el campo de la robótica submarina donde permite desarrollar y producir los más modernos modelos de tecnología submarina, teniendo en cuenta las características individuales y los deseos de los clientes.

Justificación Teórica

El mantenimiento preventivo es una de las técnicas que mayor uso ha tenido dentro de la industria de la construcción, dentro de ellos podemos mencionar edificaciones y tanques reservorios de agua potable. En este último al no realizar inspecciones mensuales de los mismos, en las paredes internas se originan fisuras y grietas, además la presencia de algas verdes, microorganismos y compuestos inorgánicos que afecten la calidad del agua potable. El motivo de la ausencia de inspecciones puede ser, la necesidad de vaciar en su totalidad los tanques, para el ingreso del personal capacitado y verificar si existe alguna anomalía en dichos tanques, provocando un corte temporal del líquido vital y generando molestias a los usuarios que la consumen.

Al no realizar inspecciones a los tanques reservorios de agua potable, se producen dos causas con su respectivo efecto:

- Fisuras, cuyo efecto es la disminución del tiempo de vida útil del tanque que en casos extremos provocarían la demolición del mismo, generando un problema económico considerable a los usuarios. La presencia de fisuras, pueden deberse a:
 - Defectos originales de construcción.
 - Imperfecciones en la homogeneidad de la mezcla de hormigón.
 - Pérdida de estanqueidad.
 - Filtraciones en la tapa de inspección.

Un tanque con filtraciones tiene en marcha un proceso de corrosión de las paredes del hormigón que lo compone. Si el tanque contiene grietas en un tiempo inmediato a su construcción se debe a fenómenos físicos.

En el caso de las armaduras de hierro del tanque, el efecto subsecuente es la corrosión inevitable de las mismas, conllevando a desgastes que pueden disminuir la durabilidad de esta; las mismas pueden representar la totalidad del daño, pero también generar problemas de mayor magnitud.

- La segunda causa es la existencia de algas verdes en las paredes de los tanques, debido a filtraciones del agua lluvia, corrientes de polvo, viento, entre otros factores externos que provocan un efecto de insalubridad, ocasionando la proliferación de microorganismos patógenos, que con el transcurso del tiempo pueden afectar la calidad del agua y generar importantes riesgos para la salud, incumplimiento con los requisitos microbiológicos establecidos por la norma INEN 1108 referente al agua potable.

Justificación Aplicativa

Es de conocimiento general que, los tanques reservorios de agua potable sufren desgastes físicos en paredes, piso y cubierta tales como: fisuras y grietas; siendo estas las principales causas de deterioro en las propiedades intrínsecas del material que conforma el tanque, las mismas que pueden provocar filtraciones de líquido, presentando daños irremediables al contenedor, pues la estructura sería perjudicada internamente. Cabe recalcar que la presencia de materiales extraños afecta la calidad del agua, ya que la proliferación de bacterias son las causantes de enfermedades que deterioran la salud de las personas que la consumen.

En el siglo XXI la tecnología ha alcanzado un auge importante en las actividades cotidianas, de igual manera el uso de autómatas en actividades laborales de riesgo que permite asegurar la integridad física de las personas; este tipo de robots pueden ejecutar tareas aéreas, terrestres y acuáticas. Siendo esta última la menos explorada, permitiendo incrementar el campo de investigación.

Los ROV'S (Remote Operated Vehicle) son vehículos controlados por un operador, preservando el bienestar del usuario, siendo este su principal beneficio. La característica de este es la comunicación hombre-máquina mediante un cable (cordón umbilical) que permite incrementar el

tiempo de manipulación bajo el agua además de transmitir datos ya sea video, audio e información digital los mismos que son adquiridos en tiempo real; por este motivo se propone utilizar este tipo de robot para la inspección de tanques reservorios de agua potable, cuya función será transmitir video mediante una cámara incorporada, para la recolección de datos que se dirigirá hacia un ordenador, los cuales serán almacenados en un software mismo que tendrá la tarea de analizar la existencia de los problemas previamente mencionados, generando una informe digital de la inspección visual realizada.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un robot prototipo submarino ROV'S para la inspección visual en los tanques reservorios de agua potable.

Objetivos específicos:

- Seleccionar los materiales apropiados que permita la maniobrabilidad inmersa al agua.
- Ensamblar el sistema mecánico que conforma la estructura del prototipo submarino.
- Diseñar una interfaz que facilite la operación e interpretación del usuario.
- Evaluar al prototipo (pruebas y resultados).

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Robótica submarina

1.1.1 Definición

La mayor parte de los robots submarinos comerciales están guiados con un cable y son controlados remotamente, estos son no tripulados y conectados a una unidad de control en la superficie por medio de un cable umbilical. La energía y órdenes se envían mediante un mando de control a través del cable al ROV. También existen robots autónomos, es decir, que no son guiados por un cable ni por un operador. A estos robots se les conoce como AUV (Autonomous Underwater Vehicles, Vehículos Submarinos Autónomos) pero con una desventaja que el tiempo de autonomía es limitada (Arocha et al. 2003)

1.1.2 Clasificación de los robots submarinos

Los robots submarinos se pueden clasificar por su nivel de autonomía, el tipo de misión a realizar, su sistema y su propulsión (Ver figura 1-1). Los robots submarinos o UUV (Unmanned underwater vehicles), se le pueden clasificar principalmente por su nivel de autonomía.

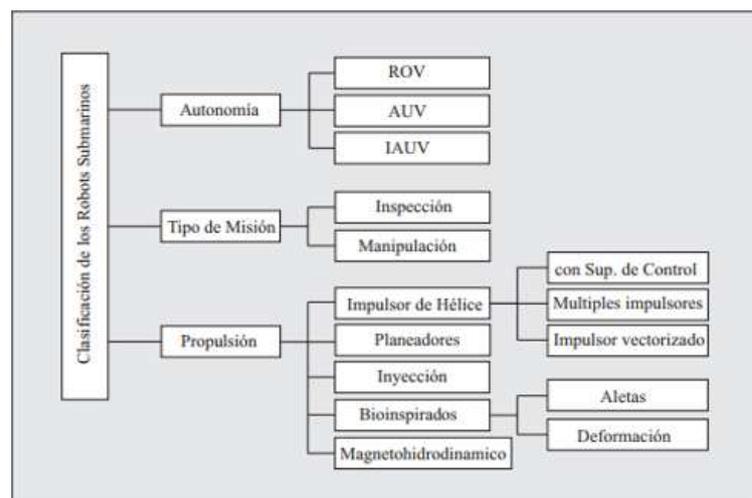


Figura 1-1: Clasificación de los robots submarinos

Fuente: http://oa.upm.es/16634/1/04_HECTOR_ALONSO_MORENO_AVALOS.pdf

1.1.2.1 Robots Submarinos Operados Remotamente. (ROV's)

Se encuentran conectados a la superficie mediante un cordón umbilical (un conjunto de cables unidos), el cual permite el intercambio de datos y alimentación de energía al robot. A través de una interfaz gráfica del ordenador situado en la superficie, el usuario define los comandos que el robot deberá ejecutar (Ver figura 2-1). A su vez el ROV envía las señales de sus sensores (presión, temperatura, imágenes, etc.) al ordenador en superficie, para que el usuario conozca el estado del robot y el ambiente que los rodea (Moreno Ávalos 2013).



Figura 2-1: robot submarino operado remotamente ROV

Fuente: <http://www.aquarov.cl/dtg2-starter/>

Dentro de este apartado nos encontramos con dos tipos de rovs.

- Tele-operados El operador va observando por las pantallas lo que el ROV ve, y va dándole unas pautas ya programadas de lo que debe hacer, como por ejemplo subir a tantos metros, u otras operaciones ya programadas, por lo que el ROV ya tiene predefinidas unas operaciones y el operador sólo se encarga de introducir qué operación debe realizar en ese momento (Milena y Cardenas 2014, p.27).
- Operador con mando a distancia: El operador dirige completamente al robot con un joystick y ve en cada momento lo que está realizando el autómeta por lo que el ROV no realiza ninguna operación de forma automática o programada.

1.1.2.2 Robots Submarinos Autónomos (AUV)

Los robots submarinos autónomos (AUVs, por sus siglas en inglés de Autonomous Underwater Vehicle) poseen una arquitectura de control que les permite realizar misiones sin la supervisión de un operador. Además contiene su propia fuente de energía, generalmente basada en baterías recargables (Ver figura 3-1). Por lo general no hay una línea de comunicación entre el vehículo y la superficie, ya que suele programarse con tareas y misiones predefinidas (Moreno Ávalos 2013, p.15).

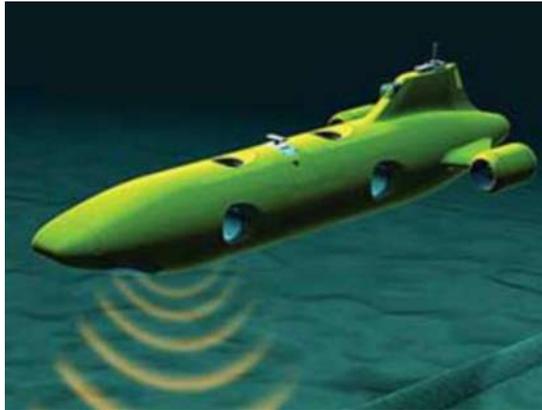


Figura 3-1: Robot submarino autónomo (AUV)

Fuente: <https://goo.gl/wb4H7A>

Utilizan una computadora o alguna clase de controlador o procesador electrónico para controlar el vehículo durante su misión. Poseen sensores conectados a la computadora, los cuales obtienen información de la navegación profundidad, velocidad, tiempo de viaje, etc. Los sonares permiten a estos vehículos evitar obstáculos y mapear el fondo. Pueden también utilizar cámaras de video para capturar y almacenar imágenes del viaje. Finalmente, cuando el AUV ha terminado de realizar su misión, descarga toda la información recolectada, en una computadora que se encuentra en la superficie de un barco (Palacios A. 2014, p.15).

Existen tres desventajas en los AUVs:

- 1) La cantidad de energía disponible es limitada.
- 2) Los sensores no proporcionan información lo suficientemente confiable.
- 3) La falta de computadoras y programas capaces de procesar las grandes cantidades de datos.

1.1.2.3 Robots Submarinos Autónomos para Intervenciones (IAUVs)

Los AUVs ha sido diseñados para realizar misiones de observación, sin embargo, recientemente se ha generado un interés en que estos puedan realizar tareas de manipulación. Esta es la idea detrás de los robots submarinos autónomos para intervención (IAUV) por sus siglas en inglés

(Ver figura 4-1). Con este tipo de robots las misiones serían más económicas que en el caso de los ROV'S, además su maniobrabilidad sería superior ya que el IAUV estaría libre de las restricciones que impone el cordón umbilical.



Figura 4-1: robot submarino autónomo (IAUV)

Fuente: <http://domoticausuarios.es/i-auv-el-robot-de-intervencion-submarina/7853/>

1.1.3 Definición de ROV'S (remote operated vehicle)

Es un robot submarino no tripulado y conectado a una unidad de control en la superficie por medio de un cable umbilical. La energía y los órdenes se envían mediante un mando de control a través del cable al ROV. A través del cable umbilical se transmiten también los datos de las cámaras de video del ROV (Ver figura 5-1), los datos de los sensores y de los sonares a la unidad de control en la superficie. Los ROV'S pueden llevar una gran variedad de brazos manipuladores, herramientas y sensores para realizar trabajos en las profundidades, o simplemente una cámara de video con el fin de captar las imágenes del fondo del mar (qstar rovs 2014).



Figura 5-1: ROV'S

Fuente: <http://www.nauticexpo.com/prod/deep-trekker/product-44266-470123.html>

1.1.4 Partes de un ROV'S

Un ROV'S está compuesto por tres partes: la estructura, la consola y el cordón umbilical.

1.1.4.1 Estructura

La cabina o casco consiste de la estructura y el material que reviste al robot submarino. En la cabina están montados el ordenador abordo, el equipo eléctrico y electrónico (motores eléctricos, controladores, convertidores de señales, sensores, tarjetas electrónicas, sensores, cámaras, entre otras), y los elementos mecánicos del robot (lastre, aletas y los impulsadores). Los factores que determinan el diseño de una cabina son: la profundidad a la que va operar (y por lo tanto la presión hidrostática que va soportar); los niveles de temperatura que va resistir; la resistencia a la corrosión; el volumen de los elementos que contendrá; la facilidad para ensamblar, la factibilidad de su construcción y el costo (Moreno y Ávalos, 2013: p.17).

Entre los principales materiales utilizados para el diseño de la estructura tenemos:

- Fibra de carbono
- Acrílico
- Poli cloruro de vinilo
- Fibra de vidrio

Los mismos que se detallarán en el siguiente capítulo para elección de la estructura del prototipo, tomando en cuenta esencialmente el costo y la fácil adquisición de los mismos en el mercado.

1.1.4.2 Consola

Los paneles de control pueden ser muy sofisticados y complejos, con múltiples pantallas donde poder ver toda la información que transmite el vehículo, o más sencillas donde están los controles y una pantalla, la información que recoja el ROV se recoge después. (Ver figura 6-1).



Figura 6-1: Consola de un ROV'S

Fuente: <http://www.nauticexpo.es/prod/seabotix/product-25474-456702.html>

La consola estará conformada por un sistema de control (mediante teclado o mediante control manual), una pantalla de reproducción de la cámara instalada en el ROV, pantalla de información de dirección, profundidad, posición, y por último el programa de control de las funciones básicas (Quesada 2013).

1.1.4.3 Cable Umbilical

Existe varios medios de comunicación físicos donde permitirá la transmisión de datos desde el robot sumergido hacia el ordenador, entre ellos tenemos:

➤ El cable coaxial

El cable coaxial es la forma de cableado preferida desde hace tiempo por el simple hecho de que su costo es accesible para el usuario y su fácil manipulación (debido a su peso, flexibilidad, etc.). Está compuesto por un hilo de cobre central (denominado núcleo) que está rodeado por un material aislante y luego, por una protección de metal trenzada:

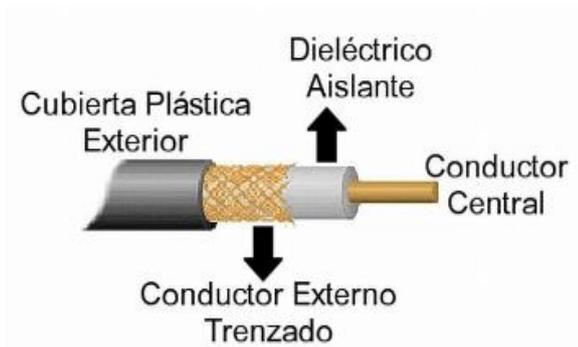


Figura 7-1: Cable Coaxial

Fuente: <https://sites.google.com/site/ea7ahg/antena/cables-coaxiales>

- La funda protege al cable del entorno externo. Generalmente está fabricada en caucho (a veces, de cloruro de polivinilo (PVC) o teflón).
- La protección (cubierta de metal) que recubre los cables ayuda a proteger los datos transmitidos de interferencias (ruido) y evita su distorsión.
- El aislante que rodea al núcleo central está fabricado en material dieléctrico que evita cualquier contacto con la protección que pueda causar interacciones eléctricas (cortocircuitos).
- El núcleo realiza la tarea de transportar los datos. Consiste en un solo hilo de cobre, o varias fibras trenzadas.

Gracias a la protección, el cable coaxial se puede utilizar para cubrir grandes distancias y a altas velocidades (a diferencia del cable par trenzado). Sin embargo, se suele utilizar con mayor frecuencia para instalaciones básicas.

➤ Par trenzado no protegido (UTP)

El cable UTP cumple con la especificación 10BaseT. Este es el tipo de cable de par trenzado más utilizado, fundamentalmente en redes locales. A continuación se presentan algunas de sus características:

- Longitud máxima de segmentación: 100 metros.
- Composición: 2 hilos de cobre recubiertos por un material aislante.
- Estándares UTP: determinan el número de vueltas por pie (33 cm) del cable, según el uso que se le quiera dar.

Estos estándares incluyen cinco categorías de cables UTP: la categoría 1, un cable de teléfono tradicional (transmisión de voz pero no de datos); la categoría 2, transmisión de datos hasta un máximo de 4 Mb/s (RNIS). Este tipo de cable contiene 4 pares trenzados; la categoría 3, un

máximo de hasta 10 Mb/s. Este tipo de cable contiene 4 pares trenzados y 3 trenzas por pie; la categoría 4, un máximo de hasta 16 Mb/s. Este tipo de cable contiene 4 pares de hilos de cobre trenzados; la categoría 5: máximo de hasta 100 Mb/s. Este tipo de cable contiene 4 pares de hilos de cobre trenzados; la categoría 5e, máximo de hasta 1000 Mb/s. Este tipo de cable contiene 4 pares de hilos de cobre trenzados.

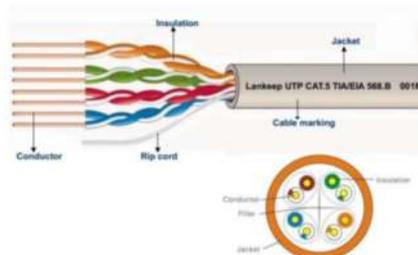


Figura 8-1: Cable utp

Fuente: <https://mymstech.com.co/cables-de-red/208-cable-utp-sat-cat-5e.html>

➤ Fibra óptica

El cable de fibra óptica tiene numerosas ventajas: poco peso, inmunidad al ruido, baja atenuación, soporta una transferencia de datos que ronda el orden de los 100 Mbps, ancho de banda que va desde decenas de megahertz hasta varios gigahertz (fibra monomodo). El cableado de fibra óptica es particularmente apropiado para conexiones entre distribuidores (una conexión central con varias construcciones, conocida como columna vertebral) ya que permite conexiones a través de grandes distancias (desde unos pocos kilómetros hasta 60 km, en el caso de la fibra de modo único) sin necesitar una conexión a tierra. Además, este tipo de cable es muy seguro ya que resulta extremadamente difícil perforarlo. Sin embargo, a pesar de su flexibilidad mecánica, este tipo de cable no es apropiado para conexiones de redes locales ya que es muy difícil de instalar y además es muy costoso. Por este motivo, se prefieren pares trenzados o cables coaxiales para conexiones cortas (CCM 2017).

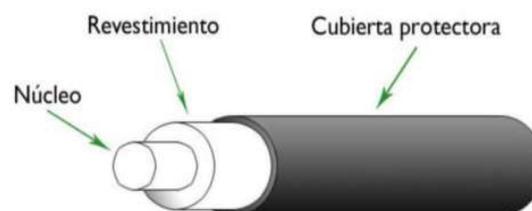


Figura 9-1: Fibra óptica

Fuente: <http://web.olacable.com/la-fibra-optica>

1.1.5 Aplicación de los ROV'S

El desarrollo tecnológico en la industria ROV se ha acelerado y hoy en día pueden realizar numerosas tareas en muchos campos. Sus tareas van desde la simple inspección de estructuras submarinas hasta complejas operaciones submarinas vinculadas a un gran campo de sectores.

