

# Diseño y construcción de un dron submarino para funciones de exploración y análisis en cuerpos de agua

## Design and construction of an underwater drone for exploration and analysis functions in bodies of water

Santiago Sierra Acuña<sup>1</sup>, Juan Esteban Torres Gómez<sup>2</sup>, David Stiven Valbuena Hernández<sup>3</sup>, Camilo Andrés Ortiz Daza<sup>4</sup> y Paola Andrea Arias Murcia<sup>5</sup>

1 <https://orcid.org/0009-0007-3205-1987>, Universidad ECCI, Bogotá, Colombia, ssierraa@ecci.edu.co  
2 <https://orcid.org/0009-0002-4882-5290>, Universidad ECCI, Bogotá, Colombia, juane.torresg@ecci.edu.co  
3 <https://orcid.org/0009-0006-5935-9319>, Universidad ECCI, Bogotá, Colombia, davids.valbuenah@ecci.edu.co  
4 <https://orcid.org/0000-0001-8810-7520>, Universidad ECCI, Bogotá, Colombia, cortizd@ecci.edu.co  
5 <https://orcid.org/0000-0002-2339-6250>, Universidad ECCI, Bogotá, Colombia, pariasm@ecci.edu.co

Fecha de recepción: 27/10/2025  
Fecha de aceptación del artículo: 10/12/2025



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial-SinObraDerivada 4.0 internacional.

DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.13660>

---

S. Sierra Acuña, J. E. Torres Gómez, D. S. Valbuena Hernández, C. A. Ortiz Daza y P.A. Arias Murcia "Diseño y construcción de un dron submarino para funciones de exploración y análisis en cuerpos de agua", Avances, vol. 22, no. 2 (julio-diciembre), Dic. 2025, doi: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.13660>

---

### Resumen

En este proyecto se diseñó y construyó un ROV (Remote Operated Vehicle) tipo dron submarino, capaz de sumergirse hasta 20 metros bajo el agua. Cuenta con cámara y varios tipos de sensores (temperatura, acelerómetro - giroscopio, sonar, TDS). Este dron se controla desde la superficie, con una cámara en tiempo real y se obtiene información con los sensores. del principal objetivo es explorar, investigar y analizar los cuerpos de agua, lo cual presenta diversas aplicaciones potenciales, cuya conveniencia se puede analizar a futuro (detección de contaminación, inspección de embalses y embarcaciones, fotografía de ecosistemas, etc.).

**Palabras clave:** Análisis de contaminación del agua, robótica submarina, investigación acuática, ingeniería marina, ROV.

### Abstract

This project consisted of designing and building a ROV (Remote Operating Vehicle) type underwater drone, capable of diving up to 20 meters underwater. The idea was for the submarine to be equipped with a camera and various types of sensors (temperature, accelerometer - gyroscope, sonar, TDS). The drone is controlled from the surface, where the camera image is also transmitted in real time, along with the information gathered by the sensors. This drone was designed to perform functions of exploration, research, and analysis of bodies of water, which presents various potential applications that could be assessed in the future (detection of pollution, inspection of reservoirs and vessels, ecosystem photography, etc.).

**Keywords:** Aquatic research, Marine engineering, ROV, Underwater robotics, Water pollution analysis.

---

## 1. Introducción

La superficie terrestre está compuesta por aproximadamente un 70 % de agua, lo que la convierte en uno de los factores más importantes para la vida en el planeta. Sin embargo, desde hace varios años la actividad humana está afectando los ecosistemas acuáticos, ya sean mares, océanos o ríos [1]. En Colombia existen problemas asociados a los microplásticos (partículas pequeñas de menos de 5 milímetros de espesor [2]) presentes en numerosas fuentes de agua, como la costa Caribe, la costa Pacífica y los ríos, entre otras. Este impacto afecta los ecosistemas marinos y la salud pública, ya que se han encontrado fragmentos de PVC con sustancias cancerígenas y tóxicas. Los microplásticos también representan riesgos toxicológicos, al ser un medio potencial de transporte de diversos contaminantes [3].

Este proyecto busca avanzar hacia la sostenibilidad y la conservación ambiental mediante el diseño de un dron submarino con un sistema avanzado de medición, instrumentación y control, que se utilice para la exploración e investigación en cuerpos de agua [4].

