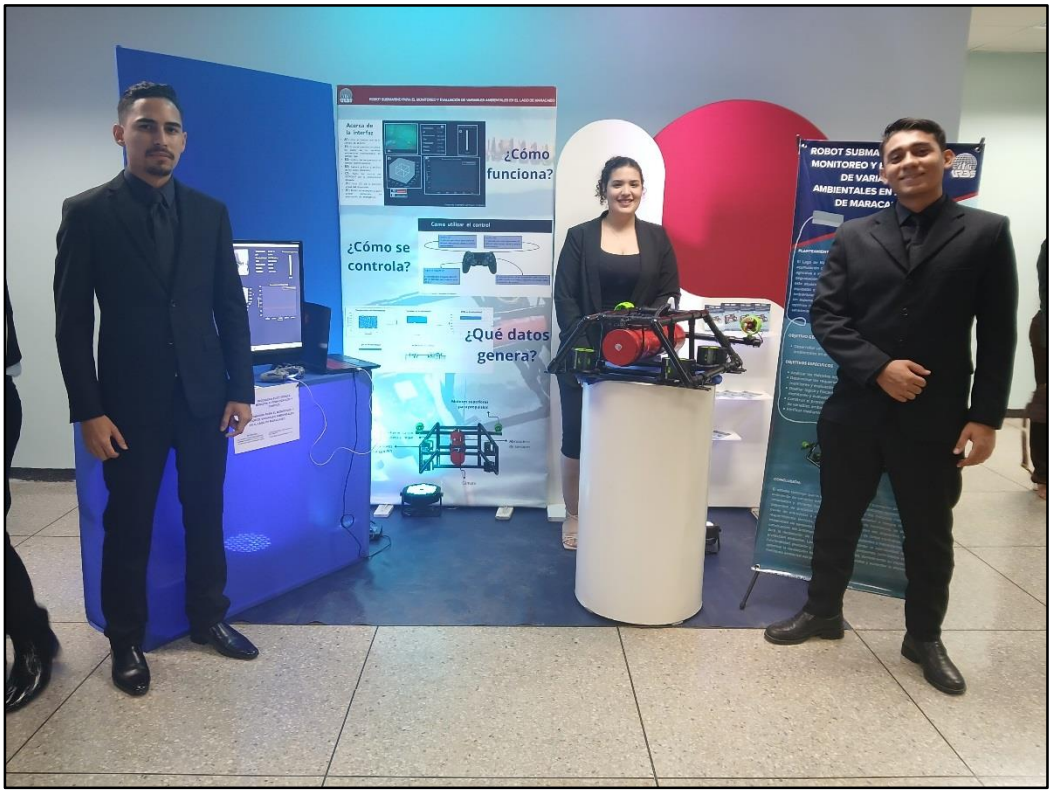

ROBOT SUBMARINO PARA EL MONITOREO Y EVALUACIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES EN EL LAGO DE MARACAIBO

Realizado por:
Ing. Mariana Alcántara / Correo: marianaalcantara398@gmail.com
Ing. Ronald Fuenmayor / Correo: ronal.jose1@hotmail.com
Ing. Isaías Villalobos / Correo: isaiasvillalobos07@gmail.com

Tutor Académico:
Ing. José González / Correo: jjgonzalez1@urbe.edu.ve

Tutor Metodológico:
Dra. María Paz / Correo: mapaz1@urbe.edu.ve

En la actualidad, la contaminación de cuerpos de agua representa uno de los mayores desafíos ambientales, con consecuencias devastadoras para los ecosistemas y las comunidades que dependen de ellos. El Lago de Maracaibo es uno de estos casos, este enfrenta graves problemas debido a la contaminación por derrames petroleros, desechos químicos y el crecimiento descontrolado de algas como la lemna SP. Estas condiciones amenazan la biodiversidad acuática e impactan negativamente en la salud pública.

Ante este panorama, el monitoreo constante de las variables ambientales del lago se ha convertido en una necesidad crítica para implementar medidas efectivas. Sin embargo, los métodos tradicionales de medición, que involucran el uso de vehículos marítimos y varios sensores, lo cual es limitante para el organismo que los ejerce. Estos métodos no solo son costosos y logísticamente complejos, sino que también exponen al personal a ambientes peligrosos, con altos niveles de contaminación y condiciones físicas adversas.

En este contexto, la robótica submarina emerge como una solución innovadora y eficiente. Los vehículos operados remotamente (ROV) han demostrado su utilidad en diversas aplicaciones marítimas a nivel mundial, desde la inspección de infraestructuras submarinas hasta la exploración científica. Su capacidad para operar en entornos hostiles, recopilar datos en tiempo real y reducir la dependencia de recursos humanos los convierte en una herramienta valiosa para el monitoreo ambiental.

