

# Design and construction of a mechatronic prototype (underwater robot)

## Diseño y construcción de un prototipo mecatrónico (robot submarino)

Mitzi Alcaraz-Carrasco<sup>1</sup>, Jorge Gudiño-Lau<sup>\*1</sup>, Diego Castellano-Molina<sup>1</sup>, Janeth Alcalá-Rodríguez<sup>1</sup>, Saida Charre-Ibarra<sup>1</sup>, and Miguel Durán-Fonseca<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Colima (UCol), Facultad de Ingeniería Electromecánica,  
Km. 10.5 Carretera Manzanillo-Barra de Navidad, El Naranjo, Manzanillo, Colima, México, C.P. 28855.  
{malcaraz16, jglau, dcastellanos, janethalcala, scharre, mduran}@ucol.mx

### Abstract

Submarine robots are a part of mechatronics inspired by marine exploration and they have the ability to move and maneuver inside the water, they can be of two types: manned or unmanned; the unmanned include remotely manipulated underwater robots, semi-autonomous and autonomous. This article shows the design and construction of a low-cost prototype of a human-guided, unmanned underwater robot.

**Keywords**— Underwater robot, ROV, AUV.

### Resumen

Los robots submarinos son parte de la mecatrónica inspirada en la exploración marina y tienen la capacidad de desplazarse y maniobrar en el interior del agua, pueden ser de dos tipos: tripulado o no tripulado; entre los no tripulados se tienen a los robots submarinos manipulados remotamente, los semiautónomos y los autónomos. Este artículo muestra el diseño y construcción de un prototipo de bajo costo de un robot submarino no tripulado pero guiado por el ser humano.

**Palabras clave**— Robot submarino, ROV, AUV.

Estos robots submarinos tienen la capacidad de desplazarse y maniobrar en el interior del agua, pueden ser tripulados o no tripulados; los robots submarinos no tripulados son también conocidos como UUV (Unmanned Underwater Vehicle), entre los no tripulados tenemos los vehículos operados remotamente ROV (por su acrónimo en inglés Remotely Operated Vehicle) estos requieren la intervención del ser humano para controlarlos, los vehículos autónomos no tripulados de intervención IAUV (Intervention Autonomous Unmanned Vehicles) son considerados semiautónomos ya que requieren de la participación de un operador para supervisar las tareas del robot submarino, además son dimensiones pequeñas y de menor peso lo cual facilita la transportación; y por último tenemos los vehículos submarinos autónomos AUV (Autonomous Underwater Vehicle) estos son completamente autónomos, no necesitan la intervención de un operador.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la sección II se describe el estado del arte de los robots submarinos más importantes desde sus orígenes hasta los más actuales del XXI. En la sección III se describe de manera detallada el diseño y la construcción del robot submarino; así como el prototipo terminado. En la sección IV se describen las pruebas experimentales realizadas al robot submarino. Por último, en las secciones V y VI se muestran el trabajo futuro y las conclusiones del prototipo experimental.

## I. Introducción

Los robots acuáticos (submarinos) están diseñados y construidos la mayoría de ellos por empresas y por centros de investigaciones, son pocas las Universidades del País que se dedican a la exploración submarina y a la construcción de los robots sumergibles.

\* Autor de correspondencia

## II. Estado del arte

### II.1. Historia de los robots submarinos

En 1776, “El Turtle” destaca como uno de los primeros robots sumergibles, se caracterizó por ser un pequeño submarino monoplaza de casco de madera forrado de plancha de cobre y accionado a pedales, que sólo podía

navegar a flor de agua, como se observa en la Fig. 1 [1].

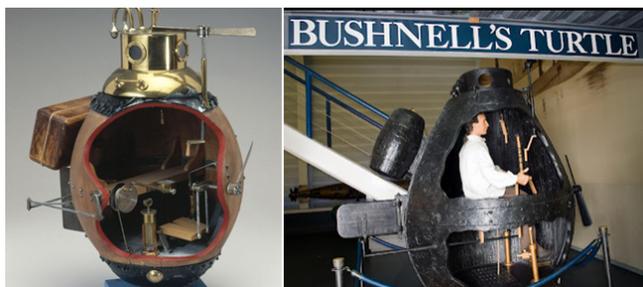


Figura 1: Submarino El Turtle

La carrera por la exploración del fondo marino inicia en la década de 50, desde los centros de investigación han desarrollado proyectos para el diseño, construcción de robots submarinos, con el objetivo llegar a lugares en donde el ser humano no ha llegado. Las primeras investigaciones la realizaron los franceses con su robot submarino operado remotamente POODLE, como se muestra en la Fig. 2 [2, 3, 4, 5].