Donde estos se pueden clasificar dependiendo el área de trabajo en 3 grupos:

- **Micro ROV'S.-** Pesan menos de 3 kilos altamente maniobrables y permiten operaciones a baja profundidad. Capacidad de inmersión a 50 metros incluye una iluminación para inspecciones nocturnas o en condiciones de poca luminosidad entre las principales aplicaciones inspección de embarcaciones, revisión de infraestructuras sumergidas, inspección de puertos marítimos, revisión de tanques reservorios de agua de gran tamaño entre otras.
- **Mini ROV'S** son aquellos que su promedio de peso promedian entre los 15 kg y pueden ser operados por una persona. Operan a una profundidad de 300 metros, estos vehículos son usados principalmente para tareas de inspección y observación.
- Los ROV'S permiten operaciones de intervención generalmente manejan potencias de 5 hp lo cual permite alcanzar profundidades de 1000 m estas se les aplica en generación de mapas de suelo marino muestreo geológico, búsqueda y rescate recuperación de objetos entre otros.

Todos los ROV'S tienen una cosa en común - que requieren un equipo humano para controlar y operar las funciones que el sistema es capaz de realizar.

1.1.6 Particularidades de los robots submarinos

1.1.7 Flotabilidad

El correcto y eficaz funcionamiento y control del submarino va a depender del entendimiento de cómo afecta la flotabilidad a un cuerpo introducido en agua y de cómo controlar esta flotabilidad. Si un objeto es introducido totalmente o parcialmente en el agua, según el principio de Arquímedes, este flotará cuando el peso del volumen de agua desplazada iguale su propio peso. Esto significa que un objeto va a flotar siempre y cuando el peso del volumen de agua desplazada sea mayor a su propio peso. Cuando un objeto flota se dice que tiene flotabilidad positiva. Así mismo, si un objeto desplaza un volumen de agua que pesa menos que el peso del objeto, este se hundirá, y se dice que tiene flotabilidad negativa. Si el peso del volumen desplazado es igual al

mismo peso del objeto, éste no flota ni se hunde; a este estado se lo llama flotabilidad neutra (Cabrera y Soria 2011).

1.1.8 Presión

La presión se define como una fuerza ejercida por un fluido por unidad de área. Se habla de presión sólo cuando se trata de un gas o un líquido. La contraparte de la presión en los sólidos es el esfuerzo normal. Puesto que la presión se define como fuerza por unidad de área, tiene la unidad de Newtons por metro cuadrado (N/m^2), la misma que se denomina pascal (Pa). La presión en un fluido aumenta con la profundidad porque descansa más fluidos sobre las capas más profundas, y el efecto de este peso adicional sobre una capa más profunda se equilibra por un aumento en la presión.

El agua es un fluido que pesa y ejerce una presión en todos los cuerpos sumergidos con ella, esta presión no es nada más que el peso del agua sobre el cuerpo sumergido, pero debido a que el agua es más densa y pesada que el aire, los cambios en presión debajo del mar son mucho más significativos (Cabrera y Soria 2011). La presión ejercida por el agua depende de la densidad del líquido y de la profundidad a la que esté sumergido el objeto. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P = \rho gh$$

Donde:

- ρ = Densidad del fluido = 1000 kg/m^3
- g = Gravedad = 9.81 m/s^2
- h = profundidad

1.1.9 Hidrodinámica

El flujo de un fluido puede ser muy complejo, pero la hidrodinámica nos ayuda a entender en cierta medida los fenómenos asociados. La hidrodinámica no es nada más que la ciencia de un fluido en movimiento, en este caso el agua. Para el estudio de la hidrodinámica se realizan dos aproximaciones:

- La densidad del agua no varía con el cambio de presión, a diferencia de lo que pasa con los gases.

- El agua es un fluido incompresible y no tiene fricción interna o viscosidad; en otras palabras no se toma en cuenta los esfuerzos cortantes producidos por fuerzas de fricción internas.

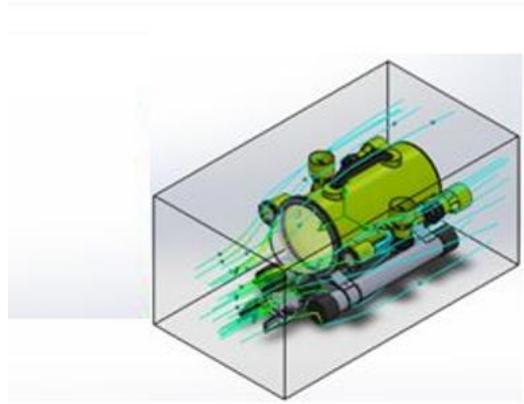


Figura 10-1: Aspecto hidrodinámico

Fuente: <http://www.ustabuca.edu.co/post2978061/robot-subacuatico-para-exploracion-busqueda-y-rescate>

El fluido del agua puede ser esta laminar o turbulento. El flujo laminar o corriente laminar, al movimiento de un fluido cuando éste es ordenado, estratificado y suave. En un flujo laminar el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse y cada partícula de fluido sigue una trayectoria suave, llamada línea de corriente. En flujos laminares el mecanismo de transporte lateral es exclusivamente molecular (freites adriana 2011). Se puede presentar en las duchas eléctricas vemos que tienen líneas paralelas (Ver figura 11-1).

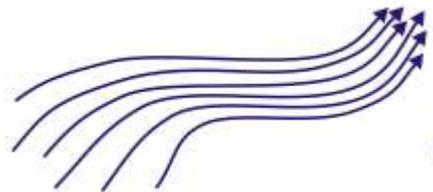


Figura 11-1: Flujo laminar

Fuente: https://ricuti.com.ar/no_me_salen/hidrodinamica/FT_laminar.html

Las capas adyacentes del fluido se deslizan suavemente entre sí. El mecanismo de transporte es exclusivamente molecular. Se dice que este flujo es aerodinámico. Ocurre a velocidades relativamente bajas o viscosidades altas. Mientras tanto un flujo turbulento es aquel en el que las partículas del fluido tienen desplazamiento en sentidos diferentes al del movimiento principal de fluidos. Se pueden presentar en el mismo tipo de conductos referidos al régimen laminar en este tipo de flujo al moverse las partículas en movimiento errático tiene como consecuencia que se

presenta colisiones entre ellas y esto genera cambios en la cantidad de movimientos, que se manifiestan como pérdida de energía. (Ver figura 12-1).

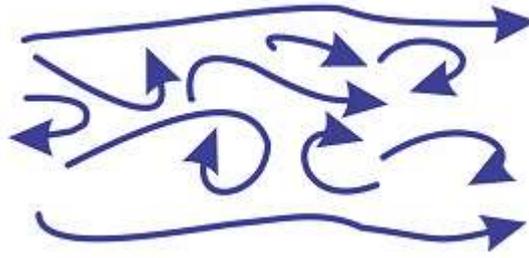


Figura 12-1: Flujo turbulento

Fuente: <http://www.siafa.com.ar/notisiafa/381/La-Importancia-de-las-Calibraciones.html>

1.2 Componentes electrónicos empleados en los ROV'S

1.2.1 Video

Debido a la necesidad de investigación de vida marina, el sistema de visión es de alta prioridad para la construcción del sumergible, por lo que se necesita utilizar cámaras resistentes al agua. Por lo general las cámaras se sitúan en el frente del robot, para permitir al operario visualizar en tiempo real lo que está en frente del submarino y así poder controlarlo y evitar colisiones no deseadas. Además, tienen la capacidad de grabar videos y tomar fotos y guardarlo en una memoria o en un ordenador para luego realizar la inspección necesaria. Existen cámara con conexión USB, RCA (audio y video), Ethernet, inalámbricas entre otras, cada una con un límite de distancia para que no exista pérdida de datos si se desea ampliar la distancia existen repetidoras que se acoplan de la cámara hacia un computador. (Ver figura 13-1).



Figura 13-1: Cámara sumergible

Fuente: <https://es.gopro.com/>

1.2.2 Actuadores

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre elemento externo. Este recibe la orden de un regulador o controlador que genera la orden para activar un elemento final de control como, por ejemplo, una válvula. Existen varios tipos de actuadores como son: Electrónicos, Hidráulicos, Neumáticos, Eléctricos, Motores, Bombas. Se clasifican en tres grandes grupos, según la energía que utilizan:

- Actuator neumático.- Los actuadores neumáticos son mecanismos que convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico por medio de un movimiento lineal de vaivén, o de motores. Los actuadores neumáticos se clasifican en dos grandes grupos: Cilindro neumático y Motores (Diego E. 2011).
- Actuator hidráulico.- Utiliza básicamente los fluidos hidráulicos como medios de presión para mover los pistones de los cilindros. Dentro de estos sistemas se encuentran los motores hidráulicos con velocidades que abarcan desde 0.5 rpm hasta los 10.000 rpm y el par que proporciona va desde el 1 Nm hasta 20000 Nm.
Los sistemas hidráulicos se aplican típicamente en dispositivos móviles tales como maquinaria de construcción, excavadoras, plataformas elevadoras entre otras (CREUS SOLE 2011).
- Actuator eléctrico.- La estructura de un actuador eléctrico es simple en comparación con la de los actuadores hidráulicos y neumáticos, ya que sólo se requieren de energía eléctrica como fuente de poder. Como se utilizan cables eléctricos para transmitir electricidad y las señales, es altamente versátil y prácticamente no hay restricciones respecto a la distancia entre la fuente de poder y el actuador (Duplaa L. 2014).

Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

- Motores de corriente continua (DC)
- Motores paso a paso
- Motores de corriente alterna

Entre los motores de corriente continua DC obtenemos a los de sin escobillas

- Motores sin escobillas.- los llamados motores DC sin escobillas o Brushless DC motors son máquinas eléctricas con imán permanente en el rotor y bobinas en el estator (Ver figura 14-1). (tres o más fases, alimentados con un conjunto de tensiones polifásicas alternas

(sinusoidales o trapezoidales), generalmente por medio de un circuito inversor controlado de forma que las características de operación de la maquina eléctrica emulen las de un motor de convencional en lo referente a las relaciones de par/ corriente y velocidad angular / voltaje (Ramos María 2017).



Figura 14-1: Detalle del rotor y estator de un motor brushless

Fuente: <http://www.quadruino.com/guia-2/materiales-necesarios-1/motores-brushless>

El funcionamiento de estos motores es similar a otros motores eléctricos de imanes permanentes. Al energizar una bobina, esta crea un campo magnético. El rotor que tiene un campo magnético constante, detecta la variación y tiende a alinear el campo creado por el estator y el propio haciendo girar el rotor ya que es la parte móvil del motor. Para lograr que el rotor siga girando, antes de que se alinee por completo la bobina energizada con el rotor, se energiza la bobina que le sigue y a la anterior se la deja de alimentar. Esto provoca que el campo magnético del rotor siga al campo magnético del estator, que va variando en el tiempo, haciendo que el rotor gire (Ver figura 15-1).

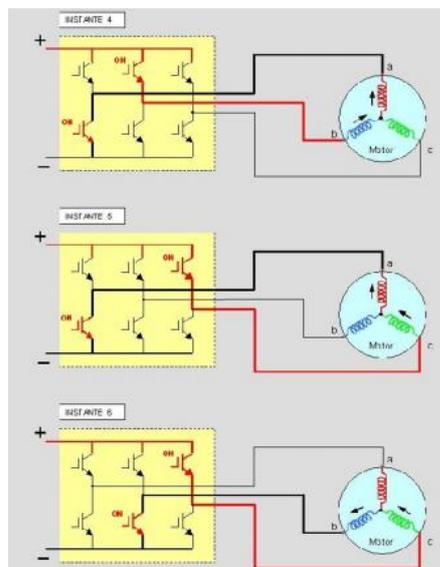


Figura 15-1: Funcionamiento del motor

Fuente: http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/19222/TFG_Gonzalo%20Solchaga.pdf?sequence=1

1.2.3 Sensores

1.2.3.1 Definición

Un sensor es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. Estos aparatos pueden transformar la magnitud física o química en magnitudes eléctricas (Pérez y Gardey 2010).

1.2.4 Microcontrolador

Es un circuito integrado programable que contiene todos los componentes de un computador. Se emplea para controlar el funcionamiento de una tarea determinada y, debido a su reducido tamaño, suele ir incorporado en el propio dispositivo al que gobierna. Esta última característica es la que le confiere la denominación de controlador incrustado (Silva 2014).

El microcontrolador es un computador dedicado, en su memoria solo reside un programa destinado a gobernar una aplicación determinada; sus líneas de entrada y salida soportan el conexionado de los sensores y actuadores del dispositivo a controlar y todos los recursos complementarios disponibles, tienen como única finalidad atender sus requerimientos. Una vez programado y configurado el microcontrolador solamente sirve para gobernar la tarea asignado (Ver figura 16-1) (silva 2014).

Los microcontroladores tienen muchas aplicaciones. Por ejemplo para el diseño de controladores de temperatura automáticos, máquinas dispensadoras, dispositivos biomédicos, juguetes, aplicaciones aeroespaciales, sistemas de medición, sistemas de instrumentación, para el desarrollo y automatización de experimentos científicos, para automatizar procesos, máquinas tragamonedas, hornos de microondas, lavadoras, controladores de audio, controladores de video, lectores de huellas digitales, cámaras, celulares y así sucesivamente podemos platicar un sin fin de aplicaciones en donde los microcontroladores son útiles (Mamolejo 2017).



Figura 16-1: Microcontroladores

Fuente: <https://microcontroladoresesv.wordpress.com/microcontroladores-pic-y-sus-variedades/>

1.3 Reservorios de agua

1.3.1 Definición

Los reservorios de agua son un elemento fundamental en una red de abastecimiento de agua potable ya que permiten la preservación del líquido para el uso de la comunidad donde se construyen y a su vez compensan las variaciones horarias de su demanda. Dependiendo del lugar donde se reside dependerá el caudal y la presión del agua (EMAPAD-EP 2016)

La utilización de estos reservorios o tanques, garantizan una permanente disponibilidad de líquido en los lugares que se requiera. A su vez proporcionan un aumento en la presión y caudal del agua, siempre y cuando estén sus tuberías correctamente instaladas. Uno de los mayores inconvenientes que han tenido y tienen los pobladores de diversos sectores el racionamiento del agua potable, ya que la distribución del servicio se hace a determinadas horas y por días establecidos, por lo tanto el servicio del líquido vital no es continuo (EMAPAD-EP 2016)

1.3.2 Reservorios de cabecera

Se alimentan directamente de la fuente o planta de tratamiento mediante gravedad o bombeo. Causa una variación relativamente grande de la presión en las zonas externas de la red de distribución (Ver figura 17-1).

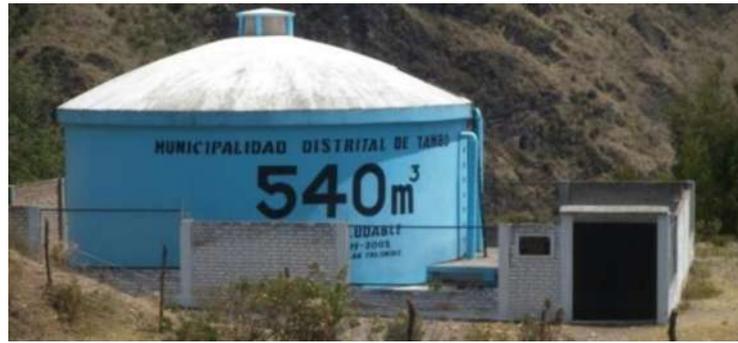


Figura 17-1: Reservorio de almacenamiento tipo cabecera

Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/114468146>

1.3.3 Reservorios flotantes

Se ubican en la parte más alejada de la red de distribución con relación a la captación o planta de tratamiento, se alimentan por gravedad o por bombeo. Almacena agua en las horas de menos consumo y auxilia el abastecimiento de la ciudad durante las horas de mayor consumo (Ver figura 18-1).



Figura 18-1 Reservorio de almacenamiento tipo flotante

Fuente: <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/328632-piden-inspeccionar-reservorio-de-agua-en-picoaza/>

CAPÍTULO II

2 MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se describe de manera detallada el diseño de un robot prototipo submarino “ROV’S” para la inspección visual en los tanques reservorios de agua potable, incluyendo programación de los controladores, selección de material para la estructura, diseño de HMI para la manipulación de la misma, entre otras.

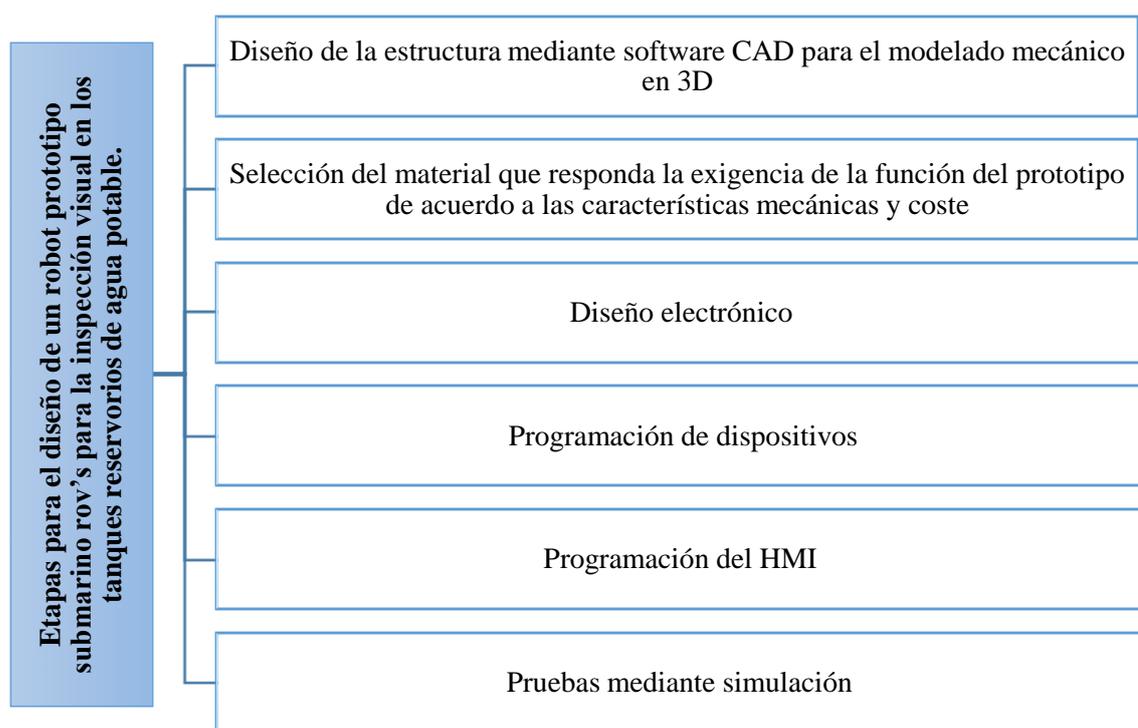


Figura 1-2: Diagrama de etapas del diseño ROV’S

Fuente: Guamangallo, 2017

Se ha tomado como base para el desarrollo del prototipo el método heurístico, con la finalidad de resolver el problema presentado, mediante el planteamiento de una posible solución, con el propósito de mejorar el mantenimiento preventivo visual de las paredes internas de los tanques reservorios de agua potable.