## 2. Antecedentes

Desde la década de los años ochenta, la industria del petróleo y el gas impulsó el desarrollo de los vehículos operados remotamente (ROV), ante la necesidad de intervenir en yacimientos marinos profundos, marcando así el inicio de su uso en operaciones submarinas y abriendo paso a su evolución tecnológica [5]. En los años noventa, los ROV se incorporaron a la investigación científica marina, permitiendo el registro detallado de ecosistemas y hábitats submarinos [6].

Posteriormente, la incorporación de vehículos submarinos autónomos (AUV) transformó la exploración oceánica al posibilitar la recolección de datos en zonas

inaccesibles. Un avance significativo se dio en 2016, con la expedición del Instituto Oceánico Schmidt y la Universidad de Tokio en aguas de Guam, en las que el ROV SuBastian y varios AUV alcanzaron profundidades de 4.500 metros, obteniendo información de alta precisión sobre condiciones físicas, químicas y biológicas del entorno [7].

La Universidad de Ancona desarrolló una arquitectura automática supervisada para ROV, optimizando la interacción operador-máquina y permitiendo tareas autónomas de inspección y cartografía; paralelamente, sus avances en procesamiento en tiempo real y aprendizaje automático les permitieron mejorar la comunicación, el mapeo y la toma de decisiones en entornos submarinos dinámicos [8].

En el ámbito del control y diseño, el vehículo híbrido Intelligence Ocean I (IO-I) combinó funciones de ROV y AUV mediante un sistema PID y lógica difusa para aumentar la estabilidad [9]. Otros aportes recientes incluyen sistemas de guía autónoma para redes de acuicultura [10] y la mitigación de interferencias magnéticas en ROV mediante técnicas de cancelación y reducción de ruido [11].

En conjunto, estos avances han consolidado el papel de los ROV como herramientas esenciales para la investigación, el monitoreo ambiental y la exploración

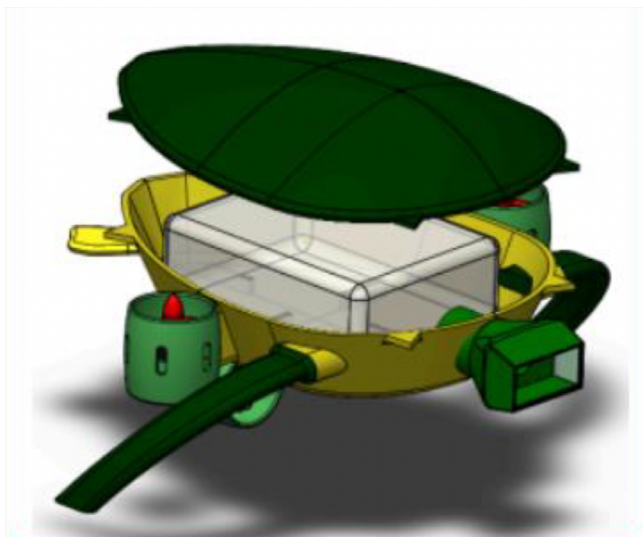
## 3. Diseño y construcción

El dron se construyó en tres etapas principales, cada una de las cuales comprende diversas actividades.

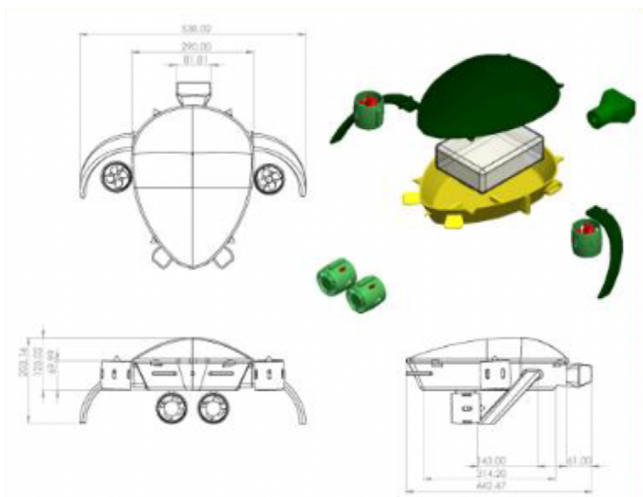
### 3.1. Análisis de materiales y diseño de la estructura

El dron submarino está compuesto de dos partes: la primera es la estructura exterior con forma de tortuga, que sirve como tanque de lastre y soporta los motores; la segunda,

es un contenedor sellado que alberga los circuitos eléctricos y las conexiones necesarias, ubicado en el interior de la primera estructura, como se muestra en las figuras 1 y 2.