El presente estudio se enfoca en el diseño y desarrollo de un robot submarino destinado al monitoreo y evaluación de variables ambientales en el Lago de Maracaibo. Este dispositivo busca ofrecer una alternativa rápida, precisa y segura para la recolección de datos, contribuyendo así al Plan Maestro y Estratégico para el Rescate, Conservación y Desarrollo Sostenible del Lago. Además, el prototipo pretende reducir los costos operativos y minimizar el impacto ambiental asociado a los métodos tradicionales. El propósito de esta investigación es abordar los desafíos técnicos y científicos vinculados al desarrollo del robot submarino, estableciendo los requerimientos necesarios para su funcionamiento óptimo.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se implementó la denominada definición del problema en donde la técnica de recolección de datos para darle desarrollo consiste en entrevistar a profesionales en el área la cual se aplica para brindar una mejor descripción al problema planteado. En esta primera fase se elaboró un guion de entrevista aplicado a un (1) Ingeniero Electrónico con experiencia en transmisión de datos y profesor en la catedra de robótica. De la misma manera, se consultó con la Institución de Control y Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo (ICLAM), ente actualmente encargado del monitoreo de las variables ambientales del Lago, con el propósito de entrevistar a los encargados del sistema actual en el área de recolección de datos de las variables ambientales; se entrevistó a un (1) bioanalista encargado del proceso de análisis.

Finalmente, en base a las ideas presentadas en la totalidad de la entrevista realizada al Bioanalista, se toma como aspecto fundamental las variables esenciales a ser medidas y la frecuencia de este monitoreo, también se toma en cuenta la cantidad de puntos a los que se debe transportar y los niveles a las que el robot submarino debe sumergirse. Además, se deben tomar en cuenta la diferencia en la recolección de muestras y las cantidades necesarias para los análisis pertinentes.

Este estudio busca innovar mediante el diseño y construcción de un prototipo de sistema de monitoreo de variables ambientales, implementado en un vehículo submarino no tripulado controlado remotamente, sensores que recolecten estos datos. El sistema permitirá obtener datos de las variables en tiempo real sobre las condiciones ambientales de la zona a explorar, contribuyendo al análisis y evaluación del entorno. Para llevar esto a cabo, se integran diferentes automatismos, clasificados en cableados y programables.

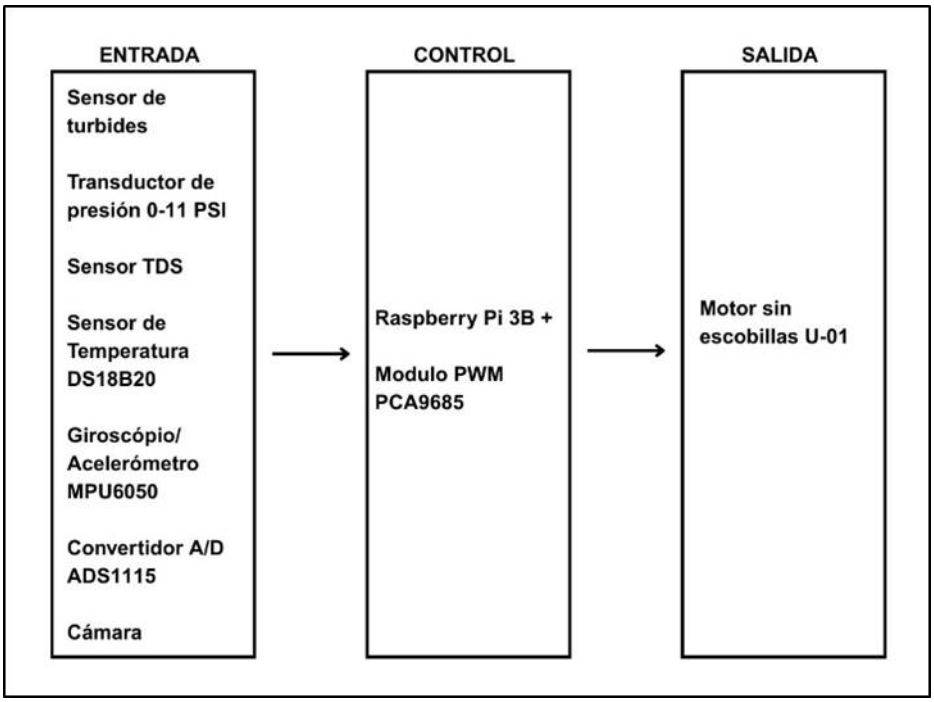

Figura 1: Diagrama de Bloque
Fuente: Alcántara, Fuenmayor y Villalobos (2025)

A continuación, se definen y se dan las especificaciones de cada uno de los componentes que conforman los periféricos de entrada, los automatismos cableados, su estructura y características imprescindibles tanto para la toma de variables a recolectar como de los sensores necesarios para orientar el movimiento y la estabilidad del robot submarino.

- **DS18B20. Sensor de temperatura digital:** En este proyecto se utilizarán para el monitoreo de la temperatura del Lago.



Figura 2: DS18B20. Sensor de temperatura digital
Fuente: EBay

- **ADS1115 Convertidor analógico-digital de 16 bits:** En este proyecto, este módulo se encargará de transmitir los datos recibidos por los sensores al microcontrolador de manera legible y analizable.

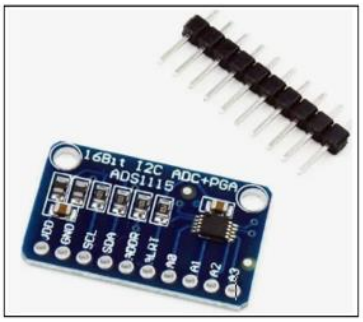

Figura 3: ADS1115. Convertidor analógico-digital de 16 bits.
Fuente: Home Depot

- **Sensor de movimiento (acelerómetro y giroscopio):** En este proyecto se utilizará para mantener en todo momento nivelado el robot submarino, estará como entrada para un PID que lo estabilizará en todo momento con respecto a la tierra.