2.1 Diseño de la estructura mediante software CAD para el modelado mecánico en 3D

Para el diseño del prototipo propuesto se utilizó un software CAD SolidWord debido que se tiene mayor destreza en manipular dicho programa y permite realizar un análisis del comportamiento de un cuerpo sumergido en un fluido donde se consideraron aspectos necesarios como la sencillez, con la finalidad de facilitar su construcción; además de los aspectos hidrodinámicos, debido que los motores deben vencer la fuerza que existe en el agua, es decir la fuerza estática (vencer la inercia) y la fuerza dinámica (empuje) que provoca el agua hacia el robot. Cabe recalcar que el robot se sumergirá en agua dulce y tendrá la posibilidad realizar un avance frontal, girar izquierda, derecha, sumergir y emerger.

En la figura 2-2 se puede observar los efectos de arrastre sobre las diferentes formas clásicas a utilizar en un prototipo sumergible, por lo que al movilizarse debe generar menor turbulencia y arrastre, de acuerdo a estos aspectos se consideró:

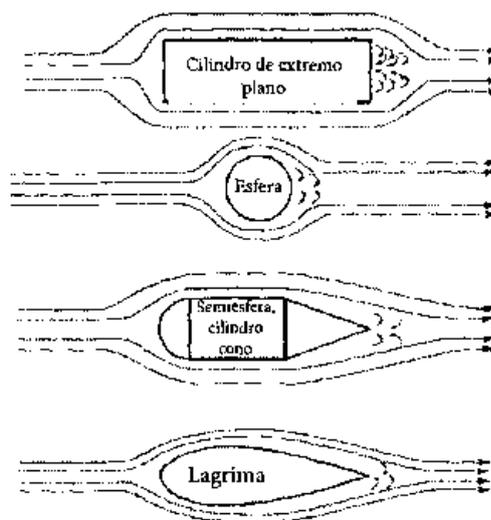


Figura 2-2: efecto de la forma sobre el arrastre

Fuente: Guamangallo, 2017

- **Popa.-** Una cúpula semiesférica
- **Cuerpo.-** Cilíndrica
- **Proa.-** Plana.

2.2 Selección del material que responda la exigencia de la función del prototipo de acuerdo a las características mecánicas y coste

Se determinó que el cuerpo del robot debe ser de forma cilíndrica para que el mismo tenga un movimiento ligero en el agua evitando que las fuerzas que ejerce el agua sean menores (fuerza de arrastre) y es el cuerpo en donde se encuentran todos los componentes mecánicos y eléctricos. Además cuenta con una estructura exterior que permite el alojamiento de los motores y las luces.

La cúpula es semiesférica, transparente en la parte frontal o popa para permitir la visión a través de la cámara. Este casco debe ser resistente y tener la facilidad de poder acceder al interior y a la vez tener una buena hermeticidad, impidiendo el paso del agua, y manteniendo la integridad de todos los componentes que irán en su interior. Se realizó la evaluación de diferentes materiales disponibles en el mercado y sus características principales, ventajas y desventajas, las que cumplen con las predefinidas para la estructura principal. Se presenta a continuación los materiales evaluados y el que fue elegido para el prototipo:

➤ Material fibra de carbono

La Fibra de Carbono (FC) es un material formado por fibras de 50-10 micras de diámetro, compuesto principalmente de átomos de carbono. Los átomos de carbono están unidos entre sí en cristales que son más o menos alineados en paralelo al eje longitudinal de la fibra. La alineación de cristal da a la fibra de alta resistencia en función del volumen (lo hace fuerte para su tamaño). Varios miles de fibras de carbono están trenzados para formar un hilo, que puede ser utilizado por sí mismo o tejido en una tela.

Las propiedades de las fibras de carbono, tales como una alta flexibilidad, alta resistencia, bajo peso, resistencia a la corrosión y humedad, tolerancia a altas temperaturas y baja expansión térmica, las hacen muy populares en la industria aeroespacial, ingeniería civil, aplicaciones militares, deportes de motor junto con muchos otros deportes (CarboSystem 2017).

La desventaja existente en este material es un costo relativamente alto debido a la complejidad de elaboración.

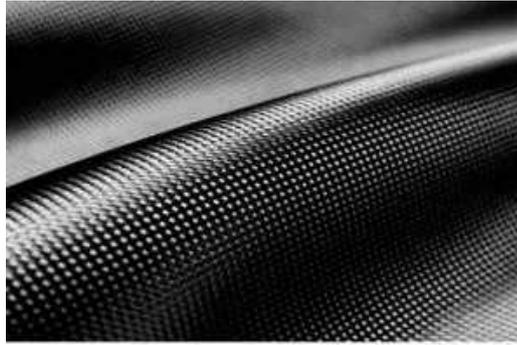


Figura 3-2: Fibra de carbono

Fuente: <http://www.fibradecarbono.es/articulos/que-es-fibra-carbono/>

➤ **Material acrílico**

Es un Termoplástico rígido excepcionalmente transparente. En su estado natural es incoloro pero se puede pigmentar para obtener una infinidad de colores. También se puede dejar sin pigmento para producir una lámina completamente transparente. Se produce material en un rango de parámetros de transmisión y difusión de luz, óptimo para diferentes usos. Es inerte a muchas sustancias corrosivas. Su resistencia a la intemperie hace que sea el material idóneo para una variedad de aplicaciones al aire libre. La ventaja de este material es la densidad y resistencia al impacto del acrílico y a la vez su costo (CarboSystem 2017).



Figura 4-2: Acrílico

Fuente: <https://polymershapes.com.mx/producto/acrilico/>

➤ **Material policloruro de vinilo**

Es uno de los polímeros más estudiados y utilizados por el hombre para su desarrollo y confort, dado que por su amplia versatilidad es utilizado en áreas tan diversas como la construcción, energía, salud, preservación de alimentos y artículos de uso diario, entre otros. El desarrollo en

tecnología y aplicaciones no ha tenido pausa llegándose en nuestros días a una producción de 25 millones de ton. Estudios realizados por el Centro de Ecología y Toxicología de la Industria Química Europea (ECETOC), señalan que la producción de PVC se realiza sin riesgos para el medio ambiente (Textos Científicos 2015).

Características:

- Resistente y liviano
- Versatilidad
- Estabilidad
- Longevidad resistente
- Económico
- Aislante eléctrico

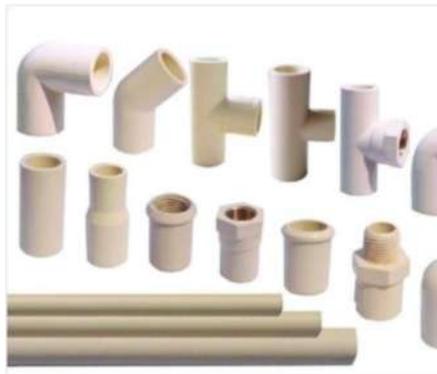


Figura 5-2: PVC

Fuente: <http://www.propproperty.com/products/HimanshuDoshiBathroomSanitaryFittingsPipes>

Para la popa se instaló una semiesfera de acrílico transparente debido a sus propiedades físicas de resistencia, no corrosivo y de bajo costo que esta se encuentra unido al cuerpo del robot que es de material PVC donde se aloja los componentes electrónicos y los accesorios serán de Poliláctido láctico (PLA) que son impresas en 3D, selladas con empaques de caucho y pernos con sus respectivas rodela para garantizar la hermeticidad.

2.2.1 Estructura principal del robot

En los siguientes cuadros se muestran las dimensiones de los elementos constitutivos del robot:

- Popa
- Cuerpo
- Proa
- Boyas

- Soporte de motores

Los elementos mencionados actúan en la aparición de las fuerzas ejercidas en el agua, por efecto de la fuerza de empuje y el arrastre que provoca el agua en el momento que el robot pasa del estado estático al estado dinámico.

- Popa (parte frontal): En la Tabla 1-2 se muestran las dimensiones y el material utilizados para la construcción de la cúpula, misma que contiene la cámara que ayuda a la inspección visual en los ejes X e Y, los movimientos mencionados son direccionados por dos servomotores controlados desde el joystick de la palanca de Play Station 2 con la finalidad de inspeccionar las paredes internas del tanque de almacenamiento de agua potable.

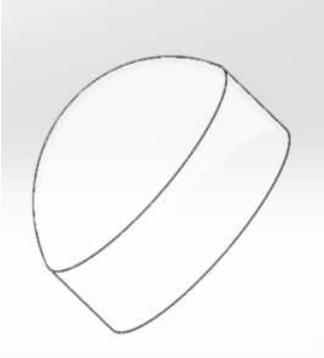
Dimensión	Sistema inglés (in)	Sistema internacional (mm)	Imagen
Diámetro interno	4.33 in	110 mm	
Diámetro externo	4.57 in	116mm	
Grosor	0.12 in	3 mm	
Largo	3.15 in	80 mm	
Volumen neto	5.28 in ³	86587.74 mm ³	
Volumen interno	34.30 in ³	562128.92mm ³	
Material	ACRILICO TRANSPARENTE		

Tabla 1-2: Dimensiones de la Cúpula

Fuente: Guamangallo J, 2018

- Cuerpo: En la Tabla 2-2 se aprecian las dimensiones y el material del cuerpo del robot prototipo para su construcción, en donde internamente se encuentran todos los componentes mecánicos (servomotores) y eléctricos (driver de motores brushless, placa de control de leds, placa de alimentación, reguladores de voltaje) y la parte exterior del cuerpo funcionó como soporte de boyas, motores y leds.

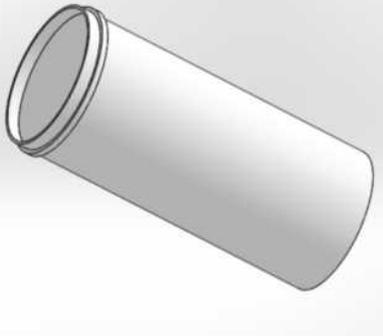
Dimensión	Sistema inglés (in)	Sistema internacional (mm)	Imagen
Diámetro interno	4.17 in	106 mm	
Diámetro externo	4.33 in	110mm	
Grosor	0.12 in	3 mm	
Largo	3.15 in	260 mm	
Volumen interno	43.02 in ³	2294430.78mm ³	
Material	POLICLORURO DE VINILO (PVC)		

Tabla 2-2: Dimensiones del Cuerpo del ROV'S

Fuente: Guamangallo J, 2018

- Proa (Parte posterior): En la Tabla 3-2 se observan las dimensiones y el material de la parte posterior del cuerpo del ROV'S, por donde pasarán los cables de control (cordón umbilical) evitando que los mismos se envuelvan en las aspas de los motores, comprometiendo negativamente el desenvolvimiento del robot prototipo.

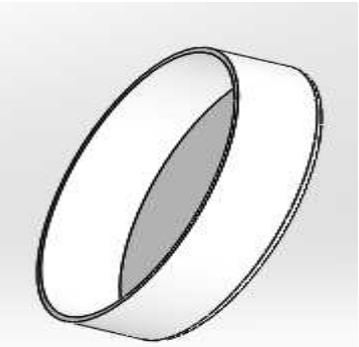
Dimensión	Sistema inglés (in)	Sistema internacional (mm)	Imagen
Diámetro interno	4.33in	110 mm	
Diámetro externo	4.49	114 mm	
Grosor	0.12 in	3 mm	
Largo	0.98 in	23 mm	
Volumen interno	14.43 in ³	2185.76 mm ³	
Material	POLICLORURO DE VINILO (PVC)		

Tabla 3-2: Dimensiones de la parte posterior

Fuente: Guamangallo J, 2018

- Boyas: En la Tabla 4-2 se aprecian las dimensiones y el material de las boyas, mismas que cumplen con la función de estabilizar los movimientos efectuados por el robot prototipo ROV's; en el interior de las boyas se añadieron pesos extras, para que cumpla con la flotabilidad requerida, los cálculos se presentan detallados en la *ecuación 12-2*.

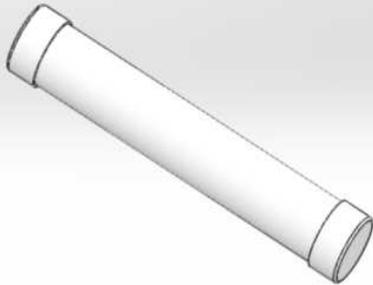
Dimensión	Sistema inglés (in)	Sistema internacional (mm)	Imagen
Diámetro interno	1.81 in	46 mm	
Diámetro externo	1.97 in	50 mm	
Grosor	0.12 in	3 mm	
Largo	11.81 in	300 mm	
Volumen interno	30.38 in ³	498570.75 mm ³	
Material	POLICLORURO DE VINILO (PVC)		

Tabla 4-2: Dimensiones de las boyas

Fuente: Guamangallo J, 2018

- Soporte de motores: En la Tabla 5-2 se muestran las dimensiones y el material del soporte de los motores, conformada por la cúpula, la base del motor y la cabina. La cúpula cumple con la función de romper la fuerza ejercida por el agua debido a su densidad; la base del motor permite sostener a los brushless los cuales fueron sujetados por pernos para evitar vibraciones que perturban al eje del motor, esta precaución fue tomada debido a las altas revoluciones de los mismos.

Finalmente la cabina es el lugar que contiene al motor, dentro de la cabina se encuentra un rodamiento o cojinete de rodadura debido a su composición la parte fija se encuentra adherida a la cabina que permitirá centrar al eje, mientras que la parte móvil está sujeta al eje del motor, permitiendo la transferencia del movimiento, evitando el ingreso del agua al brushless y disminuyendo la posibilidad de daños mecánicos (oxidación).

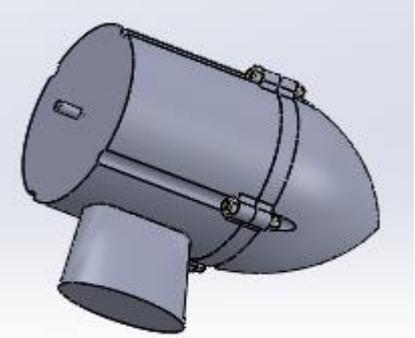
Dimensión	Sistema inglés (in)	Sistema internacional (mm)	Imagen
Diámetro interno	1.61 in	42 mm	
Diámetro externo	2.05	52 mm	
Grosor	0.2 in	5 mm	
Largo	3.50 in	89 mm	
Volumen interno	7.12 in ³	123304.37 mm ³	
Material	PLA		

Tabla 5-2: Dimensiones de la cubierta de motores

Fuente: Guamangallo J, 2018

2.2.2 Sistema de propulsión de inmersión del robot

2.2.2.1 Cálculos de la fuerza de rozamiento (coeficiente de arrastre)

Se realizó una análisis de las piezas principales del robot las que influyen para que provoquen una fuerza de arrastre, esta aparece cuando un fluido se opone al movimiento de un objeto sólido en donde el coeficiente de arrastre al ser una medida adimensional permite cuantificar la resistencia o el arrastre de un objeto para ello se utilizó la ecuación de fuerza de rozamiento.

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_D \quad \text{Ecuación 1 -2}$$

Fuente: Mecánica de fluidos. Fundamentos y Aplicaciones_Cengel_1ra

Donde:

F_D = Fuerza de arrastre

ρ = Densidad del agua.

V = Velocidad del flujo (prototipo).

A = Área frontal del cuerpo.

C_D = Coeficiente de arrastre.

Debido a que el robot tiene una forma irregular es muy complejo hallar el coeficiente de arrastre, por lo que se optó por realizar dicho estudio a las partes del prototipo que influyan en esta fuerza, esto se logró con la tabla 11-2 Coeficiente de arrastre, tomada del libro de *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones* de los autores Yunus A. Cengel y John M. Cimbala. Las tablas que proporciona este libro sólo son aplicables para números de Reynolds mayores a 10^4 por lo aplicando la **ecuación 2-2** se comprobó dicha condición. El número de Reynolds es un número adimensional que permite saber si el flujo es laminar o turbulento donde $Re < 2300$ laminar y si $Re > 4000$ es turbulento.

$$R_E = \frac{V.L}{\nu}$$

Ecuación 2 -2

Fuente: Mecánica de fluidos. Fundamentos y Aplicaciones_Cengel_1ra

Donde:

V= Velocidad del cuerpo o flujo

L= Longitud del prototipo

ν = Viscosidad cinemática

Para el robot se ha propuesto una velocidad 1m/s con una longitud total de 300 mm con una viscosidad del agua a 25°C de $\nu = 0.893 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$R_E = \frac{\left(0.1 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \left(\frac{300 \text{mm}}{1000 \text{m}}\right)}{0.893 \times 10^{-6}} = 33594.62 \quad \text{Ecuación 3 -2}$$

Aplicando la **ecuación 3-2** se comprobó que $R_E = 33594.62 > 10^4$ permitiendo el uso de la tabla 11-2 Coeficiente de arrastre, tomada del libro de *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones* de los autores Yunus A. Cengel y John M. Cimbala.

Para los cuerpos cilíndricos horizontales se utilizó la tabla de la figura 6-2 a) de la misma manera para la popa la figura 6-2 b).

L/D	Cd
0.5	1
1	0.9
2	0.9
4	0.9
8	1

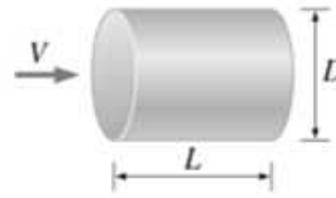


Figura 6-2: Tabla de coeficiente de arrastre

Fuente: Mecánica de fluidos. Fundamentos y Aplicaciones_Cengel_1ra

➤ Popa (parte frontal)

Se tomará la información necesaria de la Tabla 1-2 para hallar únicamente su área, ya que el coeficiente de arrastre nos especifica que su valor es de $C_D = 0.4$

Diámetro externo:	116 mm
Longitud:	80 mm

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Ecuación 4 -2

Fuente: Mecánica de fluidos. Fundamentos y Aplicaciones_Cengel_1ra

Donde:

A= área externa del elemento

D= diámetro externo del elemento

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \cdot (116m)^2}{4}$$

$$A = 10.56 \times 10^{-3} m^2$$

- Cuerpo: Se tomarán los datos de la Tabla 2-2 Dimensiones del Cuerpo del ROV'S para el cálculo respectivo. Para ello se aplicará la **ecuación 4-2**

Diámetro externo:	110 mm
Longitud:	260 mm

$$A = \frac{\pi \cdot (D-d)^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0.11)^2}{4} = 9.5 \times 10^{-3} m^2$$

Para hallar el coeficiente de arrastre es necesario calcular la relación L/D y ubicarlo en la tabla 11-2 Coeficiente de arrastre, tomada del libro de *Mecánica de fluidos fundamentales y aplicaciones* de los autores Yunus A. Cengel y John M. Cimbala.