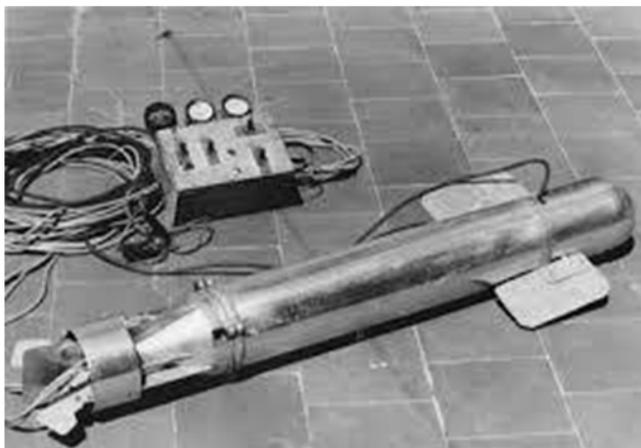


Figura 2: Submarino Poodle

En la década de los 60, se construyeron robots submarinos operados remotamente con cables con fin militar y fueron los norteamericanos con las versiones de robots submarinos CURV por su acrónimo en inglés Cable-Controlled Underwater Recovery Vehicle (Vehículo de recuperación submarino controlado por cable), también se diseñaron para la exploración del petróleo y sus derivados, en la Fig. 3 se observa al primer modelo del CURV [6].

Actualmente en siglo XXI los robots más importantes son diseñados por empresas y centros de investigaciones, y los más importantes se describen a continuación.

El ICTINEU 3 fue el primer submarino del siglo XXI creado en el 2012, está diseñado para sumergirse a una profundidad máxima de 1200 metros y puede llevar un



Figura 3: ROV CURV

piloto y dos pasajeros en misiones de varias horas, como se muestra en la Fig. 4. Es el noveno submarino del mundo que puede bajar más profundidad. Está equipado con diferentes instrumentos de sondeo que se usan en trabajos e investigación marina además de los instrumentos de navegación y pilotaje: puede desplazarse hasta 20 millas bajo el agua [7].



Figura 4: Submarino ICTINEU 3

Haixing 6000 es un robot submarino desarrollado en el 2018 en China como se muestra en la Fig. 5, tiene un brazo robótico con una pinza mecánica. Diseñado para exploración científica de aguas marinas profundas como recolección de muestras del suelo marino y agua, ya que puede sumergirse a más de 6 mil metros y es operado a control remoto [8].

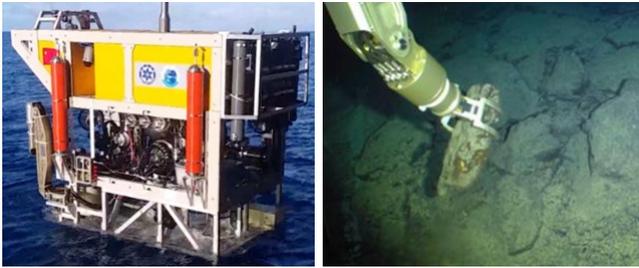


Figura 5: Submarino Haixing 6000

### III. Diseño y construcción del prototipo

#### III.1. Diseño del robot submarino

El prototipo del robot submarino es diseñado para tener la capacidad de girar en un espacio tridimensional mediante 4 motores montados en cada esquina, posee forma cilíndrica, en la parte frontal tiene una cámara para transmitir la información en tiempo real y definir trayectorias por el usuario. Además, tiene la función de observar los desechos marinos y la vida acuática.