Figura 4: MPU6050 Sensor de movimiento
Fuente: Alibaba

- **Transductor de Presión 0-100 PSI**En este proyecto, será utilizado no solo para el medir la presión que comprime el robot, sino que también nos permite, a través de un cálculo simple, obtener la profundidad exacta en la que se encuentra el submarino.



Figura 5: Transductor de Presión 0-100 PSI Sensor de presión
Fuente: Alibaba

- **Sensor de pH Arduino (PH0-14):** Para este proyecto, se utilizará para el monitoreo continuo de los niveles de acidez en el Lago de Maracaibo, posicionado en contacto directo con el medio a ser evaluado.



Figura 6: Sensor de pH Arduino (PH0-14)
Fuente: Alibaba

- **KS0414. Sensor de turbidez:** En el proyecto, será utilizado para monitorear la turbidez del agua de manera continua.



Figura 7: Sensor de turbidez
Fuente: Alibaba

- **KS0429 Sensor de TDS:** En este proyecto, será utilizado para monitorear la conductividad del agua del Lago de manera continua.

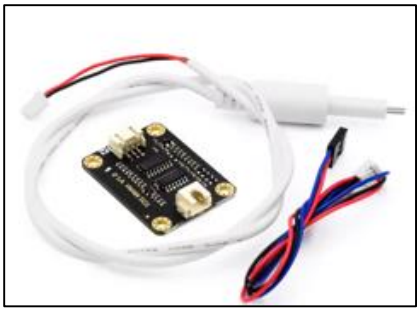

Figura 8: KS0429 Sensor de TDS
Fuente: Alibaba

- **Cámara de reserva inversa RAAYOO L002:** En el proyecto, será utilizado para guiar visualmente al operador del vehículo.



Figura 9: Cámara de reserva inversa RAAYOO L002
Fuente: Alibaba

A continuación, se definen y se dan las especificaciones de cada uno de los automatismos cableados, y su estructura, que conforman los periféricos de la etapa de control.

- **PCA9685 Controlador de servomotores de 16 canales:** En este proyecto, se utilizará el controlador de PWM para llevar el control de la posición del vehículo a través de un PID.

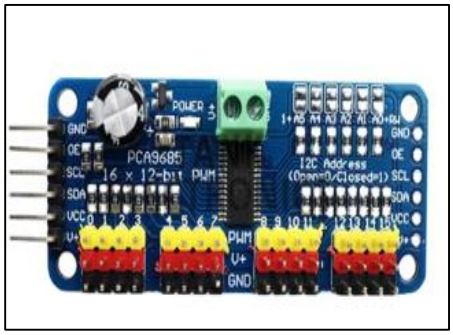

Figura 10: PCA9685 Controlador de servomotores de 16 canales.
Fuente: Alibaba

- **RASPBERRY PI 3B.** Para este proyecto, funcionara como el procesador central del robot submarino.

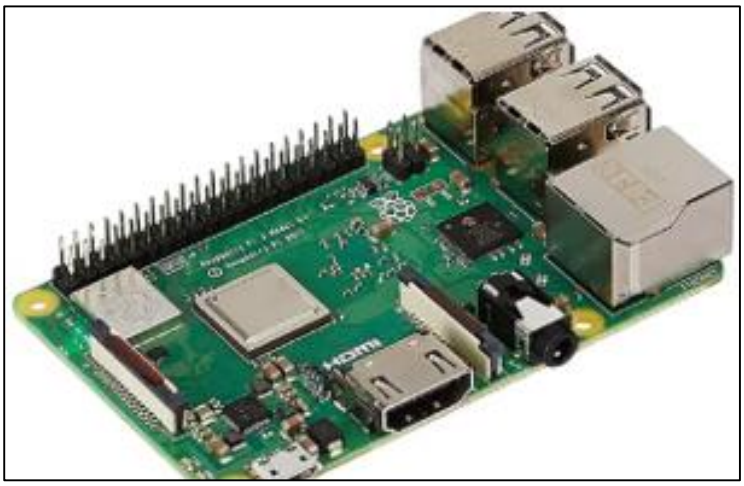

Figura 11: Placa de desarrollo Raspberry pi 3b
Fuente: Alibaba

A continuación, se definen y se dan las especificaciones de cada uno de los componentes que conforman los periféricos de la etapa de salida, los automatismos cableados y su estructura.

- **Motor sin escobillas U-01: En** este proyecto será la movilidad del vehículo en 6 grados de libertad.