**Figura 1.** Cascos interior y exterior del dron submarino.



**Figura 2.** Plano de ensamblaje del dron submarino y dimensiones principales (en mm).

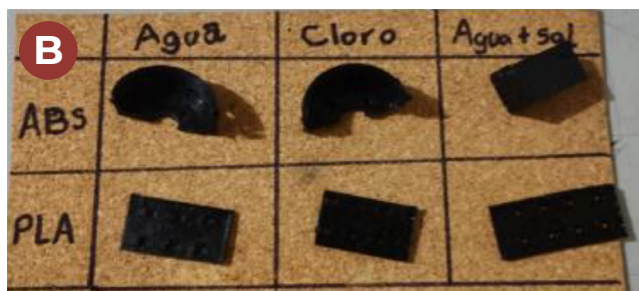
Para la impresión 3D del casco externo se usaron ácido poliláctico (PLA) y acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), materiales ampliamente utilizados en esta tecnología [12]. Con el fin de establecer la elección más óptima, se diseñó una prueba consistente en sumergir ambos

materiales en agua pura (para representar las fuentes de agua dulce), agua clorada (para las pruebas en piscinas) y agua salada (para demostrar su resistencia en el mar). Las piezas de PLA y ABS se sumergieron durante un mes y se realizaron controles semanales para detectar cualquier cambio. La figura 3 muestra la forma como se realizó la prueba.



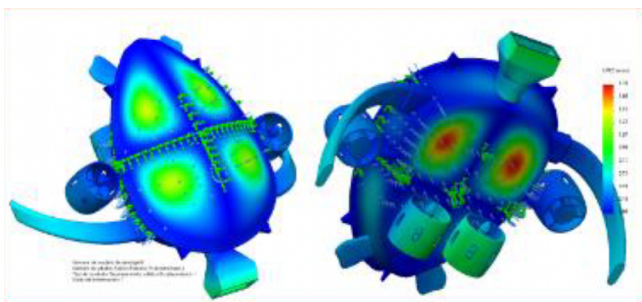
**Figura 3.** Prueba de materiales en distintos tipos de agua.

Al finalizar la prueba, las piezas se retiraron, se inspeccionaron y se dejaron secar para determinar cualquier cambio físico que hubieran sufrido. A simple vista no se observaron cambios significativos ni variaciones drásticas en las propiedades de los materiales (figura 4); por lo tanto, se optó por el PLA, debido a su rentabilidad y a los reducidos tiempos de impresión.



**Figura 4.** Resultado de la prueba de materiales en agua. a) Al inicio, b) Un mes después.

Se simuló la presión hidrostática ejercida sobre el dron submarino utilizando el software de diseño SolidWorks. Como parámetros de simulación, se aplicaron las caras del ROV en contacto directo con el agua, el material del casco externo, la densidad promedio del agua dulce ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ) y una profundidad de inmersión máxima de 20 m. En la figura 5 se puede observar el resultado de la simulación. Se resaltan en color rojo los puntos críticos, los cuales gracias a este paso fueron posteriormente reforzados durante la fase de construcción.



**Figura 5.** Simulación de la presión externa del casco a 20 metros de profundidad.

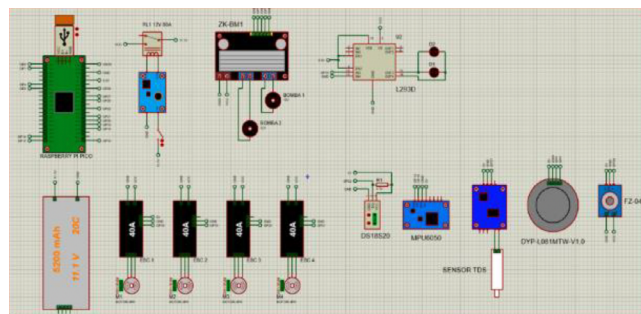
La estructura interna es una caja de seguridad hermética para evitar la entrada de agua, ya que alberga circuitos esenciales para el ROV. Cabe destacar que la tapa tiene aberturas para los cables de los sensores y actuadores. Los cables necesarios incluyen: cables de motor (3 por unidad, 12 en total), cables de bomba sumergible (2 por unidad, 4 en total), cables de sensores (3 en total), un cable de cámara y un cable de conexión a la computadora.