Donde

L = Longitud del objeto del cálculo

D = Diámetro del objeto del cálculo

$$\frac{L}{D} = \frac{260mm}{110mm} = 2.35 \qquad \text{Ecuación 5 -2}$$

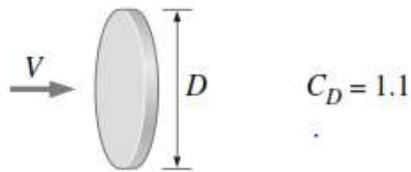
Debido a que este valor no se encuentra en la tabla 11 -2 del libro ya mencionado, se debe interpolar entre el los valores 2 y 4 L/D de la tabla mencionada ya que el valor de C_D es contante y su respuesta es 0,9.

$$C_D = 0.9$$

- Proa (parte posterior): Se tomaron los datos de la Tabla 3-2 Dimensiones de la parte posterior del ROV'S para el siguiente cálculo.

Diámetro externo:	114 mm
Longitud:	23 mm

Disco circular delgado, $A = \pi D^2/4$



$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,114\text{mm})^2}{4} = 10.2 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

Ecuación 6 -2

- Boyas: Se tomaron los datos de la Tabla 4-2 Dimensiones de las boyas, para el siguiente cálculo aplicando la **ecuación 4-2**.

Diámetro externo:	50 mm
Longitud:	300 mm

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,050\text{mm})^2}{4} = 1.96 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

Para hallar el coeficiente de arrastre es necesario calcular la relación L/D y ubicarlo en la tabla 11-2 Coeficiente de arrastre, tomada del libro de *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones* de los autores Yunus A. Cengel y John M. Cimbala. Utilizando la **ecuación 6-2** tenemos:

$$\frac{L}{D} = \frac{300\text{mm}}{50\text{mm}} = 6$$

Debido a que este valor no se encuentra en la tabla se tuvo que interpolar entre el 4 y 8 de L/D de la tabla 11 -2 del libro ya mencionado para hallar el valor de C_D .

Ecuación de la interpolación lineal:

$$Y = \left(\frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)} + y_1 \right) \quad \text{Ecuación 7 -2}$$

$$Y = \frac{(6 - 4)(1 - 0,9)}{(8 - 4)} + 0,9$$

$$Y = 0,95$$

Donde para el valor de 6 le corresponde un coeficiente de arrastre de $C_D=0,95$

- Soporte de motores: Se tomaron los datos de la Tabla 5-2 Dimensiones de la cubierta de motores, para el cálculo correspondiente aplicando la **ecuación 4-2**.

Diámetro externo:	52 mm
Longitud:	89 mm

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{\pi \cdot (0,089\text{mm})^2}{4} = 6,22 \times 10^{-3} \text{m}^2 \quad \text{Ecuación 8 -2}$$

Para hallar el coeficiente de arrastre es necesario calcular relación L/D y ubicarlo en la tabla 11-2 Coeficiente de arrastre, tomada del libro de *Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones* de los autores Yunus A. Cengel y John M. Cimbala. De la misma manera se utiliza la **ecuación 6-2**.

$$\frac{L}{D} = \frac{89\text{mm}}{52\text{mm}} = 1,7$$

Debido a que este valor no se encuentra en la tabla 11 del libro mencionado anteriormente se debe interpolar entre el 1 y 2 L/D de la tabla mencionada ya que el valor de C_D es contante, su respuesta es 0,9.

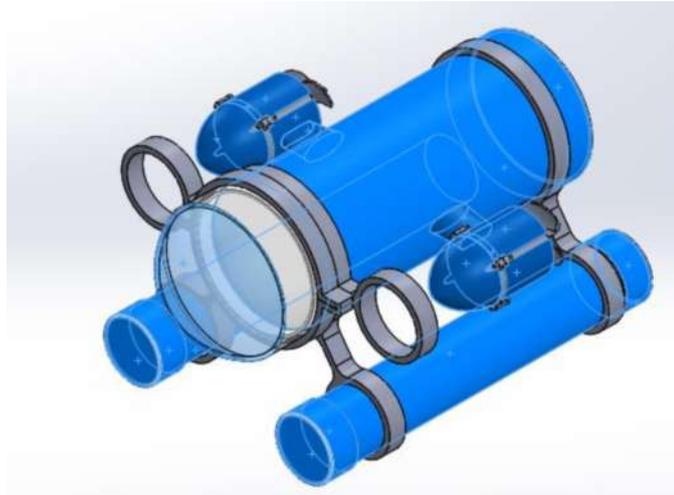


Figura 7-2: Prototipo ROV'S

Fuente: Guamangallo J. 2018

Los elementos seleccionados de color azul son aquellos que existirá mayor coeficiente de arrastre los demás elementos son despreciados. Se realizó el cálculo de la suma total de $C_{D\ total}$ y $A_{\ total}$.

$$C_{D_Total} = C_{D(cupula)} + C_{D(cuerpo)} + C_{D(tapa_posterior)} + 2.C_{D(boyas)} + 2.C_{D(soporte_motores)} \quad \text{Ecuación 9 -2}$$

$$C_{D_Total} = 0.4 + 0.9 + 1.1 + 2(0.95) + 2(0.9)$$

$$C_{D_Total} = 6.1$$

$$A_{Total} = A_{(cupula)} + A_{(cuerpo)} + A_{(tapa_posterior)} + 2.A_{(boyas)} + 2.A_{(soporte_motores)} \quad \text{Ecuación 10 -2}$$

$$A_{Total} = [10.56 + 9.6 + 10.2 + 2(1.96) + 2(6.22)] \times 10^{-3} m^2$$

$$A_{Total} = 46.72 \times 10^{-3} m^2$$

Aplicando la *ecuación 1-2*

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A_{Total} \cdot C_{D_Total} \quad F_D = \frac{1}{2} \left(1000 \frac{kg}{m^3} \right) \left(0.1 \frac{m}{s} \right)^2 (46.72 \times 10^{-3} m^2) (6.1)$$

$$F_D = 1.42N$$

Para calcular la potencia que requiere un motor para vencer la fuerza que ejerce el agua a una velocidad de 0.1 m/s se utilizó la siguiente fórmula:

$$P_{(necesario)} = 142mW \quad P_{(necesaria)} = F \cdot v \quad \text{Ecuación 11 -2}$$

$$P_{necesaria} = (1.42N) \left(0.1 \frac{m}{s} \right)$$

$$P_{necesario} = 142mW$$

2.2.2.2 Cálculo de flotabilidad

Como se ha mencionado en el capítulo anterior es necesario que el prototipo tenga una flotabilidad positiva ya que experimenta una fuerza de empuje sumergido en el fluido. El empuje viene representado por la siguiente fórmula.

$$\text{Empuje} = F_b = E = \rho \cdot g \cdot V \quad \text{Ecuación 12 -2}$$

Fuente: Mecánica de fluidos. Fundamentos y Aplicaciones_Cengel_1ra

Donde:

F_b = Fuerza de arrastre

E = empuje

ρ = densidad del agua

g = gravedad

V = volumen

Para hallar F_b es necesario conocer el volumen total, los resultados se muestran a continuación:

$$V_{Total} = V_{(cupula)} + V_{(cuerpo)} + V_{(parte_posterior)} + 2V_{boyas} + 2V_{sujetador_motores} \quad \text{Ecuación 13 -2}$$

Fuente: Mecánica de fluidos. Fundamentos y Aplicaciones_Cengel_1ra

$$V_{Total} = [562128.92 + 2294430.78 + 2185.76 + 2(498570.75) + 2(123304.37)] \text{mm}^3$$

$$V_{Total} = 4102495.7 \text{mm}^3$$

$$V_{Total} = 4.1024 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

$$F_B = \rho g V = \left(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) (4.1024 \times 10^{-3} \text{m}^3)$$

$$F_B = 40.20 \text{N}$$

Para hallar el peso del prototipo se recurrió a los valores arrojados en el software SolidWork.

$$W_{prototipo} = 1.41 \text{Kg}$$

Aplicando la fórmula

$$\sum F_y = F_B - W_{prototipo} \quad \text{Ecuación 14 -2}$$

Fuente: Mecánica de fluidos. Fundamentos y Aplicaciones_Cengel_1ra

$$\sum F_y = 40.20 \text{N} - (1.41 \text{kg}) \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)$$

$$\sum F_y = 40.20 \text{N} - 13.83 \text{N}$$

Como se puede observar F_b es mayor que $W_{rototipo}$ por lo tanto el robot tiene una flotabilidad positiva, es decir que el robot prototipo tenderá a flotar; los valores que se tiene son una aproximación a lo real, por lo cual es necesario utilizar un software que permita conocer los volúmenes de la **ecuación 13 -2** y $W_{rototipo}$ obtenido mediante el software SolidWork. Para obtener

un equilibrio en el robot con respecto al agua es necesario incluir pesos adicionales, para este caso se incluirá un 5% es decir aproximadamente 4 kg.

A continuación se muestra los valores calculados del prototipo

DATO	DESCRIPCION	VALOR
C_D total	Coficiente de arrastre del robot	6.1
A_{TOTAL}	Área interna del robot	$46.72 \times 10^{-3} m^2$
V_{TOTAL}	Volumen del robot	$4.1024 \times 10^{-3} m^3$
F_D	Fuerza de arrastre	1.42N
F_b	Fuerza de arrastre	40.20N
$W_{PROTOTIPO}$	Peso del prototipo	1.41 Kg
E	Empuje	26.36 N
$P_{necesaria}$	Potencia	142mW

2.2.2.3 Selección de los propulsores

Para la selección de los thrusters se requiere que contenga el empuje adecuado para soportar el peso del prototipo, además deben cumplir ciertas características, las cuales son:

- Bajo consumo de energía
- Buen empuje
- Bajo coste
- Fácil adquisición

Es necesario considerar que contengan un buen empuje y a la vez que tenga la capacidad de mover el peso equivalente o aproximado al robot, evitando sobredimensionar, debido que implicaría un gasto innecesario.

a. Thruster t100



Figura 8-2: thruster t100

Fuente: <https://www.bluerobotics.com/thruster/>

El propulsor T100 es un propulsor diseñado específicamente para la robótica marina. Es un propulsor de alto rendimiento con más de 2,25 kg de empuje y resistente como para su uso en grandes profundidades. Tiene gran variedad de opciones de uso y control. Es el propulsor perfecto para usar en un robot marino (NIDO ROBOTICS 2018).

Características:

- El T100 es un motor sin escobillas como los de un avión RC o un cuadricoptero, su diseño es compacto y se adapta a cualquier proyecto.
- El T100 está hecho de plástico de policarbonato moldeado por inyección de alta resistencia. El núcleo del motor está sellado con un recubrimiento de epoxy con el que lo protege. Utiliza cojinetes de alto rendimiento. Las partes que no son de plástico son de acero inoxidable y no se corroen.
- Hélice y tobera diseñadas para proporcionar un empuje eficaz y potente, mientras que el agua mantiene el motor frío. En su diseño, el agua fluye libremente a través de todas las partes del motor mientras funciona, además resiste presiones muy elevadas. (NIDO ROBOTICS 2018).

b. Motor Brushless A2212/6t 1000KV.

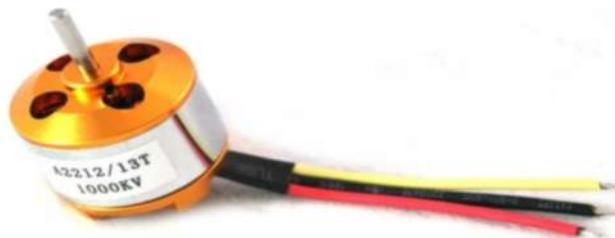


Figura 9-2: Motor Brushless

Fuente: <https://hetpro-store.com/motor-brushless-a2212-13t-1000-kv/>

El motor Brushless (sin escobillas) A2212/6T 1000KV es un motor de conmutación electrónica, a diferencia de los motores comunes que utilizan delgas o anillos rozantes para realizar el cambio de polaridad, funciona con corriente directa y es una excelente opción para prototipos de Dron y algunos otros dispositivos de radio control gracias a su eficiencia y bajo peso. (Geek Factory 2008).

Características:

- Eficiencia de corriente máxima: 4-10 A (>75%)
- Capacidad de corriente: 12 A / 60 s
- Consumo de corriente sin carga a 10 V: 0.5 A
- RPM/V: 2200 KV (2200 revoluciones por minuto por cada volt suministrado)

De los modelos antes mencionados se realizó el análisis de las características técnicas y se optó por el modelo Brushless (sin escobillas) A2212/6T 1000KV cumpliendo con las características de bajo consumo de energía, buen empuje, bajo coste y fácil adquisición, pero debido a que estos propulsores son diseñados para aeromodelismo, es necesario realizar unas ciertas adecuaciones como impermeabilizar para evitar el ingreso de agua y extender el tiempo de vida útil del mismo. Para ello se diseñó una carcasa para aislar el motor, colocando un rodamiento en el eje de la misma evitando el ingreso del agua. En la figura 10-2 se muestra la carcasa junto al motor.

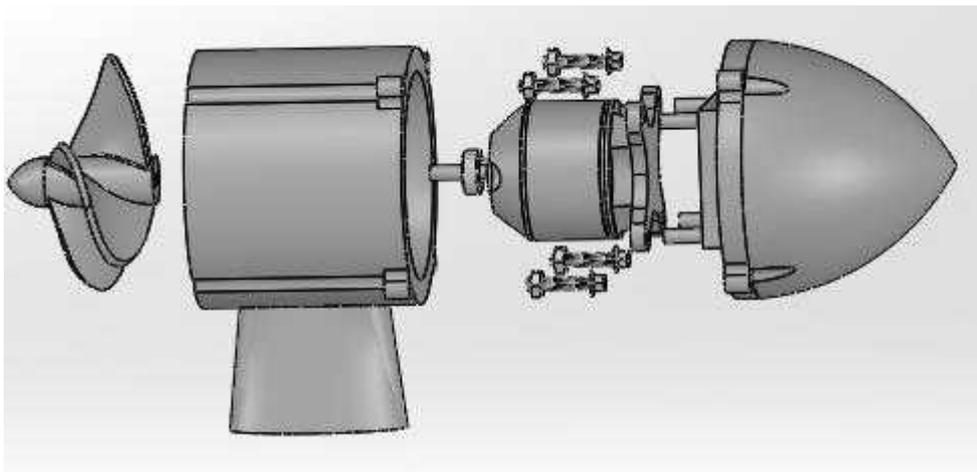


Figura 10-2: Cubierta para los Motores

Fuente: Guamangallo J. 2018

Como se puede observar en la figura 10-2 se detalla la carcasa que cubre al motor brushless con su respectivo soporte, este soporte será útil para ensamblarlo al cuerpo del robot. También se visualiza el rodamiento colocado en el eje del motor, el mismo que transmite el movimiento rotatorio del mismo.

2.3 Diseño electrónico

2.3.1 Fuente de alimentación

Para la selección de la fuente de alimentación adecuada se tomó en cuenta la suma de los elementos electrónicos que constituyen al ROV'S, considerando su consumo energético máximo.

En la Tabla 6-2 se detalla el consumo de cada elemento, el mismo que servirá para obtener la potencia total y seleccionar la fuente de alimentación adecuada.

Componentes	Consumo por unidad (A)	Unidades	Consumo (A)	Voltaje (A)	Potencia (W)
Propulsores	12	4	16	10	160
Servomotores	0,6	2	1,2	5	6
Leds	1,4	2	2,8	5	14
Arduino	0,5	1	0,5	5	2,5
Cámara	0,5	1	0,5	5	2,5
Total					185

Tabla 6-2: Consumo de potencia

Del consumo calculado a continuación se presentan las opciones de selección:

a. Baterías polímetro de litio (Li-Po)



Figura 11-2: batería Li-Po

Fuente: <http://electronicarc.com/catalogo/lipo-b6sb-8000-mah-b30cb-p-760.html>

Las baterías basadas en polímetro de litio consiguen un almacenamiento muy superior de energía. Son también muy ligeras, pesando cerca de la mitad de unas baterías de Ni-Cd equivalente. A pesar del precio elevado las ventajas de las baterías de litio las han popularizado y han hecho que se tornen equipos de serie para muchos modelos de teléfonos móviles (EcuRed 2018).

Ventajas:

- Se mantiene cargadas por un largo periodo de tiempo 5-10 min con Baterías de Ni-Cd o Baterías de Ni-MH hasta entre 20 y 30 min con Li-Po.
- Densidad de energía de entre 5 y 12 veces las de Baterías de Ni-Cd ó Baterías de Ni-MH, a igualdad de peso.
- Las baterías de Litio no sufren con el efecto de memoria.

Desventajas:

- Esta batería necesita de un cargador específico.
- Su coste es elevado.
- Requiere de una fuente extra para poder recargarla.
- Requieren un trato mucho más delicado, bajo riesgo de deteriorarlas irreversiblemente e incluso, llegar a producir su ignición o explosión.

b. Batería de celda seca



Figura 12-2: Batería seca 12 voltios

Fuente: <https://todosai.com/baterias-agm-de-12v-para-sai/60-Bateria-AGM-de-12V-y-9Ah-Leoch--GP-DJW12-9-0.html>

Las baterías de plomo/AGM (AGM es la abreviación de Absorption Glass Mat) son confeccionadas a base de fibra de vidrio absorbente, de manera que al ensamblar la batería e introducir el electrolito líquido, este es absorbido por la fibra AGM que opera como una esponja. Soportan la tensión de carga con la cuales trabajan las baterías convencionales, sin precisar de ninguna modificación al sistema de carga. (tecnocio 2016).

Como en el caso anterior de estos dos modelos se optó por la batería de celda seca, debido a que la fuente de alimentación no se ubicará en el interior del robot, esto, por el peso de la misma, además de evitar un posible cortocircuito en el caso de existir filtraciones de agua hacia el ROV'S. A la vez que alimentará a todos los circuitos electrónicos con sus respectivos reguladores de voltaje.

2.3.2 *Cordón umbilical*

El cordón umbilical es aquel que permite la comunicación entre el robot y el ordenador, por él viajará la información que enviará el arduino hacia los actuadores que son: motores, leds, cámara, servomotores, entre otros, teniendo una conexión segura al ROV'S; permitiendo que el cordón sea utilizado para recuperar en caso de un posible apagón. Considerando estas características eligió el cable de comunicación UTP categoría 5e cuatro pares, el mismo que se detalla a continuación:



Figura 13-2: Cable UTP categoría 5e

Fuente: <http://silexst.com/producto/cable-sftp-sf-utp-cat5e-interior-exterior-lszh/>

CARACTERISTICAS	DATOS
Calibre del conductor	24 awg
Tipo de aislamiento	Polietileno
Tipo de ensamble	4 pares
Tipo de cubierta	PVC propiedades retardante a la flama
Conexiones y aplicaciones IP	
Conductor de cobre solido	0.51mm
Diámetro exterior	5mm
Desempeño probado	100 Mhz
Impedancia	100 ohmios

Fuente: <http://bit.ly/2cqgvnJ>

Este cable fue seleccionado debido a su característica de protección externa y recubrimiento PVC de alta densidad de 1.5mm de diámetro; este conductor está conformado por 4 pares de 24 awg es decir de 8 hilos, permitiendo una transmisión de datos de hasta 100 Mhz. Mencionado conductor se mantendrá constantemente sumergido en el agua junto con el cable de potencia el mismo que llevará la alimentación para polarizar a los elementos electrónicos internos del ROV'S, evitando la interferencia en los datos emitidos por el cable UTP, siendo el mismo de fácil acceso y adquisición.