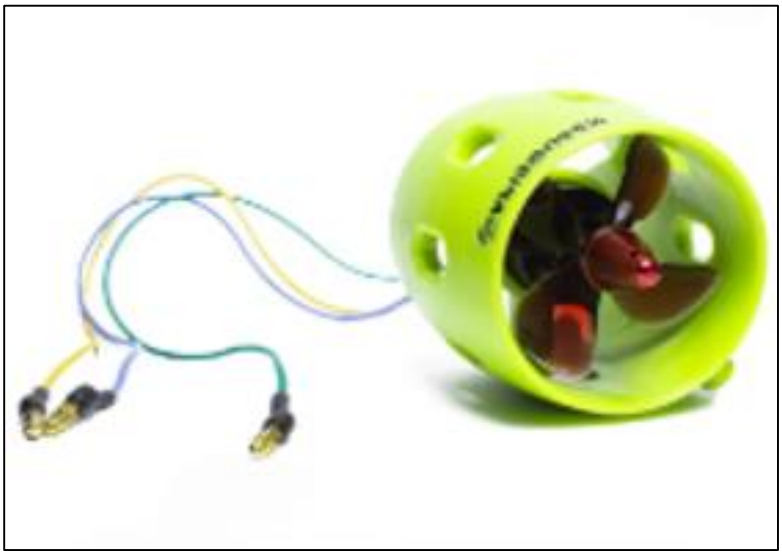

Figura 12: Motor sin escobillas U-01
Fuente: Amazon

Para continuar con el desarrollo del software, debemos establecer el diagrama general que utilizaremos como base. Este diagrama, al ser general, no detallará las pequeñas subrutinas, pero

será útil para entender el funcionamiento macro del software. Servirá como guía para la implementación y permitirá visualizar cómo se integran las distintas partes del sistema.

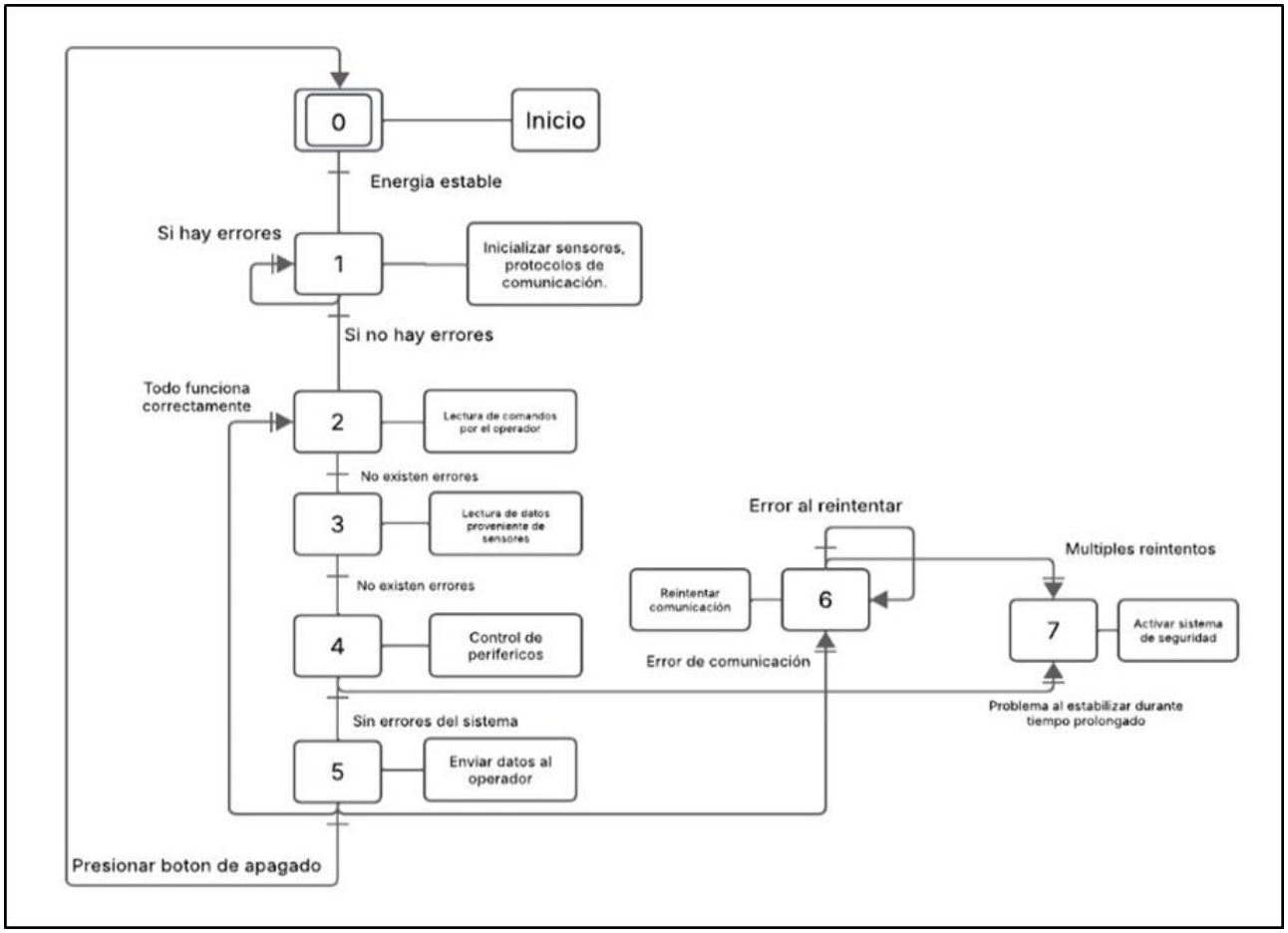

Figura 13: Diagrama de GRAFCET
Fuente: Alcántara, Fuenmayor y Villalobos (2025)

En este gráfico se puede observar que trabajamos con un método condicional para cada etapa, esto significa que ciertas características deben ser cumplidas antes de proceder a realizar la acción requerida por el sistema, cada acción tiene condiciones específicas y por la demanda que se necesita para la recolección y movimiento del vehículo, existen etapas que deben ser llevadas en paralelo.