### 3.2. Diseño del circuito electrónico

El diseño electrónico del dron submarino se centró en la integración de los componentes que permitieron su funcionamiento autónomo y controlado remotamente, entre los que se incluyen la batería que alimenta los circuitos; los microcontroladores integrados que se utilizan para gestionar las señales de los sensores, como los de TDS, temperatura y profundidad, esenciales para el monitoreo de las condiciones submarinas; los actuadores,

como motores y bombas, que también están conectados a controladores para permitir la movilidad y la dirección del dron submarino bajo el agua. El diseño electrónico garantiza que los componentes funcionen sin interrupción, incluso en condiciones extremas, como la alta presión submarina.

El diseño también incorpora tecnologías para la estabilización y el control del dron submarino, incluyendo un sensor de ultrasonido sumergible, para evitar colisiones con el fondo marino y un acelerómetro-giroscopio para calcular la profundidad y la velocidad [13]. La protección contra la corrosión y el aislamiento adecuado de los componentes electrónicos también fueron aspectos cruciales, garantizando que el sistema siga funcionando de forma segura en el medio acuático. El plano eléctrico completo se puede apreciar en la figura 6.



**Figura 6.** Plano electrónico del ROV.

### 3.3. Diseño y programación de la interfaz gráfica

La interfaz está diseñada para presentar claramente los datos más relevantes, con un panel de control intuitivo que permite una interacción fluida. Se eligió un fondo oscuro para reducir la fatiga visual, mientras que los botones y elementos interactivos se destacan con colores brillantes y contrastantes, lo que mejora la accesibilidad y la comprensión de las funciones [14]. Además, la disposición de los elementos sigue una lógica estructurada, lo cual facilita la navegación y garantiza una experiencia de usuario eficiente y agradable (figura 7).

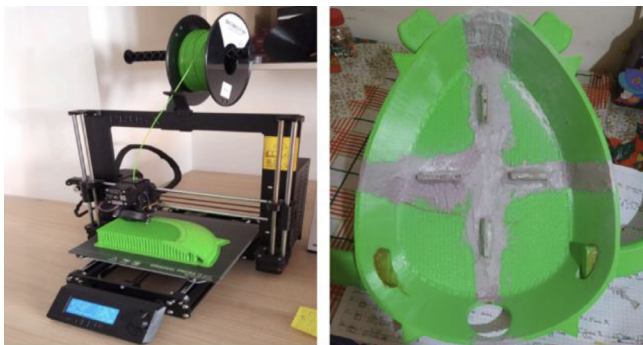


**Figura 7.** Interfaz de control y visualización de datos.

### 3.4. Fabricación del casco externo

Debido al tamaño del modelo propuesto no era viable producirlo en una sola impresión 3D, dado que así no cabría en la cama de la impresora del laboratorio. Por esta razón, se decidió dividirlo en 11 piezas (cuatro para el caparazón o cubierta superior, cuatro para el cuerpo o cubierta inferior, dos aletas y una cabeza). Se utilizó un parámetro de relleno cúbico para una distribución de esfuerzos más uniforme en los tres ejes, así como por su capacidad de absorción de impactos [15].

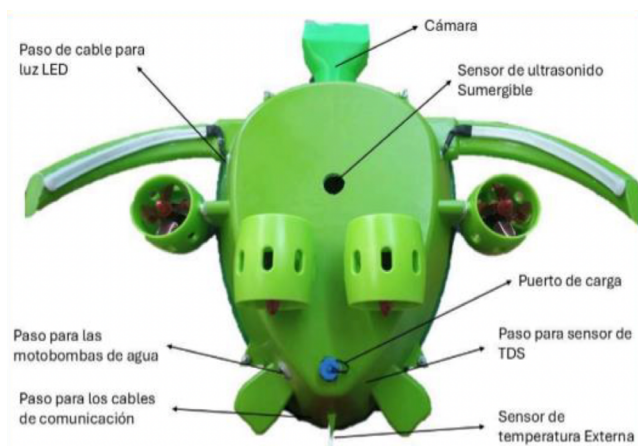
Durante el proceso de unión se utilizó pegamento de PVC por su adherencia y resistencia química. También se empleó resina epóxica para mejorar la resistencia, lograr una textura más lisa y corregir defectos de impresión 3D [16]. Se añadieron refuerzos con tornillos y tuercas para evitar deformaciones y roturas en las partes estructurales. Parte de este proceso se puede ver en la figura 8.