2.3.3 Circuito de iluminación

2.3.3.1 Placa de iluminación

En esta fase se diseñó una placa donde se ubicarán los diodos emisor de luz (leds) que son los encargados de iluminar siempre que estos se encuentren polarizados correctamente. Estas luces permitirán iluminar áreas oscuras, ayudando a una mejor visualización con la cámara hacia el

entorno de inspección. Estas luces se encuentran ubicadas en la parte lateral del robot, evitando interferencias con el lente de la cámara. Para el diseño de la placa se utilizó el software Proteus el mismo que permite realizar el diseño y simulación de circuitos electrónicos, además del diseño de circuitos impresos. Para ello se utilizó un diodo led de 1 vatios tipo chip como se muestra en la figura 14-2.



Figura 14-2: Diodo led tipo chip

Fuente: Guamangallo J. 2018

Para el diseño de la placa se utilizaron 7 diodos emisores de luz blanca de 1 watt, mismos que fueron seleccionados por contener 55 lúmenes permitiendo mayor cobertura, siendo idóneos para la iluminación de áreas oscuras y mejorando la inspección visual de los tanques reservorios de agua potable, estos diodos fueron distribuidos simétricamente en una placa de baquelita circular de 49 mm de diámetro y el desarrollo de placas PCB se realizó con la ayuda de un software.

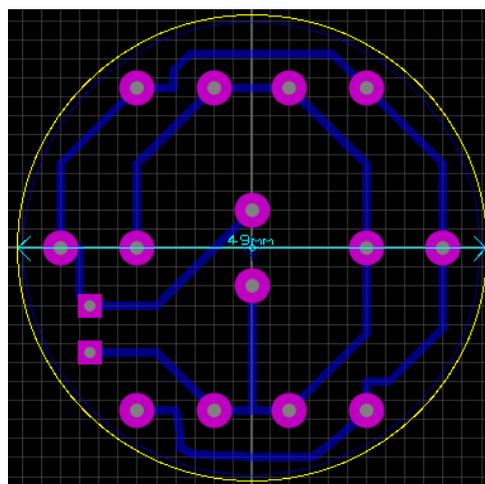


Figura 15-2: Placa pcb de leds

Fuente: Guamangallo J. 2018

Una vez realizado el diseño del PCB (Printed Circuit Board) se imprimió en papel fotocopia, el mismo que permite transferir los datos del diseño a la placa de baquelita, los cuales fueron colocados en una cámara de sellado hermético con una tapa posterior de PVC y frontal de acrílico. Finalmente se soldaron los componentes electrónicos para realizar las pruebas de encendido de los leds.

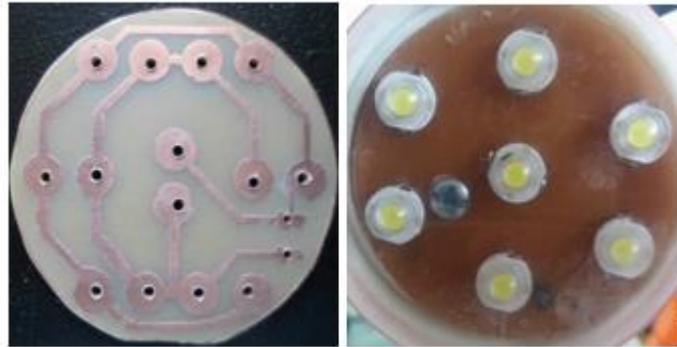


Figura 16-2: a) placa pcb b) placa de leds

Fuente: Guamangallo J. 2018

2.3.3.2 Etapa de potencia para circuito de iluminación

Es necesario aislar la etapa de control con la de potencia para evitar daños al controlador en caso de que exista una variación de corriente, por lo que en la placa de potencia se incluyó un optocoplador incorporado con un relé y sus respectivos componentes. La función de esta placa consiste en que el optocoplador recibe un pequeño pulso de corriente emitido por el controlador (arduino), polarizando en forma directa al diodo emisor de luz que se encuentra en el encapsulado, saturando el diodo transistor entre colector y emisor, permitiendo de esta manera la activación del bobinado del relé, pasando del contacto normalmente abierto (NA) al normalmente cerrado (NC), para el funcionamiento de la placa de leds.

A continuación se muestra el diseño de la placa con los componentes electrónicos y existiendo una opción que permite visualizar el diseño de la placa en 3D.

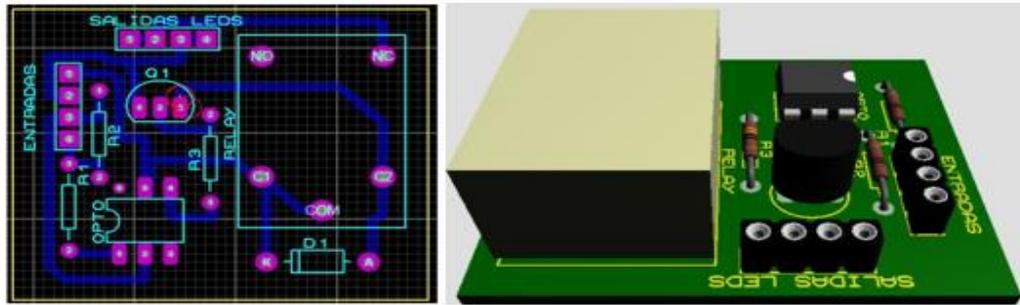


Figura 17-2: a) Placa Pcb de potencia b) Placa en 3D

Fuente: Guamangallo J. 2018

2.3.4 Sensor Visual (Cámara)

El sensor visual o cámara es un componente electrónico esencial para el robot, debido a que es el que permite visualizar el entorno del robot y a la vez al operador, por lo que se debe considerar la resolución de la cámara y que su comportamiento en sitios cerrados o herméticos contengan su mismo rendimiento y lo primordial que sean de un valor accesible y se encuentren en el mercado. Teniendo en cuenta estas características se tiene las siguientes opciones:

➤ Cámara GoPro

Básicamente, el sistema GoPro es una cámara compacta, totalmente portable y ligera, que permite capturar imágenes fijas y video en alta definición, gracias a la incorporación de una lente de gran angular, además puede ser controlada de forma remota.

Los modelos de las cámaras GoPro incluyen una cubierta protectora transparente, con una lente de cristal a prueba de golpes y resistente al agua. La cubierta posee un conjunto de botones de metal, los cuales se enlazan con los controles de la cámara y permite iniciar e interrumpir la grabación cuando el equipo es utilizado con algún accesorio de montaje (Lugarte 2014).



Figura 18-2: GoPro Hero 4

Fuente: <https://lugarte.com/que-es-una-gopro/>

➤ Cámara Action Cam

Estas cámaras contienen las características apropiadas para el robot ROV'S ya que:

- Son resistentes al agua hasta 30 m de profundidad
- Lente angular HD
- Salida HDMI
- Cámara web
- Formato de grabación de video de 4K, 2K y 720 P
- Interfaz USB
- Interfaz de fuentes alimentación 5V, 1 A
- Capacidad de la batería 900 mA/h

Para la conformación del ROV'S se seleccionó la cámara Action Cam, ya que la misma contiene sellado hermético que evita el ingreso de agua y no genera altas temperaturas, la conexión USB es la apropiada para la conexión HMI (Human Machine Interface) la cual se utilizó en la investigación. Además este tipo de cámaras es muy comercial y su precio es accesible para el usuario.



Figura 19-2: GoPro Action Cam

Fuente: Guamangallo J. 2018

2.3.5 Tarjeta de control

➤ Raspberry Pi



Figura 20-2: Raspberry Pi

Fuente: <https://www.muycomputer.com/2017/01/21/asus-tinker-board-minipc/>

El Raspberry Pi es una placa de un tamaño minúsculo (cercano al de una tarjeta de crédito). Posee un micro procesador ARM con potencia de hasta 1GHz, integrado en un chip Broadcom BCM2835. Además cuenta con 512 MB de RAM, un GPU Videocore IV, todo lo necesario para poder ejecutar programas básicos, navegar por internet y programar.

Para trabajar con un Raspberry Pi se requiere almacenamiento en este caso debe ser una tarjeta de memoria SD o microSD. Al contar con todos estos elementos, sólo debe conectarse a la corriente eléctrica. Las placas más modernas cuentan con hasta 4 puertos USB para conectar teclado y mouse, un conector HDMI con capacidad de reproducir video en 1080p y hasta una conexión Ethernet para poder tener internet vía cable.

Entre los sistemas operativos disponibles para Raspberry Pi se encuentran: Raspbian, Arch Linux, RaspBMC, Pidora u OpenELEC e incluso, se dispone de Windows 10 según la página web de Microsoft. (culturacion 2015)

➤ Arduino mega



Figura 21-2: Arduino mega 2560

Fuente: <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>

Arduino es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto (open-source) basada en hardware y software, flexibles y fáciles de usar. Está pensado para artistas, diseñadores, como hobby y para cualquiera interesado en crear objetos o entornos interactivos. Arduino puede sentir el entorno mediante la recepción de entradas desde una variedad de sensores y puede afectar a su alrededor mediante el control de luces, motores y otros artefactos. El microcontrolador de la placa se programa usando el Arduino Programming Language (basado en Wiring) y el Arduino Development Environment (basado en Processing) (Arduino.cl 2016).

Se seleccionó la placa de Arduino mega ya que no es necesario instalar un software extra para su funcionamiento, contiene 54 pines entre entradas y salidas digitales y 16 pines análogos de entrada para la construcción del ROV'S. Esta placa llevará la programación a los actuadores que se encuentra en el interior del robot permitiendo la comunicación serial con un software, ayudando a la interacción hombre - máquina.

Se aplicaron los conocimientos adquiridos durante la carrera para realizar la programación en dicha placa, considerando que el interfaz debe ser amigable al usuario, es así que se aprovecha las bondades ya mencionadas de este dispositivo con la finalidad de no sobredimensionarlo.

2.3.6 Palanca de mando

El robot submarino es manipulado desde un mando de control de Play Station 2 alámbrico, debido a que la transmisión de datos es directa además que su estructura física se acopla a las manos del operador, para que la misma tenga una sensación de comodidad. Esta palanca se conectó a la tarjeta de control (Arduino mega) en donde se realizó la programación respectiva para el funcionamiento del robot.



Figura 22-2: palanca de mando

Fuente: Guamangallo J. 2018

2.4 Programación de los dispositivos

Para interactuar con la palanca de Play Station 2 es necesario obtener la librería “PS2X_lib” misma que permitió programar en Arduino.

2.4.1 *Calibración de motores Brushless*

Es necesario calibrar a los ESC o variadores para que los mismos reconozcan los límites de capacidad de los motores brushless ya que cada uno responde a un PWM (Pulse Width Modulation) diferente, donde tanto los brushless laterales como los brushless de sumergimiento deben estar sincronizados para facilitar el desplazamiento del ROV'S; esto se logra mediante la programación realizada en Arduino en donde el valor inicial será 0 cuando el motor se encuentra en reposo y 180 cuando el motor se encuentra a su máxima capacidad.



Figura 23-2 *motores Brushless*

Fuente: Guamangallo J. 2018

2.4.2 Calibración de servomotores

Los motores se calibraron de tal manera que realicen movimientos tanto en el eje de las X como en el eje de las Y es decir desplazamiento horizontal y vertical, estos movimientos fueron de acuerdo al diámetro ($\phi = 4$ in) de la cabina de acrílico transparente del prototipo submarino, los servomotores son controlados mediante el joystick izquierdo de la palanca del Play Station 2, los mismos que tienen como objetivo dar el direccionamiento a la cámara Action Cam que se encuentra en el interior del ROV'S para la inspección visual de los tanques reservorios de agua potable.



Figura 24-2 Servomotores

Fuente: Guamangallo J. 2018

2.4.3 Programación del HMI (Human Machine Interface)

Para la programación del HMI se consideró la interfaz del usuario como instrumento de fácil comprensión para el direccionamiento del ROV'S y los bloques de programación para el ingreso de datos que relacionan al ordenador con el robot prototipo, mismas que se describen a continuación:

2.4.3.1 Interfaz del usuario

Se debe considerar que la interfaz del usuario debe ser sencilla y a la vez contar con información necesaria para la comprensión de usuario. Esta interfaz diseñada refleja aspectos como:

- El lugar de almacenamiento de la carpeta que contiene las imágenes y videos de la inspección visual realizada a los tanques, dicha carpeta puede ser creada y/o seleccionada por el usuario para su posterior registro.
- Presenta avisos visuales que denotan la captura de las imágenes y videos mediante luces piloto así como el aviso del encendido de las luces led que iluminan la trayectoria del robot como se muestra en la figura 25-2.

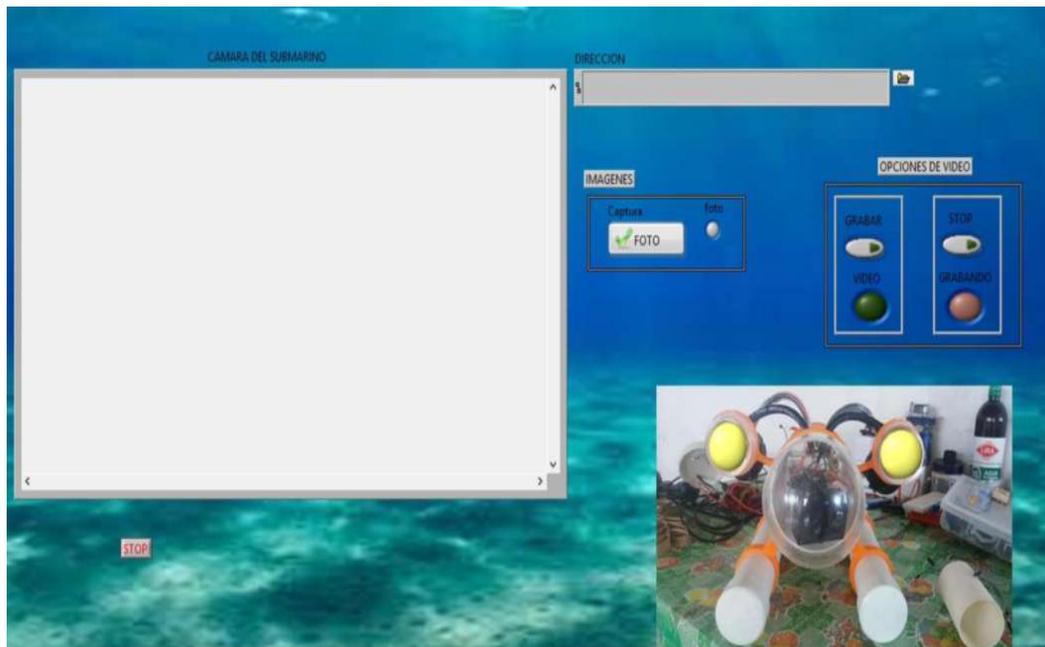


Figura 25-2 Interfaz del usuario

Fuente: Guamangallo J. 2018

2.4.3.2 Bloques de programación

Se realizó una lectura serial entre el Arduino y el ordenador mediante el bloque de VISA que proporciona LabView, la misma que permite el ingreso de los datos que se enviarán hacia el puerto serial del Arduino para cumplir con su respectiva tarea.

Para lo cual es necesario configurar el puerto del Arduino así como la velocidad a la que se enviará dicha información.

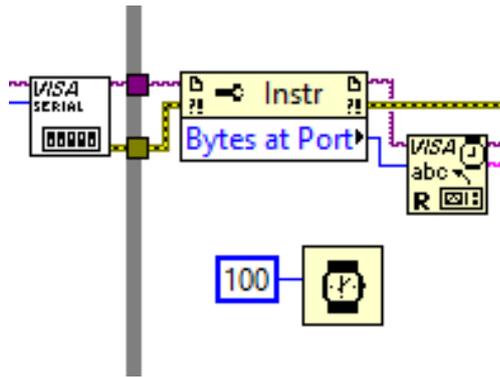


Figura 26-2 Bloque de VISA

Fuente: Guamangallo J. 2018

Para la creación de la carpeta en la que se guardarán las imágenes y videos se utilizó el bloque File Dialog del software LabView, el mismo que muestra un cuadro de diálogo con el que puede especificar la ruta a un archivo o directorio, es así que permite vincular la cámara con el ordenador ayudando a almacenar la captura con la etiqueta de fecha y hora en orden ascendente.

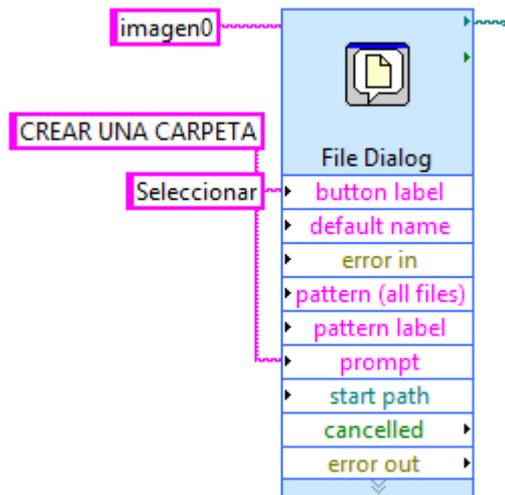


Figura 27-2 Bloque file Dialog

Fuente: Guamangallo J. 2018

Para la captura de la imagen es necesario el conjunto de bloques que realiza una tarea determinada con la finalidad de cumplirla puntualmente. Para llevar a cabo el ciclo de captura de imagen se deben abrir los puertos y una vez cumplida la tarea es necesario cerrar los mismos como se muestra en la figura 28-2.

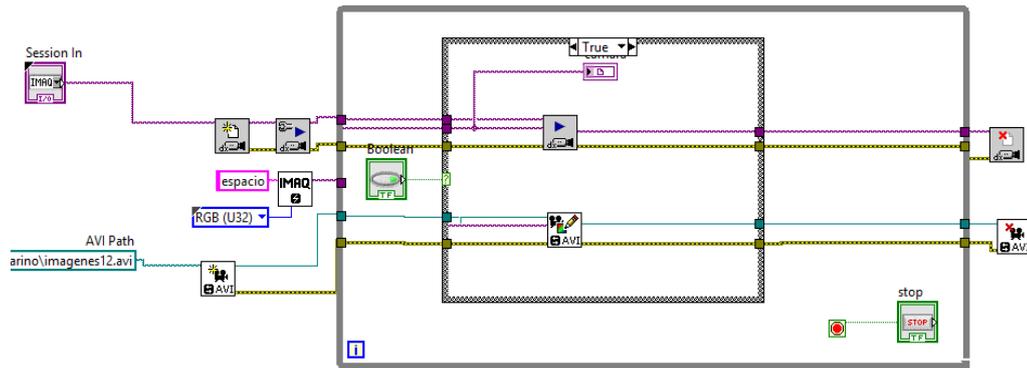


Figura 28-2 Captura y visualización de imagen

Fuente: Guamangallo J. 2018

2.5 Pruebas mediante simulación

Para el diseño de este prototipo submarino fue necesario utilizar software asistidos por computadora (CAD) para observar el comportamiento que tiene el fluido sobre el cuerpo. Este análisis se lo realizó a las partes que mantienen contacto directo con el fluido, el mismo que pretende tomar parámetros fundamentales como son la presión y la velocidad, para este caso se considera un cálculo básico debido a la complejidad que resulta el diseño de la carcasa que representa un diseño único del armazón del ROV'S.

