

UNIVERSIDAD MODELO

Escuela de Ingeniería

INGENIERÍA MECATRÓNICA

7to Semestre

Anteproyecto:

**ROV para Mapeo de Cuevas
Submarinas**

Proyectos VII

Integrantes:

José Fuertes Martínez

Pedro Abraham Reyes Alcocer

Antonio Navarro Casanova

®

Docente:

Rodrigo Daniel Solís Ortega

Mérida, Yucatán, México

03/10/2023

Introducción

En el transcurso de este documento, se llevará a cabo la exhaustiva documentación correspondiente al proceso de desarrollo de un proyecto de gran relevancia: la creación de un prototipo de ROV (Remotely Operated Vehicle) especializado en la exploración y cartografía de sistemas de túneles y cuevas submarinas en la península de Yucatán. La importancia de este proyecto se justifica mediante la obtención de información detallada y precisa sobre la extensión y la interconexión entre estos sistemas subacuáticos. La implementación de avanzadas técnicas y tecnologías de mapeo, como el SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), sensores sonar, visión por computadora y aprendizaje automático, es esencial para llevar a cabo la navegación de manera autónoma y la generación de mapas tridimensionales precisos del entorno submarino en tiempo real. Estos elementos permiten estimar con precisión la posición del vehículo y, en última instancia, trazar un mapa tridimensional de alta calidad del entorno subacuático.

Marco Teórico

Un dron o robot submarino es otro nombre para un ROV, que es un vehículo submarino operado de forma remota. Mientras el operador, o piloto, se siente cómodo en la superficie, los ROV pueden explorar el entorno submarino. En la década de 1960, la Marina de los EE. UU. comenzó a utilizar ROV para recuperar equipos submarinos y siguió desarrollando la tecnología. En ese momento se utilizaban más de 500 ROV, de los cuales se utilizaban con fines comerciales(What is an underwater ROV, 2019) .

El diseño y operación de un ROV combina de manera única elementos de física, ciencia, ingeniería, programación, oceanografía y biología. La composición del robot pueden cambiar con base a las distintas tareas o necesidades de la misión,

La implementación de esta tecnología en el área de exploración y monitoreo oceanico es una tendencia predecible, siendo esta la frontera de conocimiento más grande del planeta, pero también una de las más inaccesibles. Los ROV son una de las mejores herramientas para llegar, explorar y estudiar el océano. Instituciones de investigación, incluida la Institución Oceanográfica Woods Hole (WHOI), el Instituto de Investigación del Acuario de la Bahía de Monterey (MBARI), el Instituto Oceánico Schmidt (SOI) y otros, utilizan drones ROV para medir, catalogar y comprender el océano(What is an underwater ROV, 2019).

Unas de las patentes que ha llamado la atención es el dron CPS en el cual tiene como punto clave la parte electrónica ya que se desarrolla un diseño de estructuración que logre unir ciertos componentes y tener un control de ellos, teniendo una monitorización precisa del dispositivo que genera eficiencia de la batería, manejo eficiente de las instalaciones de sensores, la comunicación con el usuario, junto con el control del desplazamiento por parte de los propulsores. Dentro de este punto, este, se le puede denominar como la creación de un robot o dron submarino de manera sencilla y eficiente cumpliendo con el objetivo de exploración dentro de los cuerpos de agua (M. A. C., 2021).

El mapeo detallado de las cuevas y cenotes en la península de Yucatán permitirá a los científicos comprender mejor la geología subterránea, la hidrología, la biodiversidad y los procesos biogeoquímicos que ocurren en estos ecosistemas únicos. La aplicación de tecnologías de mapeo 3D de cuevas submarinas implementada a los drones permite una oportunidad para la resolución efectiva de nuestra problemática. El mapeo 3D se realiza mediante técnicas de sensado de posición como SLAM (Simultaneous Localization and Mapping), sonar y varios otros sensores, que establecen la conexión del vehículo autónomo no tripulado a un sistema externo de procesamiento de información con el fin de generar un mapeo tridimensional preciso de los entornos submarinos, en particular, las cuevas subacuáticas. Esta información resulta esencial tanto para la investigación científica como para aplicaciones de exploración de recursos naturales o búsqueda y rescate. El uso de tecnologías SLAM se ha convertido en una herramienta clave para la navegación autónoma y el mapeo simultáneo de estos drones subacuáticos (Muscas et al., 2019).