**Figura 8.** Manufactura del casco externo.

### 3.5. Ensamblaje de circuitos, sensores y actuadores

El ensamblaje electrónico se dividió en tres fases. La primera consistió en la instalación de los componentes (sensores, actuadores, conectores y cámara) en el casco externo. En la segunda, se colocaron los diversos componentes electrónicos (batería, controladores, reguladores, etc.) en el casco interno. La fase final consistió en realizar las conexiones necesarias. Se llevó a cabo un riguroso proceso de sellado para evitar fugas de agua [17]. Las figuras 9 y 10 ilustran estos procesos.



**Figura 9.** Ubicación de los sensores y cables en el ensamblaje.



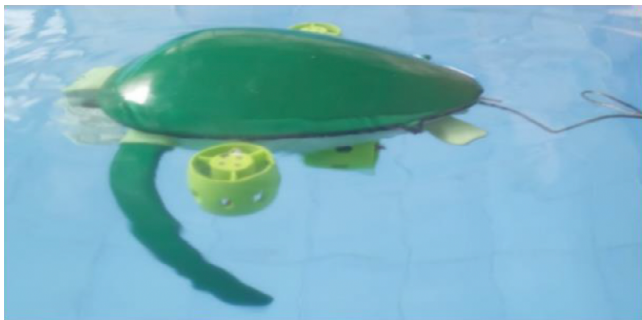
**Figura 10.** Conexión del circuito y sellado en el casco interno.

## 4. Pruebas de funcionamiento

A continuación se describen las pruebas que se realizaron en piscina.

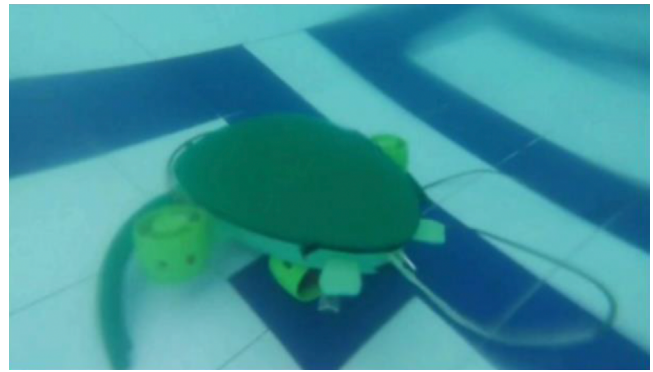
### 4.1. Primera prueba

El prototipo de dron submarino se probó en una piscina de 1,7 metros de profundidad. Durante esta evaluación se realizaron diversos ejercicios para verificar el sistema de control de movimiento, comenzando con pruebas fuera del agua y luego en la superficie (figura 11). Los movimientos fueron los esperados; sin embargo, el dron submarino experimentó algunas desconexiones no deseadas con la interfaz, lo que requirió reiniciar el ROV en cada ocasión.



**Figura 11.** Dron submarino navegando en la superficie, prueba 1.

Posteriormente, se realizaron varios ejercicios de inmersión y emersión (figura 12). La bomba encargada de vaciar el tanque de lastre falló, lo que impidió que el ROV extrajera la cantidad de agua necesaria. En consecuencia, el ROV no pudo emerger como se esperaba.



**Figura 12.** Dron submarino navegando en el fondo de la piscina, prueba 1.

Las demás pruebas tuvieron éxito, como la medición de datos o la toma de videos y fotos bajo el agua. Gracias a esta primera prueba, se decidió desarrollar varias mejoras necesarias para mejorar y optimizar el ROV.

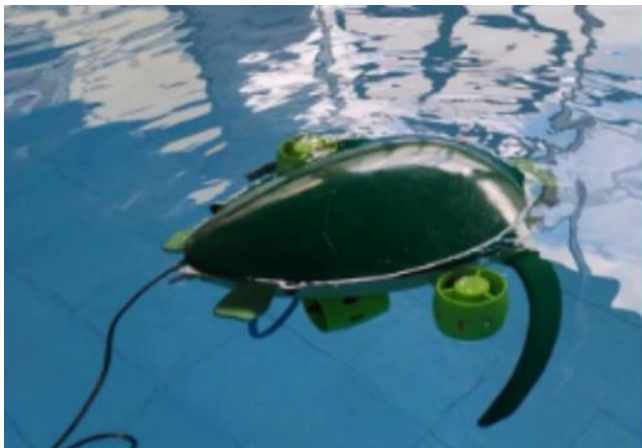
### 4.2. Mejoras y segunda prueba

Tras la prueba inicial, se hizo un estudio para determinar las posibles causas de los errores detectados. Se abrió el ROV para inspeccionar cada uno de los componentes y validar su estado.