2.5.1 Simulación de presión en el robot prototipo

Con la ayuda del software se procedió a realizar el modelado del robot prototipo a escala 1:1, adicional a ello se realizó una caja de prueba con las dimensiones (L x h x a) 1.8m x 1.70m x 3m, en donde se inyectó una velocidad al fluido de 0,1 m/s, la misma que es adecuada para el trabajo que va a realizar el robot, cabe resaltar que al agua se le inyectó flujo laminar y turbulento y con esta velocidad se verificó la presión que soporta el robot en el tanque, en la figura 29-2 se puede observar que hubo un impacto leve en las partes frontales del robot como son la cúpula y las boyas, según la escala de presión de la simulación se encuentra en un rango intermedio (verde-amarillo) se observa que estos dos componentes debido a su forma semiesférica disminuyen el impacto hacia los demás elementos del robot, comprobando que el diseño propuesto fue el adecuado.

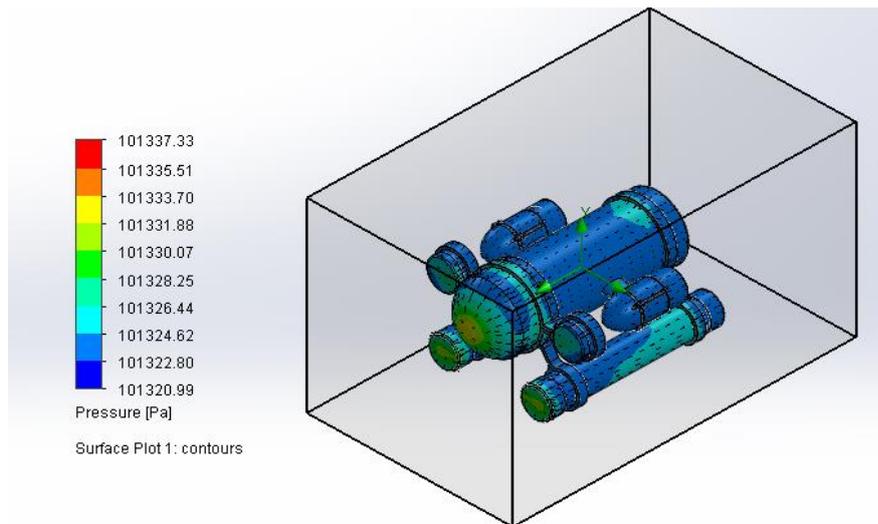


Figura 29-2 Presión en el robot prototipo

Fuente: Guamangallo J. 2018

2.5.2 *Velocidad en el robot prototipo*

Este parámetro ayudará a la determinación de estabilidad del ROV'S, para este estudio se utiliza la caja de prueba de simulación de presión, en la figura 30-2 se observa que el color azul representa la velocidad mínima (0 m/s) y el color rojo la velocidad máxima (0.1m/s) la misma que se utilizó para el cálculo de flotabilidad; el fluido después de chocar con la cabina empieza a tomar la forma del prototipo indicando que la turbulencia es despreciable, de esta manera se demuestra que el material utilizado para el desarrollo del prototipo cumple con los requisitos esperados.

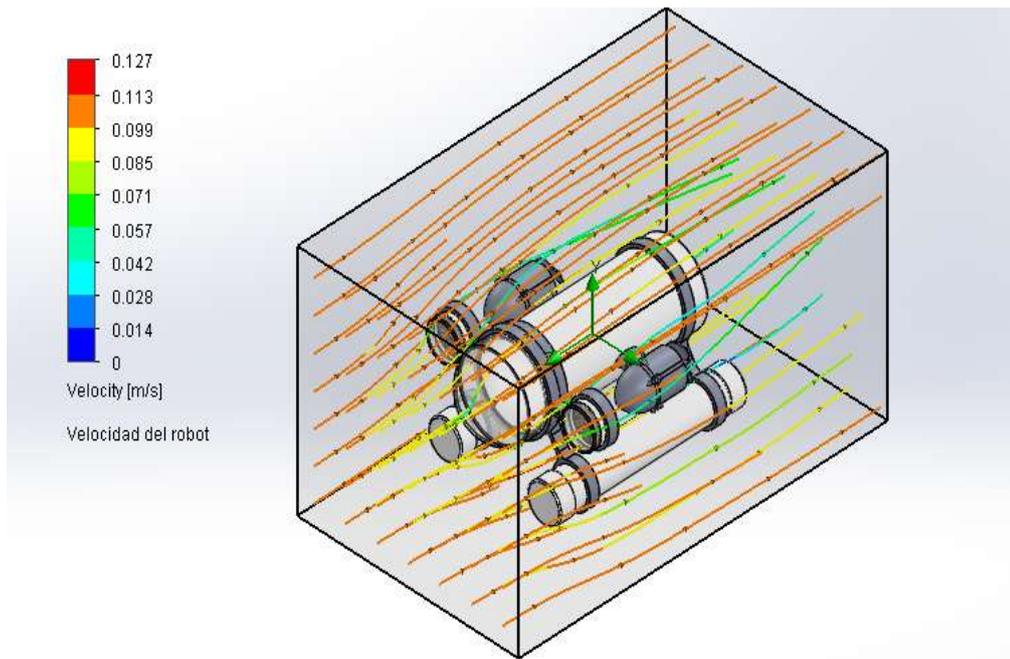


Figura 30-2 Velocidad en el robot prototipo

Fuente: Guamangallo J. 2018

2.5.3 *Velocidad que actúa sobre el motor en el robot prototipo*

Este parámetro permitirá visualizar el comportamiento de los esfuerzos que actúan sobre las aspas en los motores, para realizar esta simulación se requirió el modelado de un cilindro de prueba que cubra el aspa del motor, a la misma se inyectó una velocidad de 500 rpm considerando el 50% de capacidad del actuador, para conocer como es el comportamiento en el agua. El modelado de las aspas fue seleccionado de un motor sumergible, con las mismas características y se adaptaron al modelo del motor brushless A2212/6t 100KV.

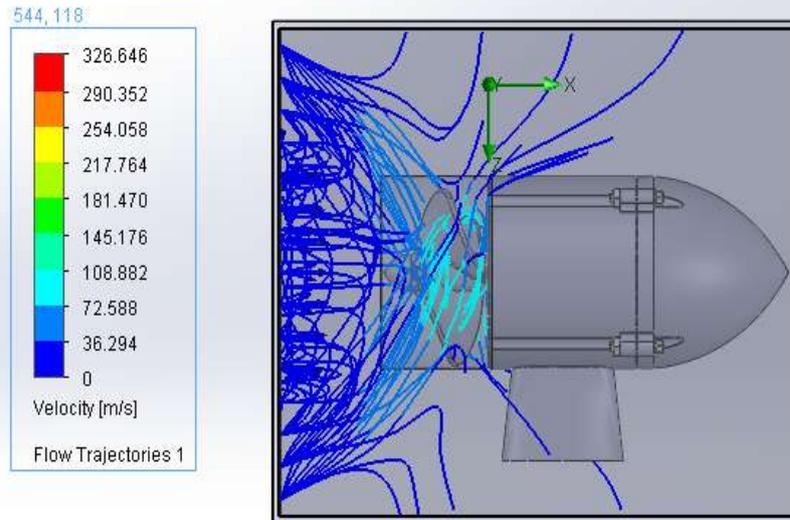


Figura 31-2 Simulación de turbulencia en turbina

Fuente: Guamangallo J. 2018

De la simulación realizada podemos observar que la velocidad ejercida sobre esta no es representativa, es decir que no genera mayor esfuerzo a las aspas y por ende a los motores, por lo tanto la probabilidad de que exista una falla mecánica en estos es mínima, demostrando de esta manera que la adaptación realizada no afecta el funcionamiento de ROV'S.

CAPÍTULO III

3. MARCO DE RESULTADOS

Se realizaron las pruebas del prototipo submarino ROV'S en el tanque de almacenamiento de la Junta de agua potable regional Chan ubicado en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia Eloy Alfaro.



Figura 3- 1 Junta de agua potable regional Chan

Fuente: Guamangallo J. 2018

El sistema de agua potable de este sector está conformado por los tanques de captación, tratamiento, almacenamiento y de distribución; el agua de este sistema proviene de vertientes ubicadas a orillas del río Isinche. Es por esta razón que el tanque de almacenamiento se encuentra a escasos metros de este río y cuenta con las siguientes dimensiones 10 x 5,5 x 5 metros (l x a x h) respectivamente.

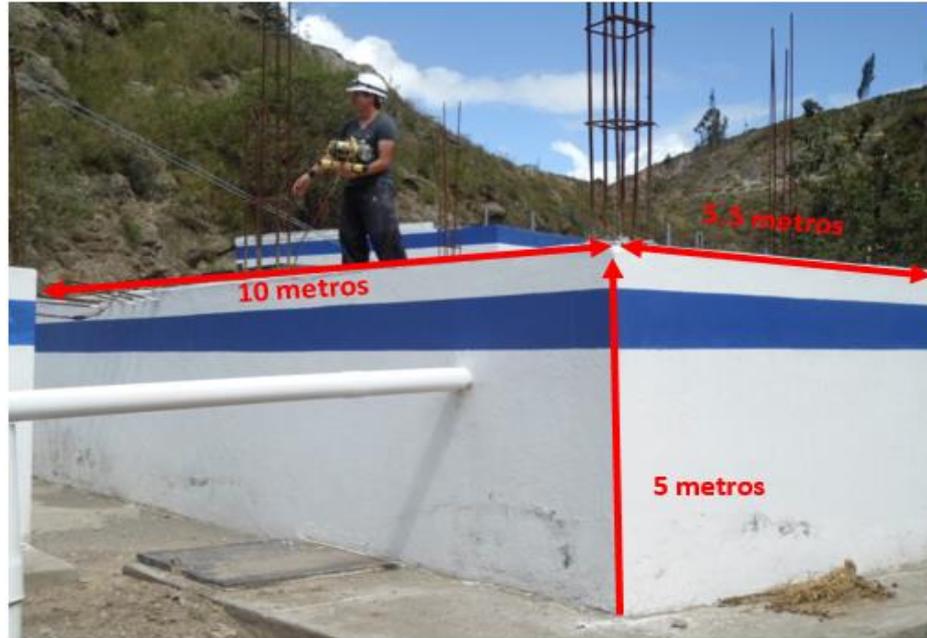


Figura 3- 2Tanque de almacenamiento de agua potable

Fuente: Guamangallo J. 2018

Debido a normas de seguridad y saneamiento establecidas en el área del tanque de almacenamiento, se dispone el ingreso para la ejecución de las pruebas respectivas en el tiempo dispuesto por el presidente de la Junta regional de agua potable Chan a sus instalaciones.



Figura 3- 3 Sumergimiento del robot en tanque de almacenamiento

Fuente: Guamangallo J. 2018

En la figura 3-2 se puede observar el sumergimiento del robot para la inspección visual en el tanque de almacenamiento de agua potable, con la finalidad de conocer el comportamiento del mismo al sumergirlo a diferentes alturas.

3.1 Imágenes capturadas en intervalos de 1 a 4 metros de profundidad.

Con el objetivo de conocer el comportamiento de la cámara del robot se realizaron capturas de las paredes internas del tanque de almacenamiento de agua potable a distintas alturas de 1,2, 3 y 4 metros con la finalidad de observar que, la calidad de imagen y luz del robot sean suficientes para la inspección visual.

Para identificar la profundidad a la que se encuentra el robot, se colocaron marcas en el cordón umbilical del ROV'S con una separación de un metro cada una.

Captura de imagen a 1m de profundidad

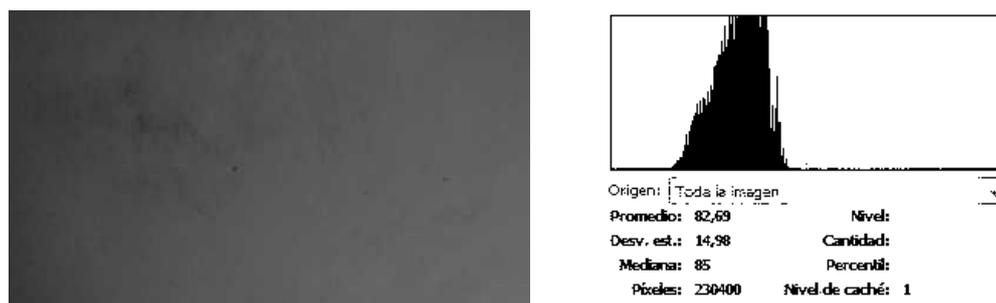


Figura 3- 4 Pared interna a 1m de profundidad

Fuente: Guamangallo J. 2018

Como se puede observar en la figura 3-4 la captura de imagen de la pared del tanque de reservorio con su respectivo histograma de fotografía permitió visualizar detalladamente las texturas y anomalías presentes, así como la luz no interfirió en la captura de video e imagen.

En el histograma describe a lado derecho los pixeles claros y al lado izquierdo pixeles oscuros, la cual permite ver la luminosidad de la fotografía.

Captura de imagen a 2m de profundidad

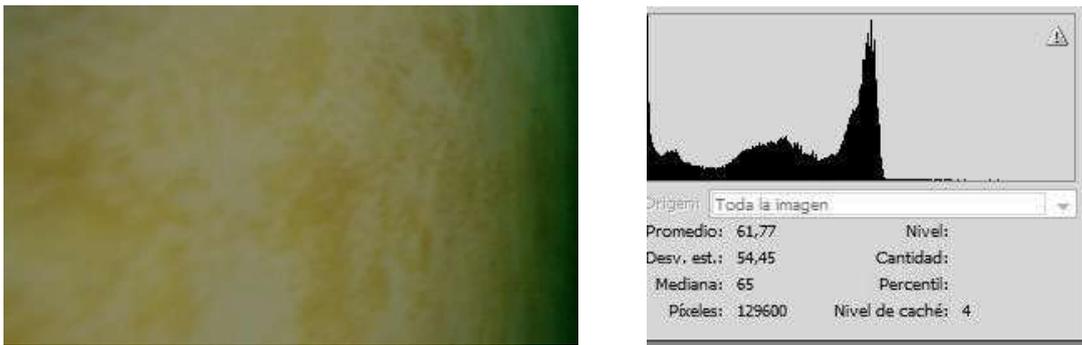


Figura 3- 5 Pared interna a 2m de profundidad

Fuente: Guamangallo J. 2018

A esta profundidad la eficiencia de la cámara permanece constante, de igual manera la luz del robot, permitió visualizar el estado en el que se encuentra la pared tal como se muestra en la figura 3-5.

A lado derecho de la figura 3-5 se visualiza el histograma denotando que existe más píxeles claros que oscuros.

Captura de imagen a 3m de profundidad.

Se realizaron las capturas de imagen y video, observando una disminución de luz proporcionada por el robot, sin embargo esta no afectó a la eficiencia de la cámara como se muestra en la figura 3-6, donde permitió visualizar que existe anomalías en la pared del tanque; de la misma manera el histograma denota un gran cantidad de píxeles claros y una disminución de píxeles oscuros dando como conclusión que la calidad de la imagen a esta profundidad es clara.

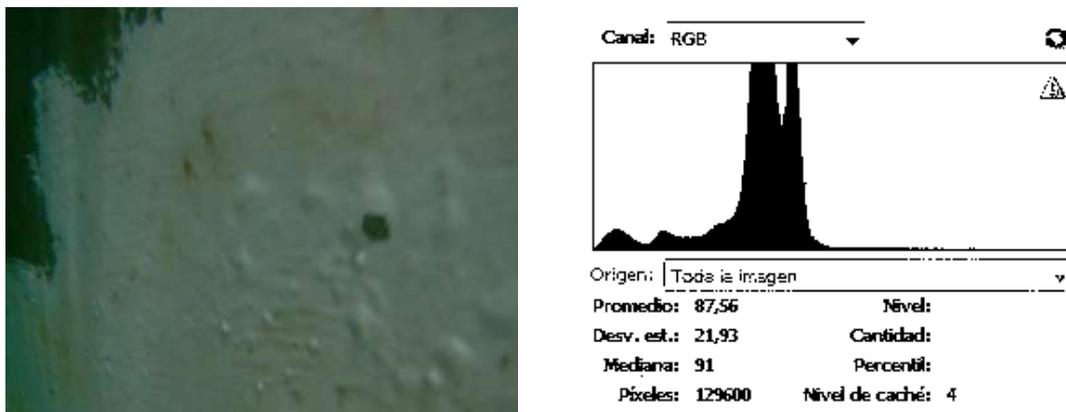


Figura 3- 6 Pared interna a tres metros de profundidad

Fuente: Guamangallo J. 2018

Captura de imagen a 4m de profundidad

A esta profundidad se efectuó una captura de imagen y video; se puede observar en la figura 3-7 que existe una disminución de luz brindada por el robot submarino, manteniendo la calidad de captura de la proporcionada por el prototipo cámara como lo demuestra el histograma fotográfico.

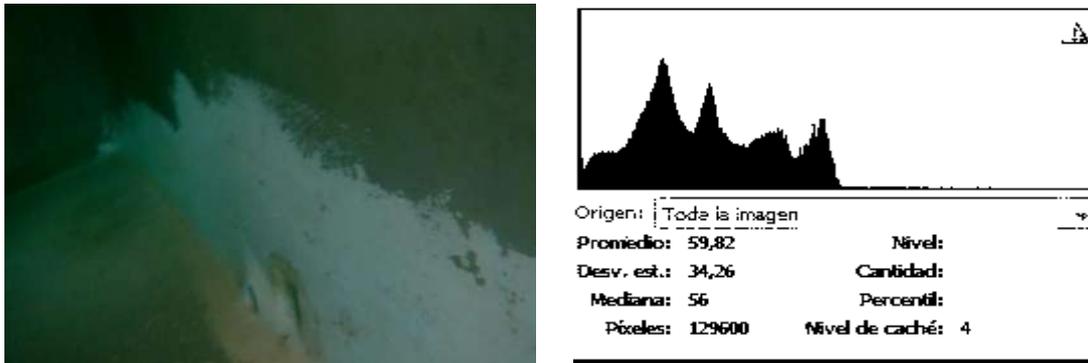


Figura 3- 7 Pared interna a 4m de profundidad

Fuente: Guamangallo J. 2018

Como se puede observar la eficiencia de la cámara del robot submarino es la adecuada para realizar este tipo de inspecciones, debido a que, el artefacto soporta hasta 30 metros de profundidad con una calidad de imagen 4k (4000 pixeles de resolución) debido a que esta es una de las características principales de las cámaras sumergibles, sin embargo la luz que brindó el prototipo tuvo una disminución progresiva ralentizada en la toma de imágenes para la inspección del tanque de almacenamiento de agua potable.

3.2 Comportamiento de la cabina según su forma (cilíndrica y cuadrada).

La cabina del submarino tiene gran influencia en el diseño hidrodinámico del prototipo, ya que es la encargada de disminuir la fuerza de arrastre ejercida en el fluido (agua dulce) con el cuerpo sumergido (ROV's); para ello se demostrará que, según la forma de la cabina existe una variación de la fuerza de arrastre como se indica a continuación.