A partir de los requerimientos, a nivel de hardware y de software, que son necesarios para el adecuado cumplimiento del monitoreo y evaluación de las variables ambientales, y tomando en consideración, los periféricos antes descritos para el desarrollo de este proyecto, se obtiene un diseño físico, tanto de la parte estructural como la circuitería interna, la cual, se estructura de la siguiente manera.

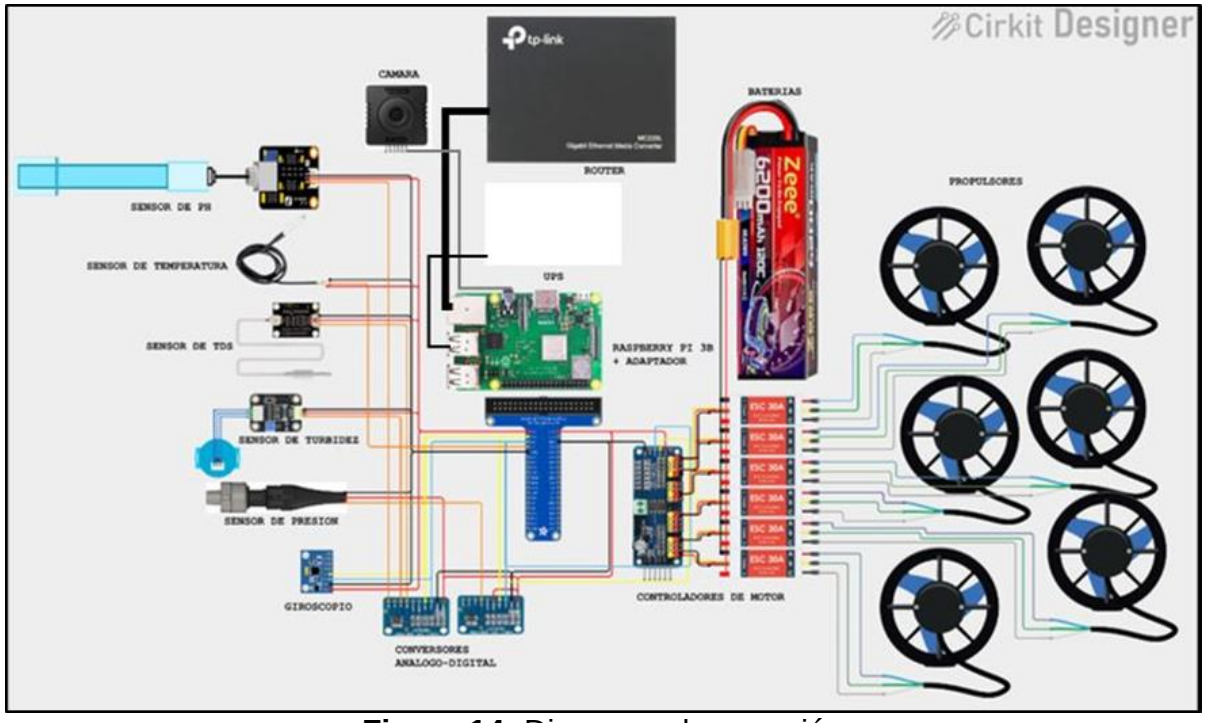

Figura 14: Diagrama de conexión
Fuente: Alcántara, Fuenmayor y Villalobos (2025)

Para la alimentación de este circuito, se consideró el uso de un mini UPS para alimentar la circuitería principal, la cámara y el Router, y dejar un sistema de alimentación de baterías por separado para los motores, esto debido a la demanda de voltaje y los pico de amperaje que los motores pueden necesitar en los cambios de velocidades, para conocer la demanda necesaria se realizó una prueba de voltaje y amperaje a distintas velocidades, la programación nos permitió variar la velocidad en 6 niveles y comprobamos cada

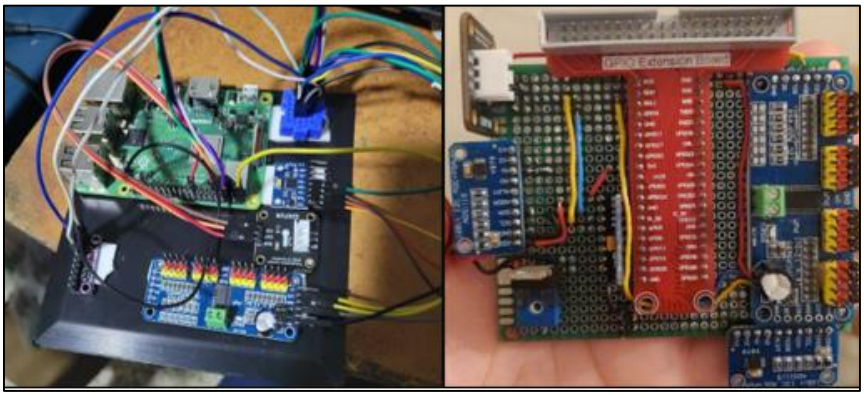

Figura 15: Conexiones principales de circuitería
Fuente: Alcántara, Fuenmayor y Villalobos (2025)

De forma consecutiva, se hace la primera conexión de conexión física de los sensores con el microcontrolador y a su vez al UPS para certificar el adecuado funcionamiento de la programación, a su vez.