Analizando los distintos modelos de robots submarinos orientados a la exploración del fondo marino, se plantea el diseño tipo cilíndrico como el que se muestra en la Fig. 6, se diseña con PVC de 4", sellado con una tapa de acrílico de un lado, por donde se puede acceder al interior del prototipo, y además observar el exterior mediante una cámara, mientras que del otro lado del tubo se debe sellar con una tapa PVC. Consta de una base hecha con tubos CPVC de 3/4" y derivaciones en forma de 'T' donde en la parte frontal de ésta, tendrá iluminación LED.

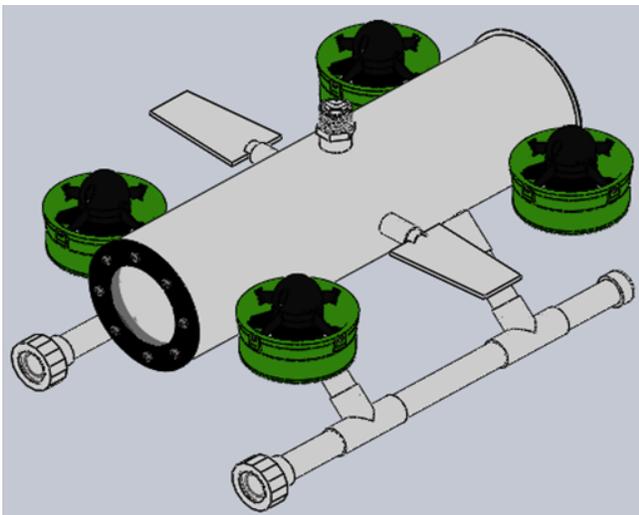


Figura 6: Vista isométrica del robot

En la Fig. 7 se observa que tiene 2 planos de profundidad (aletas) para la buena estabilidad del robot, situadas a cada lado del ROV. El largo del prototipo es de 420 mm

y el tubo principal de PVC es de 116mm, en la parte superior de este se encuentra la rosca donde va embonada la manguera por donde pasa el cableado a la superficie.

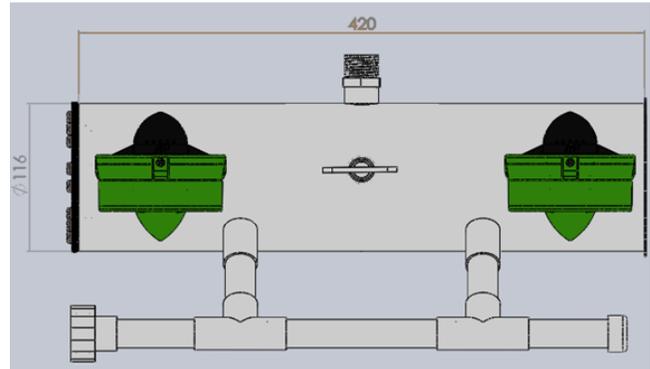


Figura 7: Vista lateral del ROV

El modo de propulsión está compuesto por 4 motores con hélices de 4 palas, situados en cada esquina del prototipo, además de tener toberas para que pueda existir un movimiento, tal como se muestra en la Fig. 8 de la vista superior del robot realizado en SolidWorks®.