El SLAM submarino implica la capacidad de un vehículo subacuático para estimar su posición y crear un mapa del entorno en tiempo real. Esta tecnología se basa en una serie de sensores, incluyendo cámaras, sensores iniciales y, en particular, sonar. Investigadores como Chien et al. (2019) destacan que el uso de sensores sonar de alta resolución es esencial para la percepción subacuática, permitiendo la detección de objetos y obstáculos en entornos complejos como cuevas submarinas. Scharff et al. establecen las bases de un sistema de relocalización autónomo basado en la retroalimentación de la información sensada por el SLAM para reestablecer el punto de interés para seguir generando la nube de puntos cuando el sistema SLAM se ve interrumpido; Utilizando un sistema inspirado en la documentación de los experimentos realizados en la universidad de Heriot-Watt por el equipo de trabajo del proyecto. Además de la tecnología SLAM y los sensores sonar, la implementación del control

asistido por sistemas de visión por computadora y aprendizaje automático, enfocados en mejorar la interpretación de datos y la eficiencia de mapeo 3D en entornos subacuáticos. Xin Zhichao de la Universidad Oceanográfica de China people la implementación de un sistema (ULL-SLAM) similar al previamente mencionado, el cual se especializa en el mapeo en situaciones de poca visibilidad o poca luz; añadiendo sistemas como estos podemos asegurar el funcionamiento adecuado de las capacidades de mapeo del prototipo a realizar.

Problemática

La falta de información detallada sobre los sistemas de cuevas submarinas en la península de Yucatán plantea problemas ecológicos, geológicos y culturales. La falta de datos precisos dificulta la conservación de la biodiversidad, la comprensión de procesos geológicos y la preservación de sitios arqueológicos. Resolver esta problemática es esencial para proteger este recurso natural y cultural único.

Justificación

Debido a la naturaleza del tipo de sistema de cuevas, estas suponen un riesgo alto en su exploración ya que normalmente son sistemas complejos de cuevas y túneles en los cuales es fácil perderse así como suponen un riesgo de vida para los exploradores y es importante mantenerlos intactos lo mayor posible debido a su relevancia cultural y arqueológica, por lo que reducir el riesgo a exploradores y aumentar la eficiencia en el mapeo y la cartografía de este sistema de cuevas.

Objetivos

General: Crear y desarrollar un prototipo de ROV submarino para la exploración, mapeo y cartografía precisa de sistemas de túneles y cuevas subacuáticas en la península de Yucatán.

Específicos:

- Investigar acerca de los Modelos ROV existentes para aplicaciones submarinas y crear una propuesta de diseño de prototipo.
- Realizar pruebas de funcionalidad de las partes importantes sobre los ROV submarinos para validar nuestro prototipo.
- En base las pruebas realizadas diseñar un ROV submarino básico e implementar mejoras y/o correcciones observadas durante las pruebas de funcionalidad
- Verificar el funcionamiento del ROV en un ambiente controlado.

- Realizar investigaciones sobre los softwares disponibles para realizar mapeo submarino y sus requerimientos electrónicos para elegir la opción más viable.
- Realización de pruebas del software de mapeo externo al ROV.
- Realizar pruebas de funcionalidad del ROV con el sistema de mapeo integrado.
- Aplicar mejoras y/o correcciones al ROV en diseño, electrónica y software para presentar un MVP del ROV submarino.
- Realizar pruebas de control y mapeo en un área controlada del diseño final del ROV.

Metodología

La metodología se basará en la combinación de investigación teórica, diseño, desarrollo técnico y evaluación económica. Se utilizarán herramientas de modelado y simulación, así como pruebas prácticas en entornos acuáticos controlados para validar el funcionamiento del prototipo ROV. Además, se buscará conectar con la red de expertos involucrados en los temas de interés, considerando la retroalimentación para verificar la calidad y eficacia del proyecto. La metodología propuesta se divide en varias etapas que abordarán de manera sistemática y detallada cada uno de los objetivos planteados, y siguiendo el objetivo general de este trabajo, el cual es el diseño y desarrollo de un prototipo dron ROV submarino para el mapeo y cartografía de sistemas de túneles y cuevas.