Simultáneamente, se ensamblan las partes que constituyen el cuerpo incluyendo la cámara hermética. Para su construcción se realizó el cortado de un tubo de 4 pulgadas de PVC de 52 cm para la cámara hermética, 25 piezas de tubería de ¾ de pulgada, 8 de ½ pulgadas, 16 TEEs, 8 codos y 2 terminales para ensamblar el resto del cuerpo**,** aunado a esto, para sostener la cámara, se perforaron dos tubos colocando una varilla roscada en forma de “U”, la cual sostiene el cuerpo en dos puntos y es ajustada a sus extremos con tuercas.



Figura 16: Construcción de cuerpo del submarino
Fuente: Alcántara, Fuenmayor y Villalobos (2025)

Con los componentes ubicados, y el cuerpo estructurado, se procede a pasar el cableado de los motores por dentro de las tuberías, cuidando solo tener perforaciones en la salida directa de cada motor, de manera que pueda estar protegido el cableado de la quedar expuesto al agua, para ello, se unen las alimentaciones de los motores por cada lado y se sueldan el cableado con los cables de extensión, protegiendo con termo reducibles cada soldadura, los ESC para control de cada motor también se sueldan y se depositan en las tuberías cercanas a su motor respectivo.



Figura 17: Soldadura y cableado interno
Fuente: Alcántara, Fuenmayor y Villalobos (2025)

Posterior a la conexión interna, se realiza el pintado del cuerpo y de la tubería, se colocan los soportes de los motores en su lugar, esto son dos regletas que fijan los motores con la tubería más cercana a ellos, y al motor paralelo en ubicación, y se conecta el Router por una manguera externa, el Router está en una cajera IP68, para protección contra humedad, agua y polvo.



Figura 18: Pintado y conexión del Router
Fuente: Alcántara, Fuenmayor y Villalobos (2025)

Del mismo modo, se diseñaron los soportes del motor por Blender, para poder aportarle mayor firmeza a esta estructura, previendo la vibración por la fuerza de los propulsores, se le agregaron unos soportes de una mezcla de metales con acero inoxidable, estos se cortaron con esmeril a medida, se taladraron para unirse a la estructura con tornillos y se cubrieron con fondo para protegerlos de corroerse.

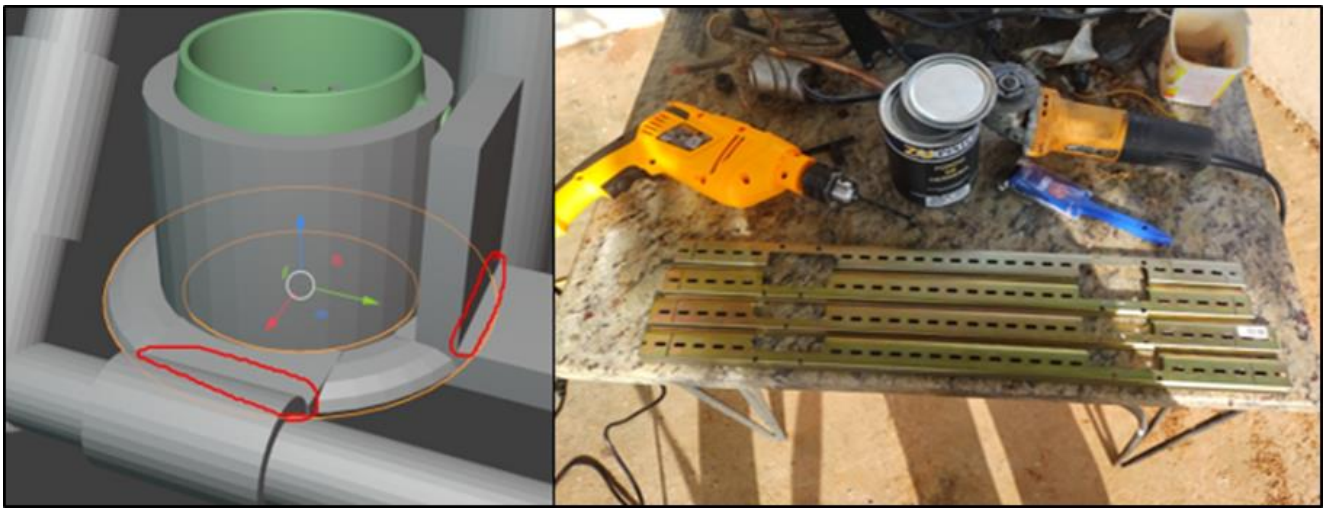

Figura 19: Estructura del soporte de los motores
Fuente: Alcántara, Fuenmayor y Villalobos (2025)

Por consiguiente, se procede a ensamblar y conectar todo el cableado del dispositivo, se fijan todas las conexiones de los sensores en el rack y de la señal de los motores en su módulo, se coloca el cableado interno en el rack de la alimentación de los motores, pasando primero por un fusible para salvaguardar el equipo y uniéndolo mediante un par de borneras para fijar la conexión firmemente, luego de estas conexiones se conecta la alimentación de la cámara en el UPS, y la conexión del Wi-Fi en el Raspberry, encendiendo el equipo para comprobar las conexiones.