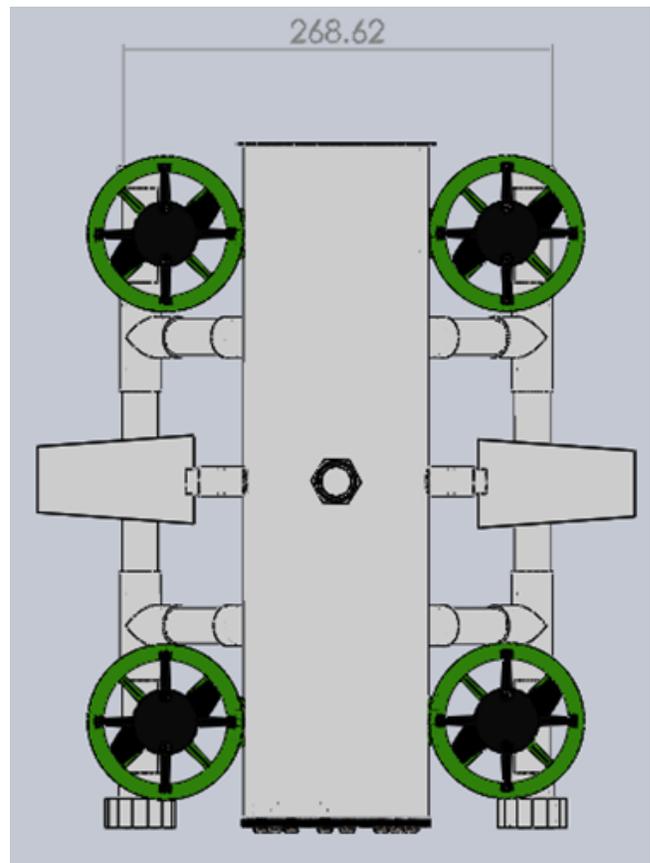


Figura 8: Vista superior del robot

En la Fig. 9 se muestra el plano de la vista explosionada

del prototipo en cuatro vistas distintas, lateral, frontal, inferior e isométrica. Se observan todos los elementos de la estructura, dónde el elemento principal es el cuerpo del robot submarino, a partir de él se le agregan los demás componentes que conforman el sistema completo.

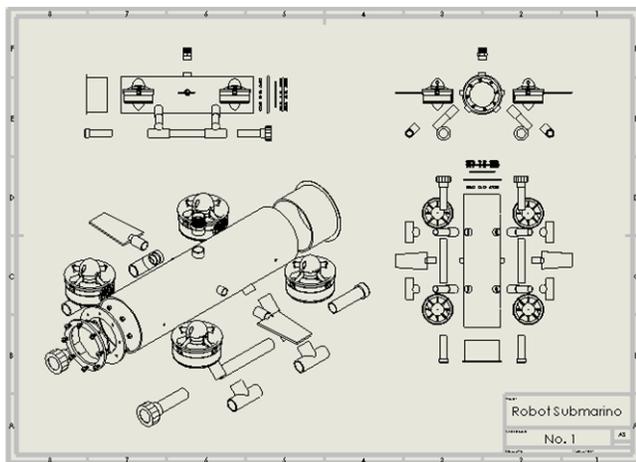


Figura 9: Vista explosionada del ROV

La estructura está construida con material PVC y CPVC, la tapa frontal es diseñada en SolidWorks® e impresa en 3D, se debe realizar de esa manera para poder acceder al interior del ROV cuando sea necesario en caso de alguna desconexión u otro problema, además para que no se tenga fugas, ya que se encuentra atornillada y con empaque para evitar la filtración del agua. Tiene un espacio entre las dos piezas dónde va ubicado el acrílico para que con la cámara que se encuentra dentro del prototipo se pueda visualizar el exterior.

### III.2. Construcción robot submarino

Para la construcción del robot sumergible se requiere el siguiente material definido a partir del diseño en 3D; son las piezas más importantes que se necesitan para su construcción y la parte electrónica. El robot submarino es alimentado por una batería sellada recargable a 12 volts y tiene una capacidad nominal de 5Ah, suficiente para operar hasta 2 horas de uso moderado continuo.

#### III.2.1. Sistema de propulsión

Se utilizan cuatro propulsores submarinos sin escobillas con hélices de 4 palas, en lugar de adquirir motor, tobera y hélice individualmente, estos motores son ideales ya que cuentan con la potencia necesaria para que el robot submarino tenga un desplazamiento en el agua. En la Fig. 10 se muestran las medidas del motor. El motor puede trabajar con 12-24 volts, tiene un consumo de corriente 20 A como máximo y su potencia varía de 30-200 W.

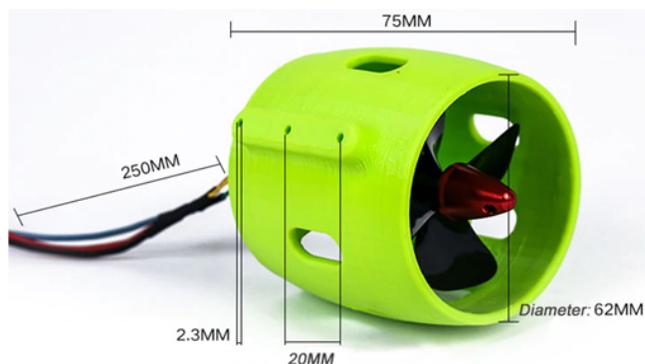


Figura 10: Propulsor submarino

#### III.2.2. Sistema de control

Para el sistema de control se implementa el uso de un módulo de RF de 433Mhz y una placa electrónica Arduino UNO, con el cual se realizan las siguientes tareas: a) enviar una señal de radiofrecuencia al receptor, b) el receptor envía los datos al Arduino, c) el Arduino activa los actuadores de acuerdo con la señal y controla la dirección del robot. En la Fig. 11 se muestran los componentes.