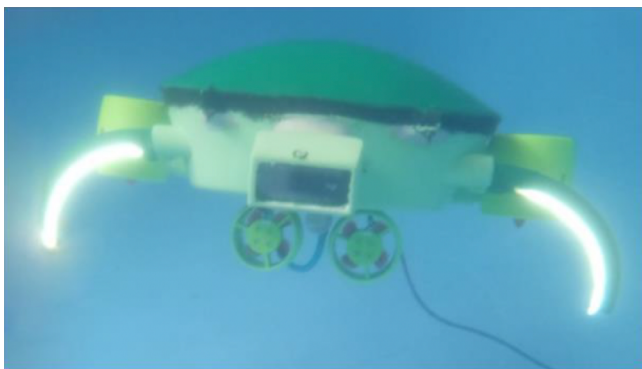
Se sustituyeron las motobombas por unas nuevas, añadiendo un regulador a 5V para su alimentación. Se incorporó un interruptor para encender y apagar el ROV, ya que se iniciaba de forma automática mediante un transistor de potencia, lo cual generaba algunos problemas de sobrecalentamiento. Este interruptor se encuentra en el casco externo y está protegido para que no entre en contacto con el agua.

La segunda evaluación se llevó a cabo en una piscina de 1,20 metros de profundidad. El ROV se probó en superficie y luego se sumergió mediante un flujo controlado de agua, desde la piscina hacia el tanque de lastre. Gracias a las nuevas motobombas, se obtuvo un control de flujo más preciso, evitando así un exceso que podría haber provocado un hundimiento brusco. Durante la inmersión se detectó cierta inestabilidad en el centro de gravedad, lo

que ocasionó una inclinación indeseada en distintas direcciones. Esta situación se corrigió eficazmente mediante el uso de motores verticales, controlados mediante la interfaz. De esta manera, el ROV cumplió su objetivo, recorriendo el fondo de la piscina y escaneando los datos del medio (figuras 13 y 14)



**Figura 13.** Dron submarino navegando en la superficie, prueba 2.



**Figura 14.** Dron submarino sumergido, prueba 2.

## 5. Resultados y conclusiones

Después de año y medio de investigación y desarrollo se completó la construcción de un prototipo funcional de dron submarino, capaz de explorar entornos acuáticos, grabar video y monitorear la contaminación por microplásticos.

Los resultados demuestran que el sensor TDS es eficaz para medir la contaminación del agua; sin embargo, cuando la salinidad es alta, como en el agua de mar, el sensor puede saturarse y proporcionar lecturas fuera del rango esperado. Esto no ocurre en agua dulce, en la cual la concentración de sal es baja o prácticamente nula, lo que garantiza una lectura estable y precisa. Por lo tanto, es fundamental tener en cuenta esta limitación al utilizar el sensor en entornos marinos o en aguas con alta salinidad, ya que puede afectar la precisión de las mediciones y, en consecuencia, el rendimiento del sistema de monitoreo.

La impresión 3D facilitó la fabricación del casco del prototipo, proporcionando flexibilidad en el diseño y reduciendo costes; no obstante, la fabricación en menos piezas, con una impresora más grande, ayudaría a reducir el uso de adhesivos y resinas, lo que resultaría en un prototipo más robusto y menos susceptible a la humedad, presión o a posibles fugas.

Como era de esperarse, gracias a los ensayos de materiales y a la simulación, el dron submarino no sufrió daño estructural durante las pruebas, ya sea por presión o química del agua.

La precisión de las mediciones de velocidad y profundidad puede mejorarse significativamente reemplazando el acelerómetro actual por un modelo de mayor rendimiento. Un sensor más avanzado proporcionaría lecturas más precisas, lo que permitiría un mejor control en tiempo real del vehículo. Alternativamente, añadir un sensor para medir la presión hidrostática sería una solución óptima para obtener datos de profundidad más fiables, mejorando así el rendimiento general de su sistema de navegación.