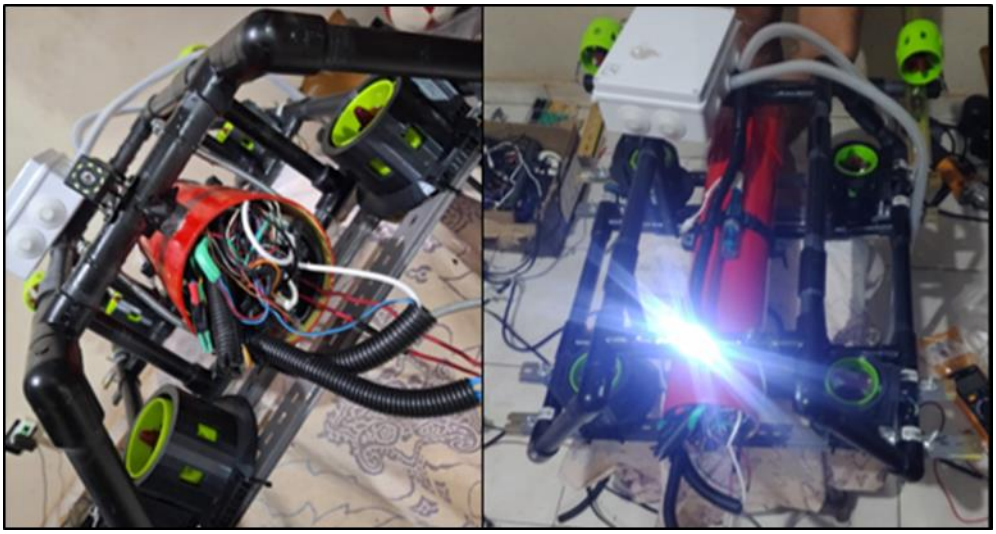

Figura 20: Conexión completa y prueba
Fuente: Alcántara, Fuenmayor y Villalobos (2025)

Finalmente, el prototipo está listo para ser probado en el agua para un chequeo de hermeticidad, para lo cual terminamos de introducir los cables expuestos, llenamos con soldadura de PVC todas las juntas y cualquier perforación para salida de cables y los tornillos que sostienen la cámara, se le coloca la tapa y se comprueba el adecuado funcionamiento de todos los sistemas.

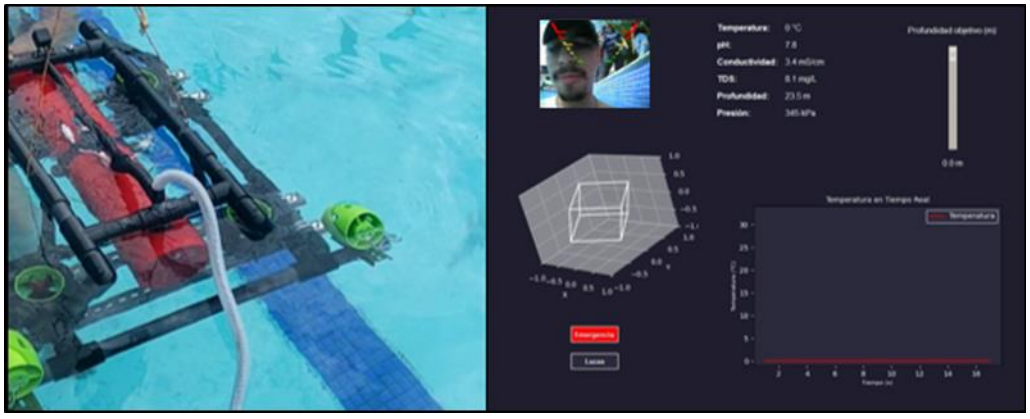

Figura 21: Hermeticidad y prueba completa
Fuente: Alcántara, Fuenmayor y Villalobos (2025)

Como se evidencia, se realizó la primera inmersión del vehículo, la cual, gracias a las medidas implementadas, se logró sellar correctamente, evitando filtraciones en cualquier sección. El equipo responde a los comandos de movimientos y los sensores funcionaron perfectamente en todo el viaje, recolectando los datos por tiempo y las imágenes de la cámara y almacenando los mismos en la computadora del operador.

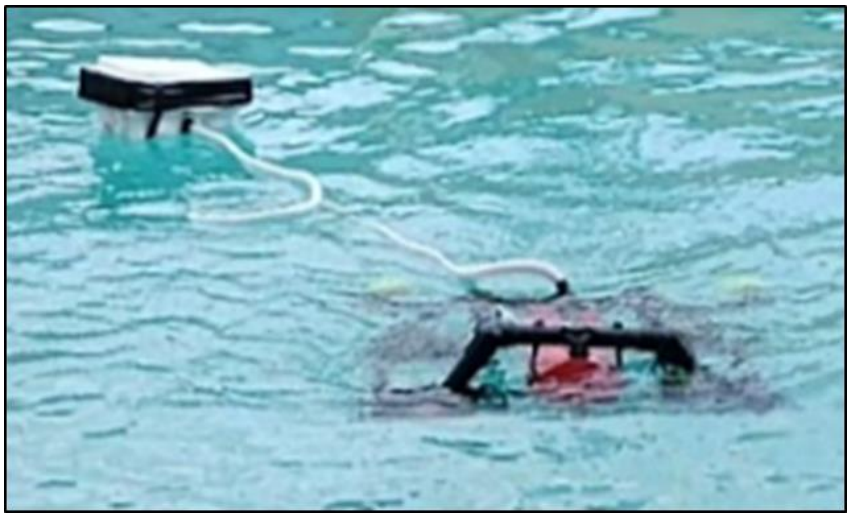

Figura 22: Resultado final
Fuente: Alcántara, Fuenmayor y Villalobos (2025)