- Cabina cilíndrica.- En la figura 3-8 se observa que, existe mayor turbulencia con respecto a la cabina en forma de cúpula; la fuerza arrastre es mayor, por ende los motores de avance frontal requerirá incrementar la potencia.

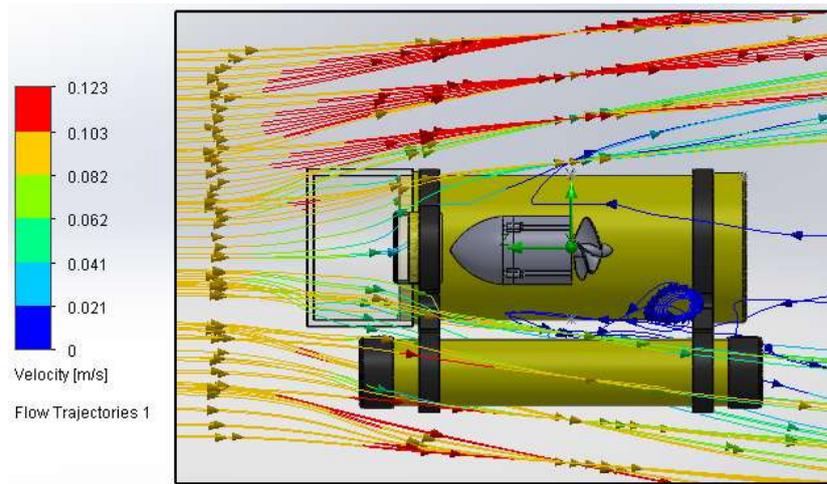


Figura 3- 8 Simulación de velocidad con cabina cilíndrica

Fuente: Guamangallo J. 2018

Adicional al análisis de velocidad del prototipo se realiza el estudio de presión tal como se muestra en la figura 3-9, en la que se puede apreciar la existencia de mayor área de presión en la parte frontal de la cabina.

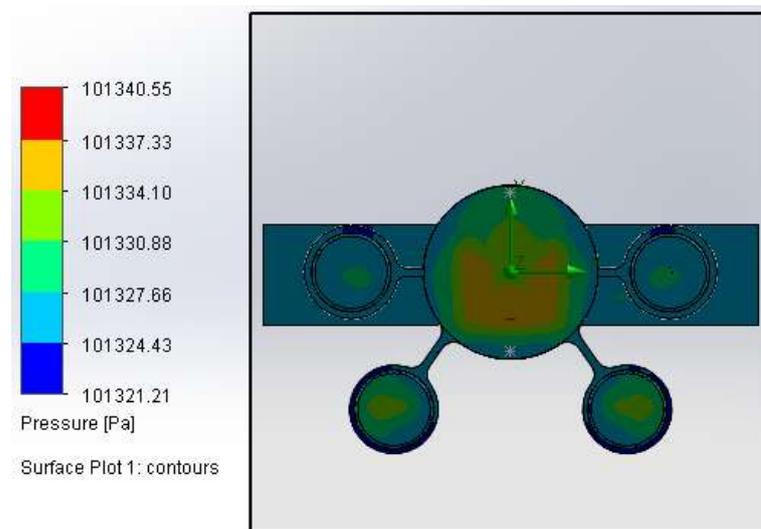


Figura 3- 9 Simulación de presión con cabina cilíndrica

Fuente: Guamangallo J. 2018

- Cabina cuadrada.- En la figura 3-10 se muestra la simulación del comportamiento del robot sumergido a una velocidad constante de 0.1 m/s en agua dulce con un fluido laminar, donde se observa que, al colocar un cabina cuadrada existe mayor movimiento del fluido en la parte superior de la misma, produciéndose una probabilidad de inestabilidad al prototipo robot submarino.

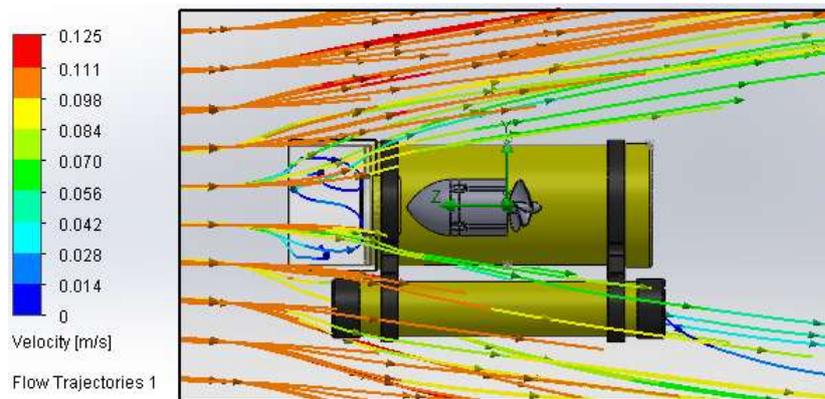


Figura 3- 10 Simulación de velocidad con cabina cúbica

Fuente: Guamangallo J. 2018

En el análisis de presión del robot se observa que, el color amarillo -anaranjado cubre gran área en la parte frontal de la cabina, por ende requerirá mayor torque de los motores de avance, por lo tanto se requerirá mayor consumo de batería.

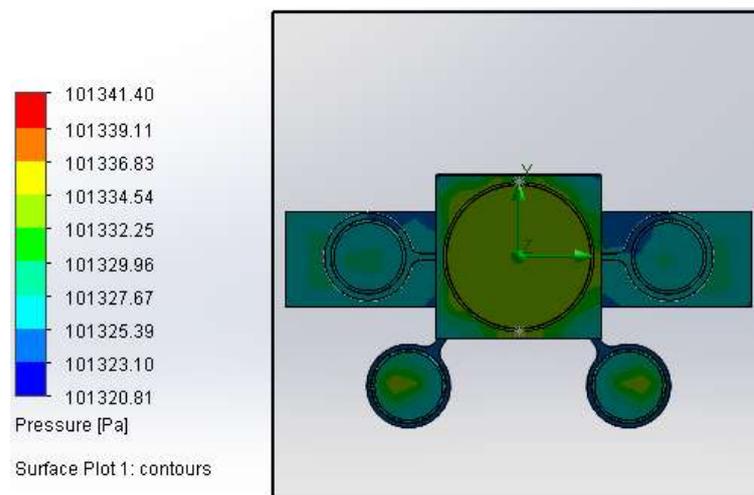


Figura 3- 11 Simulación de presión con cabina cuadrada *requerirá mayor potencia*

Fuente: Guamangallo J. 2018

3.3 Comportamiento de los motores durante el sumergimiento

Este análisis se realizó a los motores que se encuentra en la parte inferior del robot, ya que son los encargados de sumergir al robot; teniendo en cuenta que en los motores de avance, la fuerza

que ejerce el agua hacia a los mismos es mínima, esto, debido a que existe una presión ejercida sobre estos.

Para este estudio se analizó el comportamiento de los motores en el exterior con la ayuda de un sensor de corriente en la fuente principal, de esta manera se obtuvo el consumo de corriente del brushless en un rango de 0° a 180°, mediante el incremento de 1 grado por cada pulso del botón de mando. La gráfica 3-1 muestra una forma lineal, ya que el driver seleccionado se encuentra condicionado de esta manera para obtener un consumo de corriente uniforme.

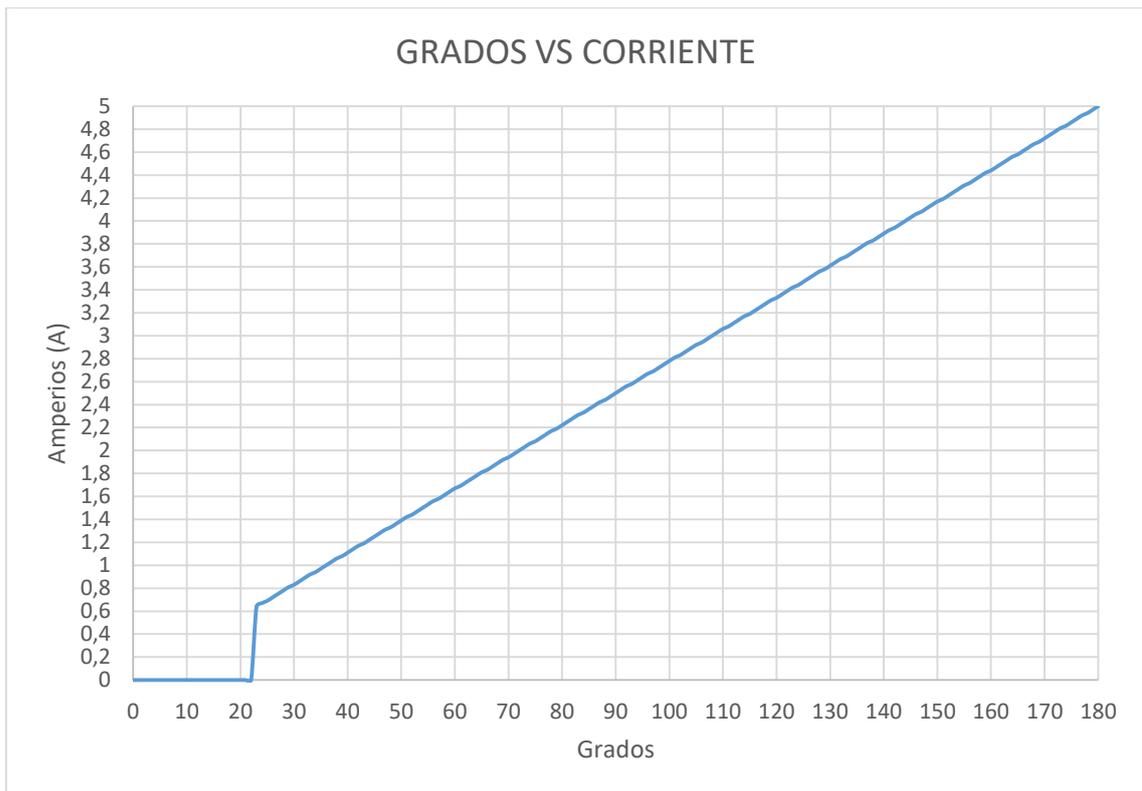


Gráfico 3- 1 Consumo de Corriente de los motores Brushless en el exterior

Fuente: Guamangallo J. 2018

En la gráfica 3-2 se muestra el consumo de corriente de ambos motores obtenidos al momento de sumergir el robot en el tanque de almacenamiento, donde se observa, que a mayor profundidad los motores brushless pierden velocidad provocando la oscilación del robot submarino.

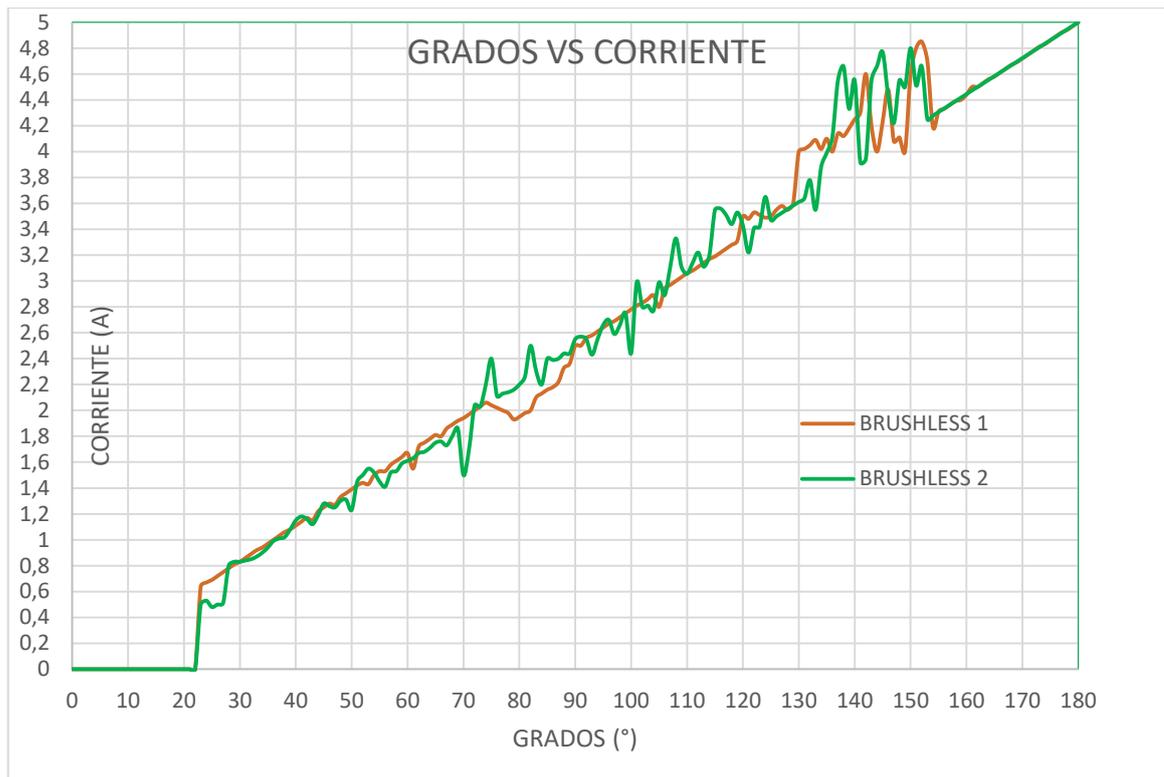


Gráfico 3- 2 Consumo de Corriente de los motores Brushless al sumergirlo

Fuente: Guamangallo J. 2018

El mismo análisis efectuado a los motores inferiores se realizó para los de avance, con la finalidad de verificar el desempeño de los mismos; comprobando que la presión ejercida hacia estos no es significativa, dando como resultado una gráfica aproximada a la linealidad, tal como se muestra a continuación:

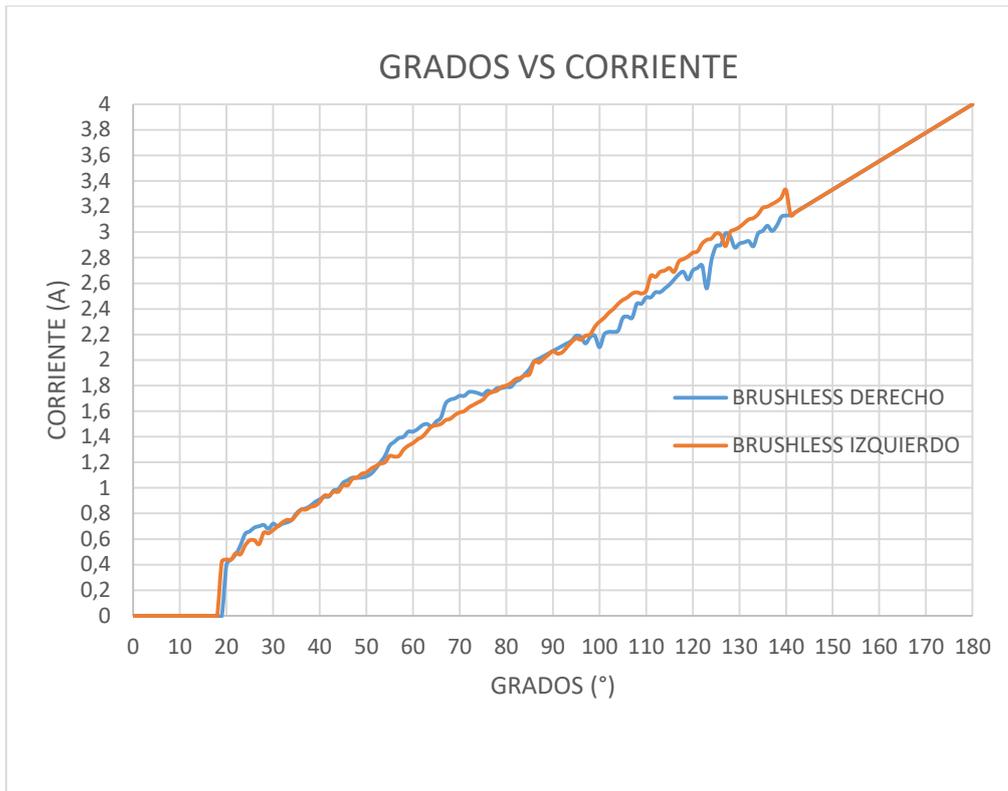


Gráfico 3- 3 Consumo de corriente a los motores brushless de avance al sumergirlo

Fuente: *Guamangallo J. 2018*

CONCLUSIONES

- Se seleccionaron los materiales adecuados para la conformación del robot, tomando en cuenta la profundidad en la que se sumergirá dicho submarino, es así que se evitó el sobre dimensionamiento del material y la maleabilidad de la misma; así como el comportamiento del material al encontrarse en contacto permanente con el agua . El material que cumple con las características antes mencionadas fue el PVC (Policloruro de vinilo) siendo este de fácil acceso en el mercado, conjuntamente con el material PLA (ácido poli láctico) que fue modelado en una impresora 3D para los accesorios del prototipo y finalmente el acrílico transparente siendo este un material resistente a golpes.
- Los sistemas mecánicos existentes en el robot prototipo submarino fueron técnicamente seleccionados para el diseño del proyecto, esto se logró mediante el pre-diseño en un software que permite el modelado y la simulación en 3D, facilitando la selección de los componentes que conformaron la estructura del prototipo además se consideró que los elementos sean ligeros y accesibles.
- La interfaz que se diseñó es amigable para el operador, la misma está conformada por colores que permitan interactuar con facilidad al usuario, teniendo en cuenta estas exigencias se realizó una interfaz HMI (Human Machine Interface) que contiene la información necesaria para la correcta manipulación, la misma que contiene indicadores (luces pilotos) y accionadores (botones de acción).
- De las pruebas realizadas, la primera observación fue la flotabilidad del prototipo concluyendo que es indispensable añadir pesos extras en el interior de los flotadores, para obtener una flotabilidad negativa no debe sobrepasar el peso que levanta el motor brushless, si esto sucede el propulsor no logrará salir a flote (sumergir, emerger y avanzar), adicional se realizaron perforaciones en los flotadores para eliminar el exceso de aire, de esta manera se redujo la flotabilidad positiva. En cuanto a los servomotores de la cámara del robot se usaron dos tipos, microservo y servomotor de los cuales se seleccionaron aquellos que contengan engranajes metálicos (alto torque), ya que el microservo por tener engranajes plásticos no cumplió con la capacidad para el direccionamiento de la cámara.

RECOMENDACIONES:

- Verificar que las abrazaderas se encuentren ajustadas para evitar el ingreso de agua hacia el interior del robot.
- Se recomienda incorporar un sonar al robot con la finalidad de evitar choques frontales entre la cabina y las paredes del tanque de almacenamiento de agua potable durante la inspección visual.
- Si se desea aumentar la capacidad de profundidad es necesario reforzar toda el área externa del robot considerando el peso de la misma debido a que, a mayor profundidad mayor presión.
- Se recomienda colocar un sensor giroscópico si se desea sumergirle en aguas abiertas o en aguas turbulentas para obtener mayor estabilidad.
- Si el robot trabajara en lugares que sobrepase los 30 metros de largo es necesario colocar extensiones y repetidoras en el cordón umbilical.