1. Diseño y control de un ROV submarino:

- a. Se llevará a cabo una investigación de la literatura científica y técnica relacionada con el diseño y control de ROV submarinos. Se identificarán las mejores prácticas y tecnologías disponibles en la actualidad. Implementando tecnologías novedosas que brindan beneficios particulares para la realización del mapeo 3D.
- b. Se procederá a diseñar el ROV teniendo en cuenta los requisitos específicos para la exploración de sistemas de túneles y cuevas subacuáticas. Esto incluirá la selección de materiales, componentes y sistemas de propulsión adecuados.
- c. Se implementará un sistema de control que permita la operación remota y autónoma del ROV. Esto incluirá la programación de controladores y la integración de sensores necesarios para la navegación y el mapeo.

2. Uso de sensores y visión por computadora para el mapeo de áreas:

- a. Se elegirán sensores adecuados, como sonares, cámaras y otros dispositivos, para la detección de obstáculos y la captura de datos del entorno submarino.
- b. Utilizando algoritmos de procesamiento de datos, tales como SLAM permiten la generación de mapas tridimensionales precisos de los sistemas de túneles y cuevas.
- c. Se incorporará la visión por computadora para mejorar la percepción del entorno subacuático y permitir la detección de características importantes en la cartografía, especialmente considerando las condiciones de claridad del medio que puede presentarse por sedimento acumulado en los sistemas acuíferos.

3. Creación del prototipo final con menor inversión económica que las alternativas existentes:

- a. Se realizará un análisis detallado de los costos asociados al diseño y construcción del ROV, incluyendo materiales, componentes y mano de obra.
- b. Realizaremos validación y verificación de componentes similares con el propósito de reducir los costos sin comprometer la calidad y la funcionalidad del prototipo.

Plan de Trabajo

A continuación se presenta el plan de trabajo representado en un Diagrama de Gantt, este nos ayuda a visualizar las tareas y actividades a realizar así como los responsables de realizarlas. La línea de tiempo del proyecto se tiene propuesto a un año pero al final del 7to semestre se debe tener el diseño del prototipo con los componentes a utilizar para que en el 8vo semestre se inicie la implementación y pruebas.

No.	Actividad	Responsable	Estado
0	Documentación ante proyecto	José Fuertes, Antonio Navarro, Pedro Reyes	Realizado
1	Revisar la información técnica y científica en diseño	José Fuertes, Antonio Navarro	
2	Revisar la información tanto técnica como científica en control de ROV	José Fuertes, Pedro Reyes	No realizado
3	Selección de componentes	José Fuertes	No realizado
4	Selección de sistemas de propulsión	Pedro Reyes	No realizado
5	Selección de materiales	Antonio Navarro	No realizado

6	Diseñar el ROV considerando los requisitos específicos para la exploración de sistemas de túneles y cuevas subacuáticas.	Antonio Navarro	No realizado
7	Diseñar un sistema de control , que permite la operación remota y autónoma del ROV	José Fuentes, Pedro Reyes	No realizado
8	Selección de sensores, cámaras y otros dispositivos de exploración, acondicionados para detección de obstáculos y captura del entorno	José Fuentes, Antonio Navarro, Pedro Reyes	No realizado
9	Emplear y conocer SLAM, para la generación de mapas tridimensionales	José Fuentes, Antonio Navarro, Pedro Reyes	No realizado
10	Incorporación de visión asistido por computadora, para la percepción del entorno y mayor detección de características.	José Fuentes	No realizado
11	Documentar una análisis detallado de los costos asociados para el diseño y construcción del ROV.	Pedro Reyes	No realizado
12	Realizar la validación verificación de componentes similares, sin comprometer la calidad y la funcionalidad.	José Fuentes, Antonio Navarro, Pedro Reyes	No realizado
13	Pruebas	José Fuentes, Antonio Navarro, Pedro Reyes	No realizado
14	Reporte final sobre el proyecto	José Fuentes, Antonio Navarro, Pedro Reyes	No realizado

Diseño de Prototipo.