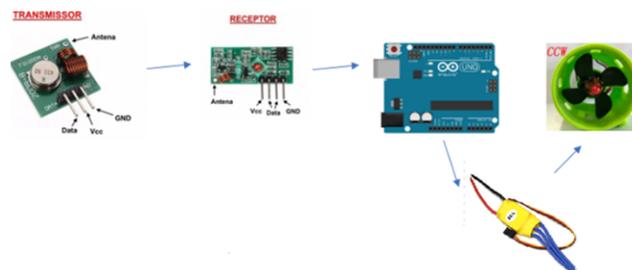


Figura 11: Diagrama de control

#### III.2.3. Módulo de RF de 433 Mhz

Funciona como un enlace de datos, solamente transmite información en un solo sentido por lo que resultan útil en el control de este proyecto ya que no requiere una comunicación bidireccional. Los módulos se conectan a cualquier microcontrolador (en este caso un Arduino UNO) permitiendo tener un enlace de radio frecuencia funcional.

La frecuencia de trabajo es de 433MHz, debido a que es una banda de libre uso. Para utilizar estos módulos basta con alimentarlos y conectar el pin de datos por un lado del Transmisor (TX) y en otro el Receptor (RX).

La antena, como la que se muestra en la Fig. 12, tiene una gran influencia sobre todo en el módulo receptor, por lo que se utilizará una antena helicoidal de 5mm de

diámetro y 3.4cm de longitud para alcanzar la frecuencia de 433MHz.



Figura 12: Antena módulo RF

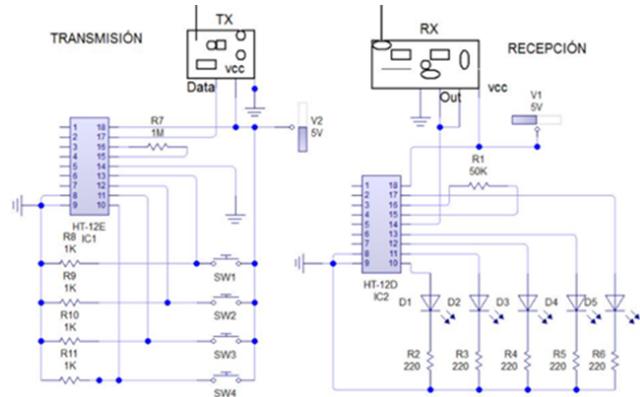


Figura 13: Circuito del módulo RF

### III.2.4. Circuito RF con HT12E y HT12D

Para la radiofrecuencia se utilizan los circuitos integrados HT12E y HT12D en lugar de utilizar dos Arduino para la comunicación entre ellos, esta manera utiliza solamente electrónica para la etapa del control remoto.

El Circuito integrado HT12E es un codificador serial de datos para aplicaciones de control remoto. El circuito codifica 4 bits de datos y 8 bits de dirección en un flujo de datos que es transmitido en forma serial a través de un módulo de radio frecuencia.

El CI HT12D es un decodificador serial de datos para aplicaciones de control remoto. El circuito convierte un flujo de datos serial en 4 bits de datos paralelos. En la Fig. 13 se muestra el diagrama esquemático del módulo RF con los respectivos CI, utilizando 4 botones y 4 leds para los 4 canales de comunicación.

### III.3. Prototipo

El primer prototipo es mostrado en la Fig. 14, se observa la ubicación de los motores, la cámara, el led montado sobre el robot submarino y la manguera donde se encuentra todo el cableado protegido contra el agua; ya que este último es uno de los principales problemas que se tuvo.