BIBLIOGRAFIA

ARDUINO.CL, *¿Qué es Arduino?* [en línea]. 2016 [Consulta: 15 febrero 2018]. Disponible en: <http://arduino.cl/que-es-arduino/>.

AROCHA, Cesar. E. et al. "*Control teleoperado del robot submarino de estructura paralela remo*". [en línea], 2013. [Consulta: 3 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.aurova.ua.es/previo/ja2005/comu/3521-Arquitectura de Control del Robot Submarino REMO.pdf>.

CARBOSYSTEM, "*Fibra de carbono: Información, estructura y propiedades*" | CarboSystem. [en línea]. 2017. [Consulta: 11 febrero 2018]. Disponible en: <http://carbosystem.com/fibra-de-carbono-2/>.

CCM, "*Transmisión de datos - Cableado*". [en línea]. 2017. [Consulta: 14 febrero 2018]. Disponible en: <http://es.ccm.net/contents/685-transmision-de-datos-cableado>.

CREUS SOLE, A. *NEUMATICA E HIDRAULICA* [en línea]. 2011. [Consulta: 16 enero 2018]. ISBN 9788426718617. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=V_RjOrxMEw4C&oi=fnd&pg=PT14&dq=actuador+hidráulico&ots=LGK4zmn0ST&sig=EC60OvMOBTbnIH0G6zAQjQBuTNM#v=onepage&q=actuador hidráulico&f=false.

CULTURACION,. *Raspberry Pi: Qué es, características y precios* - Culturación. [en línea]. 2015. [Consulta: 4 marzo 2018]. Disponible en: <http://culturacion.com/raspberry-pi-que-es-caracteristicas-y-precios/>.

ESTRADA Diego.. *TECNOLOGIA: actuadores neumaticos*. [en línea]. 2011 [Consulta: 16 enero 2018]. Disponible en: <http://enriquezdiego.blogspot.com/2011/12/actuadores-neumaticos.html>.

DUPLAA L.., *ACTUADORES*. [en línea]. 2014 [Consulta: 16 enero 2018]. Disponible en: <http://actuadores-ttp.blogspot.com/>.

ECURED.,. *Baterías de Li-Po - EcuRed*. [en línea]. 2018 [Consulta: 14 febrero 2018]. Disponible

en: https://www.ecured.cu/Baterías_de_Li-Po.

EMAPAD-EP,. *Reservorios de agua*. [en línea]. 2016 [Consulta: 19 enero 2018]. Disponible en: <http://www.emapad.gob.ec/home/9-ultimas-noticias/121-reservorios-de-agua>.

FREITES ADRIANA,. *NÚMERO DE REYNOLDS "FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO "; Fenómeno de Transporte*. [en línea]. 2011 .[Consulta: 15 enero 2018]. Disponible en: <http://numerodereynoldsfreites.blogspot.com/p/blog-page.html>.

GEEK FACTORY. *Motor Brushless (sin escobillas) A2212/6T 2200KV - Geek Factory*. [en línea]. 2008. [Consulta: 13 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tienda/motores-y-controladores/motor-brushless-sin-escobillas-a22126t/>.

LUGARTE. *¿Qué es una GoPro?* [en línea]. 2014 [Consulta: 15 febrero 2018]. Disponible en: <https://lugarte.com/que-es-una-gopro/>.

MAMOLEJO, R.. *Microcontrolador - qué es y para que sirve - HETPRO/TUTORIALES*. [en línea]. 2017 [Consulta: 19 enero 2018]. Disponible en: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/microcontrolador/>.

MILENA C. & CARDENAS F. *PROTOTIPO DE ROBOT SUBMARINO CON LA CAPACIDAD DE SEGUIMIENTO DE TRAYECTORIAS, MEDIANTE TRATAMIENTO DE IMÁGENES*. [en línea], 2014, [Consulta: 10 enero 2018]. Disponible en: <http://repositorio.pedagogica.edu.co/xmlui/bitstream/handle/123456789/530/TE-17007.pdf?sequence=1>.

MORENO H.,. *Modelado , Control y Diseño de Robots Submarinos de Estructura Paralela con Impulsores Vectorizados. Departamento de Automática, Ingeniería electrónica e informática Industrial* [en línea], 2013 [Consulta: 10 enero 2018]. Disponible en: http://oa.upm.es/16634/1/04_HECTOR_ALONSO_MORENO_AVALOS.pdf.

NIDO ROBOTICS. *T100 Thuster - Nido Robotics*. [en línea]. 2018 [Consulta: 13 febrero 2018].

Disponible en: <https://nido.ai/es/shop/sin categorizar/t100-thuster>.

PALACIOS Ana. *Prototipo de robot acuático explorador*. [en línea], 2014. [Consulta: 10 enero 2018]. Disponible en: <http://robotic.inaoep.mx/Tesis/2007-ACPG.pdf>.

PÉREZ E. & GARDEY F. *Definición de sensor - Qué es, Significado y Concepto*. [en línea]. 2010. [Consulta: 19 enero 2018]. Disponible en: <https://definicion.de/sensor/>.

QSTAR ROVS. *QUE ES UN ROV*. [en línea]. 2014. [Consulta: 14 enero 2018]. Disponible en: <http://www.rovs.es/que-es-un-rov>.

QUESADA Carlos. *Estudio y diseño de un ROV propulsado por aire comprimido*. [en línea], 2013. [Consulta: 20 enero 2018]. Disponible en: http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/20358/pfc_Carlos_Quesada.pdf?sequence=1.

RAMOS Maria. *MOTORES DC SIN ESCOBILLAS*. [en línea], 2017, [Consulta: 16 enero 2018]. Disponible en: <http://www.labc.usb.ve/paginas/EC5136/MaquinasDC.pdf>.

SILVA S. *Arquitectura de los pics - Microcontroladores Microchip*. [en línea]. 2014. [Consulta: 19 enero 2018]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/microcontroladoresmicrochip/lo-basico/arquitectura-de-los-pics>.

TECNOCIO. *Diferencias entre baterías de gel, plomo/AGM y litio*. [en línea]. 2016. [Consulta: 14 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.tecnocio.com/blog/diferencias-entre-baterias-de-gel-plomo-agm-y-litio-caracteristicas/>.

TEXTOS CIENTÍFICOS. *Policloruro de vinilo - PVC | Textos Científicos*. [en línea]. 2015. [Consulta: 11 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/pvc>.

WINROB S.P.A. *WinRob S.P.A. - Inspecciones Submarinas*. [en línea]. 2016. [Consulta: 3 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.winrob.cl/>.

ANEXOS

Anexo A: Manual de funcionamiento del ROV'S.



Fuente: Guamangallo J. 2018

Seguridad

Cableado

Para el uso de este tipo de equipos es necesario verificar las conexiones eléctricas ya que estas van a estar en permanente contacto con el agua.

Antes de realizar las conexiones hacia los mandos manuales del equipo se debe realizar lo siguiente:

- Verificar el estado de los cables para evitar posibles corto circuitos y posibles daños al equipo.
- Revisar que los conectores USB se encuentren en buen estado para que no interrumpa la transmisión de datos.



Fuente: Guamangallo J. 2018

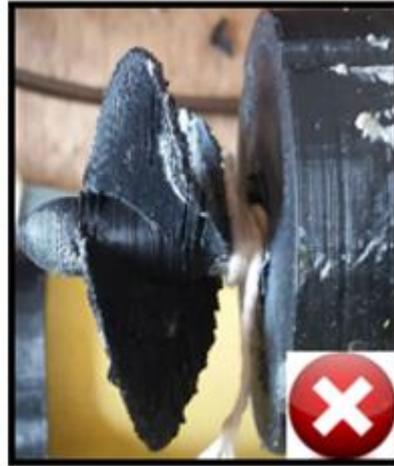
Así mismo en la parte mecánica es necesario verificar lo siguiente:

- Verificar que las abrazaderas entre el cuerpo y la cabina tengan el ajuste necesario que eviten posibles filtraciones y dañen a los equipos internos.



Fuente: Guamangallo J. 2018

- Antes de la inmersión es necesario revisar las aspas, en estas no deben existir objetos extraños que eviten el giro de estos ya si ocurra un recalentamientos en los motores.



Fuente: Guamangallo J. 2018

- Comprobar que los estabilizadores se encuentren alineados para obtener una imagen más clara de la inspección realizada.
- Realizar una inspección visual total del equipo, con la finalidad de detectar defectos físicos, es decir grietas, fisuras o algún otro daño que comprometa el estado de uso del equipo

Baterías

Antes de realizar la conexión hacia la batería, verificar con un medidor de voltaje (Voltímetro) que cumpla con la capacidad que el equipo requiere, es decir, que esté entre 9-12 V en corriente directa (DC), si no cumple con estas características recargarlas ya que es una batería seca y esta influye directamente a los motores y afecta al funcionamiento del equipo.



Fuente: Guamangallo J. 2018

Verificar el estado de las borneras las cuales deben contar con la señalización adecuada y con sus respectivos símbolos y colores de conexión, es decir negro para negativo y rojo para positivo.

Luces

Para verificar las luces es recomendable cumplir con los requisitos del paso anterior, una vez realizado conectar y verificar si estas no se encuentren con fallos, en caso de existir enviar a que un técnico especializado realice este cambio.



Fuente: Guamangallo J. 2018

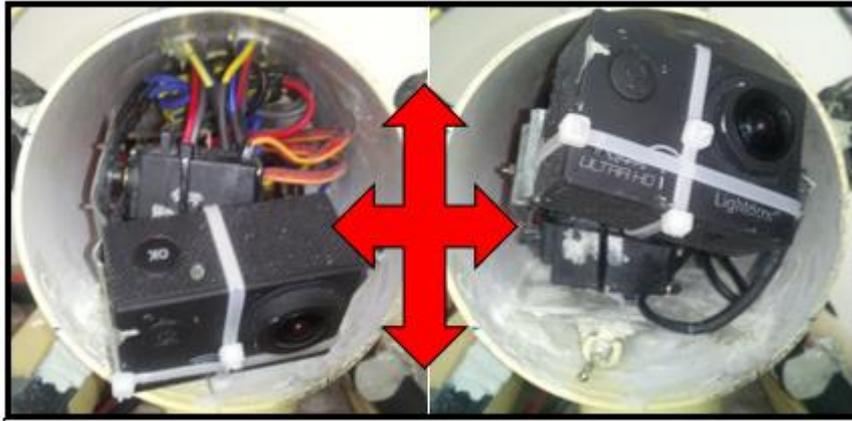
Motores

Es recomendable revisar que el giro de los motores sea el correcto, es decir que el giro sea en sentido de las manecillas del reloj, así mismo verificar que los motores estén funcionando en caso de no estar llevar a servicio técnico para que realice la inspección respectiva.



Fuente: Guamangallo J. 2018

De igual manera revisar que el motor a paso encargado de dar movimiento a la cámara se encuentre funcionando, también verificar que no se encuentren objetos que impidan el funcionamiento del mismo.



Fuente: Guamangallo J. 2018

Cámara

Otra parte primordial es la cámara para esto es primordial revisar el funcionamiento de esta es decir el reconocimiento hacia la PC, verificar que el lente o la mica de protección de la cámara se encuentren sin rayones.



Fuente: Guamangallo J. 2018

Placas

En este caso es importante verificar que estas no presenten ningún tipo de oxidación y que los cables que lo componen no se encuentren sueltos.



Fuente: Guamangallo J. 2018

Controles

Para los controles se debe revisar que los botones se encuentren en perfecto estado, es decir que ningún de estos se tenga algún tipo de obstáculos que impidan el funcionamiento de estos.



Fuente: Guamangallo J. 2018

Cómo cargar la batería

Las baterías deberán recargarse cuando la tensión se encuentre por debajo de los 9 V, para prolongar la vida útil de la misma, adicional, de esta manera se evita el mal funcionamiento de los motores.



Fuente: Guamangallo J. 2018

Intercambio de baterías

Para intercambiar baterías en el ROV'S, use el siguiente procedimiento:

1. Mueva el ROV'S a un área seca.
2. Verificar que el ROV'S se encuentre apagado
3. Retire la tapa de la caja de la batería
4. Desconecte la batería procurando que los terminales no se unan
5. Conecte la batería nueva con la siguiente indicaciones , el cable rojo con la bornera positiva (+) y el cable negro con la bornera negativa (-) , colóquela en el alojamiento de la batería
6. Instale la tapa de la caja de la batería.
7. Verifique q el robot se encienda

Preparándose para su primer buceo

Antes de sumergir en el tanque al ROV'S en el agua dulce, hay algunas cosas que debe hacer:

Su primera inmersión debe realizarse en aguas poco profundas, quietas y claras. Se recomienda en un tanque de prueba de menores dimensiones, ya que las pruebas en un entorno más controlado proporcionan una buena visualización para verificar que el ROV esté funcionando correctamente. Permitiendo al usuario familiarizarse con los mandos del robot disminuyendo la probabilidad de averías por inadecuada manipulación.

Pasos para un correcto funcionamiento:

- Instalar el software de control para el ROV'S.
- En el software robot submarino seleccionar el puerto de la cámara del robot (cam1)
- Insertar los dos puertos USB 2.0 de robot hacia el computador.

- Presionar el pulsador que permite el encendido del robot.

Funciones del controlador

El ROV'S viene con la configuración establecida de botones que permite controlar al robot como se muestra en la siguiente figura



Fuente: Guamangallo J. 2018

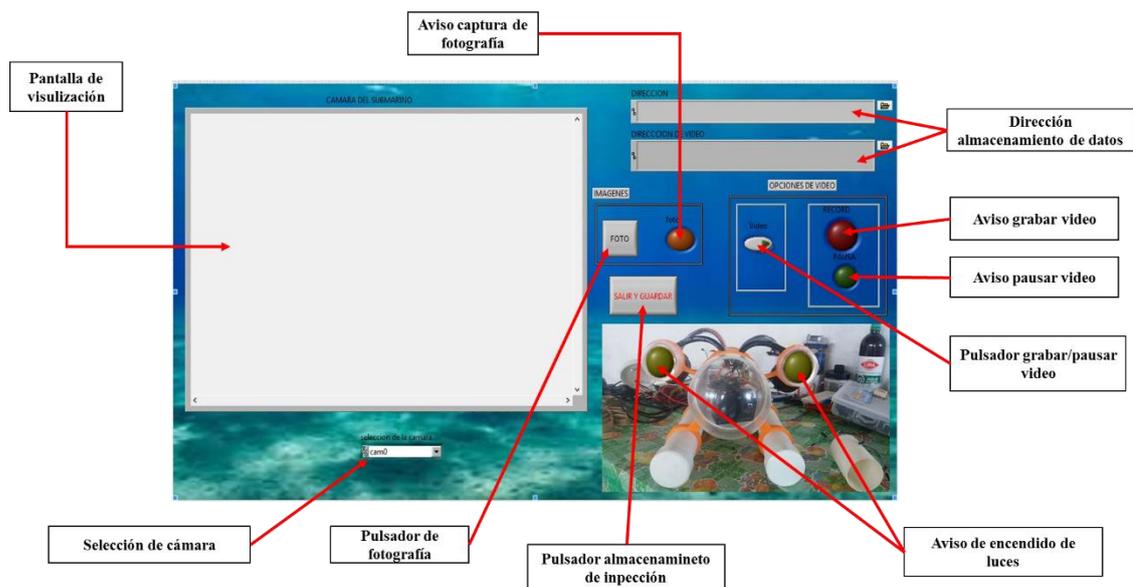
Descripción de los mandos.

- **Captura de imagen:** Permite fotografías mediante el pulso de este botón, cada pulso corresponde a una captura diferente.
- **On/Off luces:** Permite el encendido y apagado de las luces leds del robot.
- **Inicio de video:** Da el acceso para grabar videos de la inspección a realizarse para lo cual se requiere mantener sostenido el mencionado botón.
- **Avance frontal del robot:** Proporciona el accionamiento de los motores lateral para una avance frontal
- **Control de la cámara en los dos ejes:** Permite el movimiento de la cámara en las direcciones arriba, abajo y derecha izquierda.
- **Sumergir:** Por cada pulso dado el robot se hundirá más.

- **Giro a la izquierda:** Permite el accionamiento del propulsor izquierda.
- **Inmergir:** Por cada pulso dado el robot subirá más.
- **Giro a la derecha:** Permite el accionamiento del propulsor derecho.

Descripción de Interfaz máquina-humano (HMI)

Para una buena interpretación de las inspecciones realizadas se realizó un interfaz amigable para la interpretación del usuario.



Fuente: Guamangallo J. 2018

Descripción de la interfaz

- **Pantalla de visualización:** Este recuadro permite al inspector la visualización del interior del tanque de manera constante.
- **Pulsador de fotografía:** Mediante el uso de este pulsador el inspector podrá realizar una captura de los defectos que el tanque pueda presentar.
- **Aviso captura de fotografía:** Este botón señala que la captura se ha realizado correctamente.
- **Dirección almacenamiento de datos:** El icono permite al inspector guardar los archivos que durante la inspección se pueda generar.

- **Pulsador grabar/pausar video:** este pulsador permite dar inicio a la grabación de un video así mismo permite pausar el video de ser necesario.
- **Aviso grabar video:** Este aviso permite al usuario visualizar que la grabación se está realizando.
- **Aviso pausar video:** Este aviso permite al usuario visualizar que la grabación ha sido pausada.
- **Aviso encendido de luces:** Estos indicadores permiten visualizar que las luces del ROV'S están activadas.
- **Selección de cámara:** Permite seleccionar la cámara del computador (cam0) y la cámara de ROV'S (cam1) en este caso para la inspección de deberá seleccionar la cam1.
- **Pulsador almacenamiento de inspección:** Este pulsador permite al inspector guardar los trabajos realizados, de igual manera permite guardar el video realizado.

Precaución

Para la manipulación de este equipo es necesario considerar las siguientes precauciones.

- Mantenga la caja de control lejos del agua y en lugares sin humedad.
- No suelte de manera brusca al ROV, es decir el robot debe tocar la superficie del agua.
- Mantenga el domo alejado de objetos duros, cortantes o punzantes, que provoquen daños o posibles fisuras a este.
- No utilizar al robot en tanques que sobrepase más de 20 metros de profundidad.
- Evitar la exposición de las manos a las aspas mientras estas estén en funcionamiento.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo permite mitigar fallos del equipo por este motivo se detallan los siguientes puntos para extender la vida útil de este ROV.

- Dejar reposar al robot una vez culminado la inspección.
- Verificar el estado del domo después de cada inspección.
- Culminada la inspección cargar la batería, es necesario llevar una batería de repuesto.
- En caso de ingreso de agua hacia el interior del robot, apagarlo y realizar un mantenimiento adecuado.
- Antes de guárdalo al robot es necesario secarlo para evitar daños a los componentes mecánicos.

- Limpiar la cabina en el caso que se encuentre con objetos extraños que impida la visualización del lente de la cámara.
- Verificar si el cable de comunicación no se encuentre con abolladuras, y en caso de existir sustituirlo.