Para comenzar es importante mantener en cuenta los objetivos del proyecto, ya que el diseño debe de cumplir con los requerimientos para cumplir tales objetivos, el principal consiste en la creación de un prototipo de ROV para el mapeo y cartografía de cuevas submarinas por lo que se plantea que el prototipo incluirá las siguientes funcionalidades:

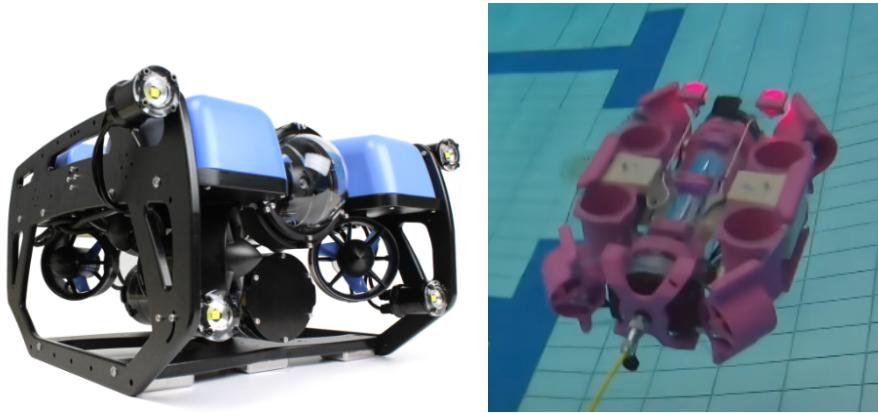
- Control de dirección y maniobrabilidad en entornos limitados.
- Captura de datos y cámara para la cartografía.
- Comunicación con la superficie para el control y la transmisión de datos.
- Ser capaz de soportar las corrientes dentro de las cuevas submarinas.

La construcción del prototipo se puede dividir en tres partes: La estructura de la carcasa, los componentes electrónicos y el sistema de propulsión.

En nuestro caso hemos decidido apoyarnos de los ROV ya existentes, empezando por el BlueROV de Bluerobotics, el cual tiene configuraciones de seis y ocho propulsores, una variedad de accesorios disponibles y software de código abierto (Blue Robotics, 2023). El segundo ROV en el cual nos hemos inspirado consiste en el Omnidirectional Drone de la compañía CPS, la cual ha estado desarrollando drones submarinos por algunos años y utiliza varias opciones de bajo costo mientras se mantienen con algunas de las mismas especificaciones que Blue Robotics.

Figura 1.

Bluerobotics BlueROV2 y CPS Omnidirectional Drone



Ambos ROV's utilizan una configuración de thrusters conocida como configuración vectorial, en el caso del BlueROV2 utiliza 6 thrusters (4 para movimiento horizontal y 2 para movimiento vertical), los cuales nos proveen con 6 grados de libertad en el agua mientras que el CPS utiliza 8 thrusters (4 de movimiento horizontal y 4 de movimiento vertical) los cuales proveen los mismos 6 grados de libertad por lo que en el caso de exploración en cuevas obtener la mayor maniobrabilidad posible es muy importante.

Figura 2.

Vectorial Configuration Thrusters (González-García et al., 2022)

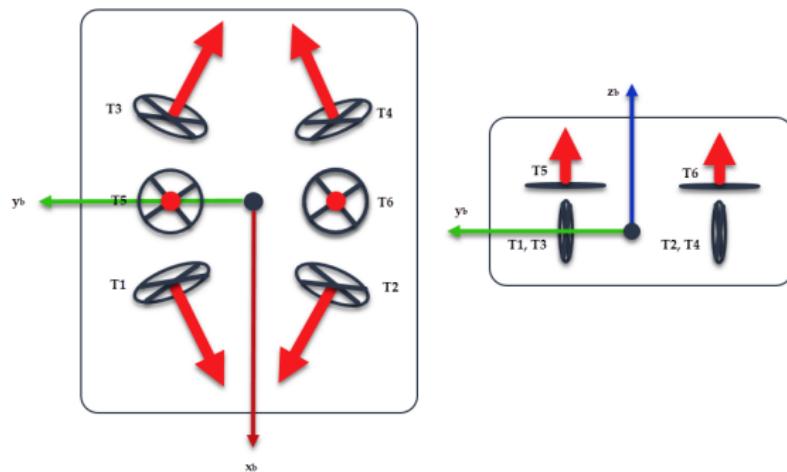
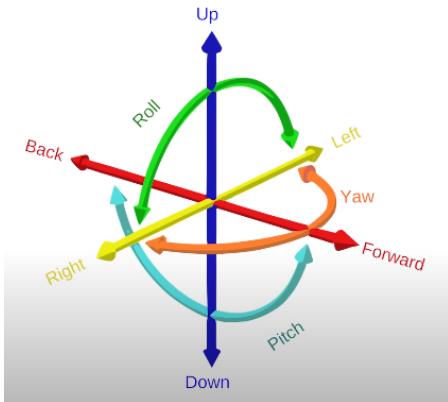


Figura 3.