## Referencias bibliográficas

1. O. A. Aguirre-Castro, E. Inzunza-González, E. E. García-Guerrero, E. Tlelo-Cuautle, O. R. López-Bonilla, J. E. Olguín-Tiznado, and J. R. Cárdenas-Valdez, "Design and Construction of an ROV for Underwater Exploration," *Sensors*, vol. 19, no. 24, Art. no. 24, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/s19245387>
2. O. Garcés Ordóñez, "Contaminación por microplásticos en manglares y playas del área marina protegida de Cispatá, Caribe colombiano," *REVMAR*, pp. 9–25, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.15359/revmar.14-2.1>
3. A. L. Andrady, "Microplastics in the marine environment," *Marine Pollution Bulletin*, vol. 62, no. 8, pp. 1596–1605, 2011. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>
4. Md. R. Al Mamun, M. Ashik-E-Rabbani, Md. M. Haque, and S. M. Upoma, "IoT-based real-time biofloc monitoring and controlling system," *Smart Agricultural Technology*, vol. 9, Art. no. 100598, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100598>. d. i. t. p. l. industria, «Visión artificial», 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-vision-artificial/>.
5. C. Nevoso, F. Cavallini, A. Quick, D. Cuzzolino, and J. Junior, "A Novel Use of Normally Autonomous Subsea Drones in Direct ROV Mode for Shallow Water Pipeline Surveys," in Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference, Nov. 2025, p. D021S043R006. [Online]. Available: <https://doi.org/10.2118/221023-ms>
6. E. Buscher, D. L. Mathews, C. Bryce, K. Bryce, D. Joseph, and N. C. Ban, "Applying a low cost, mini remotely operated vehicle (ROV) to assess an ecological baseline of an indigenous seascape in Canada," *Front. Mar. Sci.*, vol. 7, p. 669, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00669>
7. C. Wiener, S. McClish, L. Mock-Bunting, and J. Virmani, "Exploration and Innovation at Sea" *Oceanography*, vol. 33, no. 1, pp. 100-109, 2020. [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/27218288>
8. D. Scaradozzi, F. Gioiello, N. Ciuccoli, and P. Drap, "A digital twin infrastructure for NGC of ROV during inspection," *Robotics*, vol. 13, no. 7, p. 96, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/robotics13070096>
9. F. Kong, Y. Guo, and W. Lyu, "Dynamics Modeling and Motion Control of a New Unmanned Underwater Vehicle," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 30119-30126, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2972336>
10. H. B. Amundsen, E. Katsidoniotaki, M. Føre, and E. Kelasidi, "Aquaculture Robotics: Adaptive Path Planning Through Real-Time Estimation of the Shape of Flexible Net Pens," *IEEE Trans. Field Robot.*, early access, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TFR.2025.3560245>
11. Z. Sha et al., "Interference cancellation and wavelet denoising for magnetometers in electric work-class ROVs," *IEEE Sensors J.*, vol. 23, no. 22, pp. 27438-27449, Nov. 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1088/1361-6501/adbd66>
12. R. C. Mendoza and M. A. Riera, "Ácido poliláctico: Una revisión de los métodos de producción y sus aplicaciones," *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, vol. 16, no. 1, Art. no. 1, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6908007>

13. G. Antonelli, F. Caccavale, S. Chiaverini, and G. Fusco, "A novel adaptive control law for underwater vehicles," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, vol. 11, no. 2, pp. 221–232, 2003. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TCST.2003.809244>
14. P. Łukasz, O. Marcin, K. Dariusz, and J. Marek, "I2C Interface Design for Hardware Master Devices," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 45, no. 7, pp. 163–168, 2012. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3182/20120523-3-CZ-3015.00033>
15. S. Maurya, B. Malik, P. Sharma, A. Singh, and R. Chalisgaonkar, "Investigation of different parameters of cube printed using PLA by FDM 3D printer," *Materials Today: Proceedings*, vol. 64, pp. 1217–1222, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.700>
16. A. A. C. Romero, "Sistemas de reparación estructural de pavimento rígido con inyecciones de resinas epóxicas," *Rev. Ing.*, vol. 6, no. 14, pp. 64–81, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v6i14.91>
17. A. Miller and J. I. Virmani, "Advanced marine technologies for ocean research," *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, vol. 212, Art. no. 105340, 2023. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2023.105340>