Figura 14: Prototipo terminado

## IV. Pruebas experimentales

En esta sección se muestran las principales pruebas realizadas al prototipo del robot submarino. La Fig. 15 se observa una prueba de la cámara WEB instalada dentro del ROV, dónde se colocan unas pinzas delante del dispositivo de visualización y se muestra la imagen en la computadora, asegurando que no existe ningún fallo en este apartado del robot y pueda fácilmente mostrar el fondo acuático cuando se encuentre sumergido.

Se organiza todo el cableado de los motores dentro del submarino, asegurando la continuidad de las uniones entre el conductor del motor y la extensión de cable que fue soldado para el cordón umbilical del robot. Una vez



Figura 15: Prueba de cámara WEB

terminado, se ingresó a la manguera de 3/4" junto al cable USB de la cámara WEB y el cable UTP del led de potencia de 10W; esta manguera se conecta para realizar las primeras pruebas de filtración y de comunicación alámbrica. En la Fig. 16 se observa el robot submarino completamente sellado evitando filtraciones de agua y con el cableado dentro del cordón, además se aprecia el dispositivo luminoso con el que tendrá una mayor visión dentro del agua.



Figura 16: Prueba del led de potencia y el cableado

El peso del robot es el suficiente como para alcanzar a hundir la mitad de éste y tapan la mitad de los motores sin escobillas como se observa en la Fig. 17, alcanza a tomar el agua suficiente para sumergirse. El largo del cordón umbilical es de 8 metros, lo justo para tener un espacio de trabajo ideal dónde probar el funcionamiento del robot.

En la Fig. 18 se observa que los motores brushless se

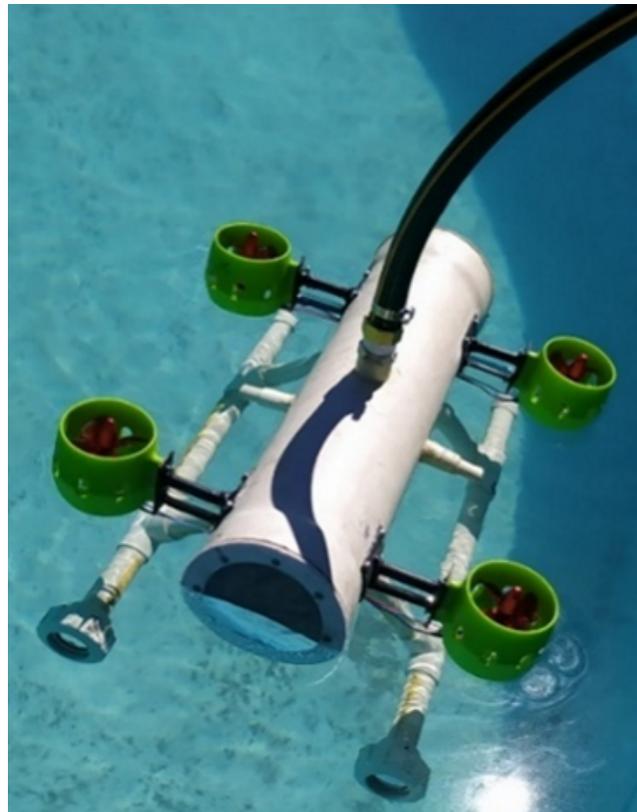


Figura 17: ROV dentro del agua

encuentran activados, haciendo que el robot se mantenga sumergido según las indicaciones que se le den con el control remoto, dependiendo del movimiento deseado los actuadores variarán su velocidad a la requerida para realizarlo.