Los 6 Grados de libertad



En el caso del cuerpo del ROV está el caso del material a usar, se tiene planeado utilizar la impresión 3d para fabricar la mayoría de las piezas para poder aplicar un buen diseño. El material de la carcasa es muy importante, se tiene contemplado utilizar algún polímero debido a su característica de ser bueno para contener y repeler agua, donde se obtienen las opciones de utilizar PLA, ABS y PETG, las tres son conocidas por ser capaces de ser impermeables al agua pero el PLA no aguanta temperaturas muy altas y el ABS se agrieta en temperaturas frías. Por lo que una opción viable es el uso de PETG para la estructura aunque también se planea utilizar varios métodos de impermeabilización externa. (Edgar Mejia, 2021)

En cuanto a los componentes eléctricos, se tiene una gran variedad de ellos a elegir, pero elegir a ciegas es muy riesgoso en este punto por lo que se tiene que hacer una investigación extensa de los componentes óptimos para el prototipo pero se presentan algunos componentes base que tenemos que tener en cuenta:

- **Controlador:** El sistema de control, compuesto por una placa controladora de vuelo, procesa las instrucciones del operador y los datos de los sensores, y gestiona los motores, las luces, los servos y los relés del vehículo submarino.
- **Computadora Complementaria:** La computadora complementaria se encarga de transmitir video a la computadora superior y de facilitar la comunicación MAVLink entre el piloto automático y la computadora superior mediante una conexión Ethernet.
- **Computadora Superior:** La computadora superior es la unidad donde se reciben y visualizan las transmisiones de video en tiempo real y la información de telemetría. Además, permite al operador controlar el vehículo conectado utilizando un joystick.
- **Control Manual:** Un control manual proporciona al operador la capacidad de dirigir el vehículo mediante movimientos y botones en la palanca de control.
- **Cámara:** La cámara posibilita que el piloto vea y grabe desde la perspectiva del vehículo submarino. Si se combina con un soporte inclinable o un cardán, puede ajustarse durante su funcionamiento.

- **Controladores de Velocidad Electrónicos (ESC):** Los controladores de velocidad electrónicos se utilizan para regular la velocidad y el empuje de los motores y propulsores.
- **Propulsores:** Los propulsores son esenciales para maniobrar un vehículo submarino. La cantidad y la orientación de los propulsores determinan la cantidad de grados de libertad (DoF) disponibles para maniobrar.
- **Módulo de Detección de Energía:** El módulo de detección de energía proporciona mediciones analógicas de corriente y voltaje al piloto automático a bordo del vehículo. Esto se emplea para monitorizar el estado de la batería y la cantidad de energía utilizada por el vehículo.
- **Fuente de Alimentación:** El sistema de distribución y suministro de energía alimenta todos los componentes electrónicos a bordo, incluyendo los propulsores, que requieren grandes cantidades de energía. Un regulador convierte la energía principal suministrada, ya sea de una batería u otra fuente, en voltajes adecuados para los componentes electrónicos más delicados, asegurando un suministro constante para evitar reinicios y pérdida de control del vehículo.
- **Cable de Conexión:** Un cable de conexión, conocido como correa, enlaza la computadora complementaria con la computadora superior. Esto permite una comunicación de baja latencia y un amplio ancho de banda con el vehículo submarino, lo cual es esencial ya que otras tecnologías no serían apropiadas para esta función.