En resumen, los procedimientos descritos en las fases previas fueron los adecuados para la ejecución del proyecto, ya que detallan cada etapa de manera precisa, facilitando futuras investigaciones. Asimismo, se especifican los requisitos de los sistemas empleados, el diseño base y las pruebas finales, las cuales fueron exitosas y confirmaron los resultados esperados.

CONCLUSIONES

El análisis exhaustivo y la validación rigurosa de los resultados obtenidos en esta investigación permiten establecer las siguientes generalizaciones, formuladas para responder a cada uno de los objetivos específicos planteados en el estudio. Estas conclusiones se alinean con el objetivo general, enfocado en el desarrollo de un robot submarino para el monitoreo y evaluación de variables ambientales en el Lago de Maracaibo. A continuación, se presentan las conclusiones alcanzadas al finalizar la investigación.

Se pudo evidenciar por medio el desarrollo de la primera fase de definición del problema, llevada a cabo mediante entrevistas a especialistas en el área, lo cual permitió identificar limitaciones significativas en los sistemas tradicionales, tales como la dependencia de procesos

manuales, la falta de automatización en el control de profundidad y la exposición a riesgos del personal, lo que justifica la necesidad de innovar en este ámbito mediante soluciones tecnológicas más eficientes.

A través de entrevistas a expertos y el estudio de normativas aplicables, permitiendo definir las variables ambientales prioritarias a monitorear, las características estructurales y de seguridad del vehículo, así como la integración de sensores y sistemas de transmisión de datos que garanticen la funcionalidad y la fiabilidad del sistema en condiciones adversas. El trabajo desarrollado ha permitido establecer las bases conceptuales y técnicas para la elaboración de diagramas, la selección de materiales resistentes a la corrosión y la planificación de mecanismos de recolección de datos y muestras, considerando tanto la operatividad remota como la protección del entorno y del propio dispositivo.

Se procedió a la construcción de simulaciones y evaluación de calidad del diseño mediante pruebas, en la cual se logró construir un diseño para el cuerpo del prototipo cumpliendo con los requisitos y parámetros de funcionamiento, resistencia y aerodinámica necesarios para el medio. En síntesis, el trabajo de investigación está cumpliendo con los objetivos de analizar, determinar, diseñar, construir y verificar un sistema innovador para el monitoreo y evaluación de variables ambientales mediante un robot submarino. Lo logrado, contribuirá significativamente a optimizar los procesos de monitoreo ambiental en el Lago de Maracaibo, mejorando la seguridad, la eficiencia y la calidad de los datos recolectados.

Del mismo modo, se sugiere usar personal capacitado para la manipulación del vehículo submarino, que este tenga conocimientos de navegación hasta los puntos a específicos a medir y así agilizar el monitoreo de las variables ambientales. Finalmente, el vehículo submarino puede ser mejorado utilizando un mejor material de construcción, que sea más resistente a la presión encontrada a estas profundidades, con el fin de sumergirse a una mayor hasta el fondo, donde las condiciones marinas son críticas para los buzos, ya que a cierta profundidad los buzos no pueden exceder el tiempo límite sumergido.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Cabrera, M. y Tarrés, F. (2013) **INTRODUCCIÓN A LOS SISTEMAS DE COMUNICACIONES**. Universitat Oberta de Catalunya. Barcelona, España.

Cervantes, J. (2019) **VEHICULOS SUBMARINOS AUTONOMOS.** Publicación Semestral Padi. Hidalgo, México.

Fernández, M. (2014) MEDIOS DE TRANSMISIÓN. Universidad de Cádiz Facultad de Ciencias Sociales y de la Comunicación Grado en Gestión y Administración Pública. Cádiz, España.

Gagneten, A y Mercedes R. (2022) **AMBIENTES ACUÁTICOS DE LA PROVINCIA DE SANTA FE PROTOCOLOS DE MONITOREO CON PERSPECTIVA SOCIOECOLÓGICA.** Ediciones Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.

Moreno, H. Saltarén, R. Puglisi, L. Carrera, I. Cárdenashd, P. y Álvarez, C. (2014) ROBÓTICA SUBMARINA: **CONCEPTOS, ELEMENTOS, MODELADO Y CONTROL.** Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.

Sanchís, J. (2010) **AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**. Universitat Jaume I. Castellón de la Plana, España.

Savant, C. Roden, M. y Carpenter, G. (1992) **DISEÑO ELECTRÓNICO. CIRCUITOS Y SISTEMAS** Tercera Edición. Editorial Pearson Education. Madrid, España