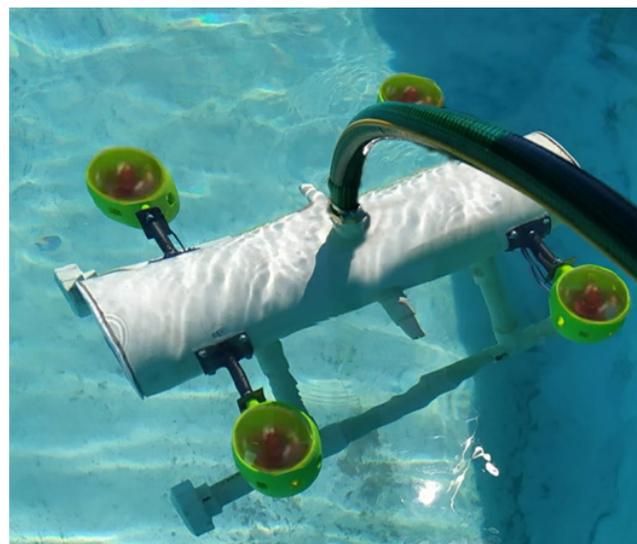


Figura 18: ROV en funcionamiento

En la Fig. 19 se tiene una imagen de la visualización del fondo de la alberca a partir de la cámara WEB instalada dentro del robot, estas pruebas se realizaron en un ambiente controlado por lo cual no hay mucho que observar, pero en el caso de utilizarlo en una laguna o mar, por ejemplo, se podría tener una vista de la flora y fauna marina.



Figura 19: Imagen del fondo acuático

## V. Trabajo futuro

A finales del año del 2021 se espera obtener la actualización del prototipo del ROV especialmente en la comunicación entre el robot submarino y el humano (mediante un módulo de RF), el objetivo es tener robot submarino autónomo no tripulado de intervención IAUV para fines de investigación y académicos, este trabajo se vio afectado debido a la contingencia por la pandemia del COVID-19; los laboratorios y talleres de la FIE cerraron y no se permitió el acceso a personal académico, sin embargo, se trabaja en casa en las pruebas de comunicación.

## VI. Conclusiones

El robot submarino continua en la fase de experimentación, se han realizado prueba de manera separada de cada módulo que compone al robot y ha funcionado de manera correcta, la integración completa del robot está en proceso, por lo que la siguiente prueba es realizar la inmersión del robot submarino completo.

Este artículo describe de forma detallada el diseño, construcción y sus componentes electrónicos de un robot submarino no tripulado. El primer prototipo todavía se encuentra en la fase de pruebas experimentales, en esta etapa el robot submarino es manipulado de forma manual por el usuario mediante comunicación alámbrica (debido a la pandemia no se alcanzó a realizar pruebas con el módulo RF), no se tuvo contratiempo en la electrónica de los motores, por lo que se concluye que el primer prototipo supera la primera fase de pruebas que consistió filtraciones, funcionamiento de los motores y

visión. Es importante seguir trabajando en esta área de la Mecatrónica, ya que se puede mejorar la parte de la tecnología como es el control, diseño, visión, comunicación, programación, entre otras.

## Agradecimientos

Gracias a la Universidad de Colima a través de la Facultad de Ingeniería Electromecánica por otorgar todas la facilidades para realizar la construcción del prototipo en los talleres y laboratorios; y terminar el primer prototipo del robot submarino.

## Referencias

- [1] Guillermo Robles Carrasco. «Diseño y estudio hidrodinámico de un submarino autónomo no tripulado: AUV». En: *Tesis de Licenciatura* (2014), pág. 129.
- [2] Cesar Álvarez, Roque Saltaren y Rafael Cecilia Aracil. «Concepción, desarrollo y avances en el control de navegación de robots submarinos paralelos: El Robot Remo-I». En: *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI* (2009).
- [3] Cesar Valencia Niño y Max Suell Dutra. «Estado del arte de los vehículos autónomos sumergibles alimentados por energía solar». En: *ITECKNE Revista de la División de Ingenierías y Arquitectura*. Vol. 7. 1. 2010.
- [4] Ávalos H. A. Moreno. «Modelado, control y diseño de robots submarinos de estructura paralela con impulsores vectorizados». En: *Tesis de Licenciatura* (2013).
- [5] H. Moreno y col. «Robótica Submarina: Conceptos, Elementos, Modelado y Control». En: *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial RIAI*. Vol. 11. 1. 2014.
- [6] Ahmad Mahmood y Jamshed Iqbal. «Underwater robotic vehicles: latest development trends and potential challenges». En: *Science international (Lahore)*. Vol. 26. 2. 2014.
- [7] Madero D. y Duran J. «Diseño de un prototipo ROV subacuático experimental». En: *Tesis de Pregrado, Universidad Industrial de Santander* (2012).
- [8] Xinhua. *Robot submarino chino establece récord nacional de profundidad; se sumerge más de 6 mil metros*. URL: <https://www.jornada.%20com.mx/2018/10/31/ciencias/a02n2cie>.