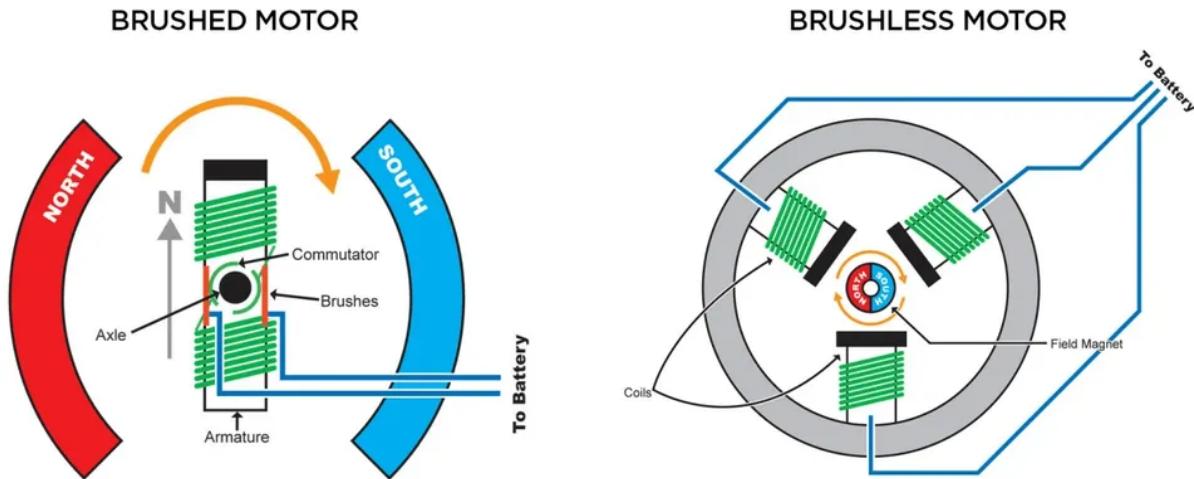
Con estos componentes enlistados podemos empezar a delimitar y cotizar qué componentes se ajustan a nuestro diseño para poder cumplir con los objetivos planteados (*Required Hardware · GitBook*, n.d.).

Ahora bien, uno de los aspectos más desafiantes que nos encontramos durante la investigación sobre los ROV's submarino es la propulsión, debido a que esta debe de brindarnos tanto dirección como velocidad y maniobrabilidad dentro del agua.

El consumo máximo de corriente de la fuente de alimentación del vehículo es una consideración importante a la hora de elegir qué tipo y cuántos propulsores montar en un vehículo. El consumo máximo de corriente al voltaje previsto debe sumarse para todos los propulsores (*Thrusters · GitBook*, n.d.). Si esto excede la clasificación actual de la fuente de alimentación, reduzca el voltaje de suministro o retire los propulsores donde varios de los ejemplos que hemos estado investigando, depende mucho de 3 o más propulsores para mínimo poder controlar su profundidad, estabilidad, dirección y velocidad, además nuestro diseño debe de ser capaz de realizar maniobras en espacios cerrados y poder moverse ágilmente por lo que calculamos como mínimo unos 5 o 6 propulsores para poder lograr el control y realizar las maniobras necesarias dentro del ambiente en donde queremos explorar. Además de la cantidad también se tiene que tener en cuenta si se va a utilizar un motor con o sin escobillas, Los propulsores sin escobillas son una buena opción para la propulsión ya que no tienen escobillas que deban protegerse o desgastarse, en cambio, los propulsores con escobillas son generalmente más baratos que los tipos sin escobillas, pero deben sellarse internamente con un sistema de compensación de aceite o tener sellos de eje (*Brushed DC Motors Vs. Brushless DC Motors*, 2020).

Figura 4.

Brushed DC Motors Vs. Brushless DC Motors



Los motores sin escobillas prometen un mejor desempeño debajo del agua, varios de los ejemplos que hemos investigado utilizan motores sin escobillas por las mismas razones, pero el problema reside en el costo de los motores y hélices, aunque los precios no puede que se vean tan altos por sí solos, la mayoría de los sitios y proveedores que se ha cotizado te lo venden por unidad a mínimo \$300 MXN, pero teniendo en cuenta que se va a necesitar al menos 6 pues el precio si sube bastante.

Por lo que también se ha estado investigando en otras formas de propulsión que se puedan realizar en las mismas condiciones pero que disminuyan el costo de la creación del prototipo. Para finalizar, se propone un ROV submarino con la mayoría de su estructura impresa en 3D para facilitar su manufactura dentro de la cual se encuentran 6 thrusters configurados de manera vectorial para obtener 6 grados de libertad en el agua mientras que son impulsados por motores brushless ya que son los mejores para aplicaciones de este tipo, además se cuenta con una gran variedad de dispositivos para controlar los motores, los sensores y la conexión con la computadora para luego implementar el software de mapeo para cumplir con los objetivos planteados y proporcionar un MVP funcional.

Conclusiones

Este documento establece la importancia y la necesidad de desarrollar un prototipo de ROV especializado en la exploración y cartografía de sistemas de túneles y cuevas submarinas en la península de Yucatán. La validación de este proyecto se basa en la obtención de información detallada y precisa sobre la extensión e interconexión de estos sistemas subacuáticos. La utilización de tecnologías avanzadas como el SLAM, sensores sonar, visión por computadora y aprendizaje automático demuestran ser esenciales para permitir la navegación autónoma y la creación de mapas tridimensionales precisos del entorno submarino, lo que contribuirá significativamente a la investigación y comprensión de estos

ecosistemas submarinos en la región. Este proyecto de desarrollo de un ROV especializado en la exploración de sistemas submarinos en la península de Yucatán se encuentra en la etapa inicial de investigación y diseño. Se prevé que tomará aproximadamente un año para completarlo. La esperanza es que al finalizar este proyecto, se obtenga un prototipo funcional que no solo contribuirá significativamente a la investigación submarina en la región, sino que también permitirá a los autores titularse con un proyecto de alto impacto en su carrera académica y profesional.

Referencias

Deberán incluirse mínimo 10 referencias en el trabajo; presentadas de acuerdo con el modelo de estilo de edición American Psychological Association (APA) 7ma. Edición.

1. Corbillón, A. (2018, 23 enero). El túnel bajo el agua al más allá de los mayas. *Las Provincias*.
<https://www.lasprovincias.es/internacional/america-latina/tunel-bajo-agua-20180123221351-nt.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com.mx%2F>
2. Muscas, F., Garau, B., et al. (2019). Underwater Simultaneous Localization and Mapping: A Review. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*.
3. Chien, C., Lin, Y., et al. (2019). High-Resolution Underwater SLAM with Structured Light Sensors, 19(22), 4830.
4. Deng, Y., Wang, H., et al. (2020). An Integrated Navigation System for Autonomous Underwater Vehicles Based on MEMS Inertial Sensors and GPS Sensors.
5. Zhang, Z., Hu, C., et al. (2021). Underwater Cave Mapping Using Structure-from-Motion Photogrammetry: A Review. *Remote Sensing*
6. Jonatan Scharff Willners, Yaniel Carreno, Shida Xu, Tomasz Łuczyński, Sean Katagiri, Joshua Roe, Èric Pairet, Yvan Petillot, Sen Wang, Robust Underwater SLAM using Autonomous Relocalisation, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 54, Issue 16, 2021, Pages 273-280, ISSN 2405-8963, [\(https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.104\)](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.104) (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896321015068>)
7. Xin Zhichao, Wang Zhe, Yu Zhibin, Zheng Bing. ULL-SLAM: underwater low-light enhancement for the front-end of visual SLAM . *Frontiers in Marine Science*. 2023
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2023.1133881>
8. EdgarMejia. (2021, May 19). *IMPRESIÓN 3D A PRUEBA DE AGUA: CÓMO HACER IMPRESIONES A PRUEBA DE AGUA*. – IDEA161.

<https://idea161.org/2021/05/19/impresion-3d-a-prueba-de-agua-como-hacer-impresiones-a-prueba-de-agua/>

9. » M. A. C. (2021, mayo 21). *Overview of the CPS 5 Underwater Drone*. Instructables.

<https://www.instructables.com/Overview-of-the-CPS-5-Underwater-Drone/>

10. *What is an underwater ROV?* (2019, septiembre 23). Blue Robotics.

<https://bluerobotics.com/learn/what-is-an-rov/>

11. Blue Robotics. (2023, August 28). *BlueROV2 - affordable and capable underwater ROV*. <https://bluerobotics.com/store/rov/bluerov2/>

12. González-García, J., Gómez-Espinosa, A., García-Valdovinos, L. G., Salgado-Jiménez, T., Cuan-Urquiza, E., & Cabello, J. a. E. (2022). Experimental Validation of a Model-Free High-Order Sliding Mode Controller with Finite-Time Convergence for Trajectory Tracking of Autonomous Underwater Vehicles. *Sensors*, 22(2), 488.

<https://doi.org/10.3390/s22020488>

- 13.

14. *Thrusters · GitBook*. (s/f). ArduSub.com. Recuperado el 6 de octubre de 2023,

de

<https://www.ardusub.com/introduction/hardware-options/required-hardware/thrusters.html>

15. *Required Hardware · GitBook*. (s/f). ArduSub.com. Recuperado el 6 de octubre de 2023, de

<https://www.ardusub.com/introduction/hardware-options/required-hardware.html>

16. *Thrusters*

GitBook.

(n.d.).

<https://www.ardusub.com/introduction/hardware-options/required-hardware/thrusters.html>