

HERRAMIENTA DE VALORACIÓN ATRIBUTOS DE EGRESO

Introducción a la mecatrónica AE4.CD1.I1, AE7.CD1.I1

AE4. Aplicar técnicas y métodos de experimentación, recolección y análisis de datos para llegar a conclusiones

válidas que sustenten la toma de decisiones a problemas de la ingeniería mecatrónica

CD1. Comprende y aplica las técnicas y herramientas que permiten realizar experimentaciones y

recolección de datos en el trabajo de la mecatrónica

I1. Utiliza máquinas, herramientas e instrumentos de medida para desarrollar experimentación y

recolección de datos

AE7. Reconocer la necesidad de educación continua independiente que permita comprender y aplicar

adecuadamente las tecnologías y procesos emergentes en el contexto actual de la ingeniería mecatrónica

CD1. Selecciona las actividades extracurriculares que permitan su crecimiento profesional y personal

I1. Elige cursos, capacitaciones, concursos y eventos que puedan aportar al continuo aprendizaje y

desarrollo de las habilidades de su formación.

Actividad:

Objetivo:

- Diseñar y manufacturar un robot de combate o submarino apegándose a los lineamientos oficiales de la convocatoria de concursos regionales, con capacidad de operarlo a distancia de forma alámbrica o inalámbrica, implementando una herramienta adicional ya sea arma de combate o pinza para recolección de objetos para los submarinos

Segmentos del proyecto:

- Estructura mecánica
- Computadora de robot
- Sistema de control (alámbrico o inalambrico)
- Arma de combate / pinza para recolección de objetos

HERRAMIENTA DE VALORACIÓN ATRIBUTOS DE EGRESO

Actividad:

Elabora un reporte de actividades de la construcción del proyecto considerando los siguientes apartados.

I.-Título.**II.-Contenido del documento****1.-PORTADA.****2.- HOJA DE GUARDA (HOJA BLANCA).****3.- ÍNDICE****4.-INTRODUCCIÓN**

Extensión 2 a 3 cuartillas. Deberá incluir objetivos o fines propuestos del trabajo. La introducción constituye una carta de presentación del trabajo al lector, un primer contacto con la temática desarrollada, por lo tanto, debe estar muy clara, con buena redacción y ofrecer ideas clave para motivar la lectura. **5.-PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

6.-JUSTIFICACIÓN.

En la justificación debe reflejar la importancia y relevancia que tiene el proyecto que se ha realizado.

7.-OBJETIVO GENERAL

Debe iniciar con un verbo en infinitivo, debe responder a las preguntas ¿Qué se va a realizar?, ¿Cómo se va a realizar?

HERRAMIENTA DE VALORACIÓN

ATRIBUTOS DE EGRESO

8.-MARCO TEÓRICO.

Esta sección describe los conocimientos necesarios para llevar a cabo el proyecto.

8.-METODOLOGIA.

Esta sección contiene todo el procedimiento realizado y descrito paso por paso de cómo se logró el objetivo del proyecto.

9.-RESULTADOS.

En esta sección el autor expone los resultados obtenidos, con evidencia fotográfica.

10.- CONCLUSION

Presenta un resumen sintético de los puntos más importantes y significativos de los conocimientos adquiridos durante el desarrollo del proyecto.

Sección	Puntos	Si / No
PORTADA.	2pts	
ÍNDICE	2pts	
INTRODUCCIÓN	2pts	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2pts	
JUSTIFICACIÓN.	2pts	
OBJETIVO GENERAL	2pts	
MARCO TEÓRICO.	2pts	
METODOLOGIA.	2pts	
RESULTADOS	2pts	
CONCLUSION	2pts	
Total:	20pts	

HERRAMIENTA DE VALORACIÓN

ATRIBUTOS DE EGRESO

<p>Herramienta de valoración:</p> <p>Descripción detallada de la herramienta de valoración</p>		
AE4.CD2.I1		
Criterios	Puntos (10Pts)	Si / No
Detalla la problemática a solucionar	5pts	
Aplica los conceptos fisicomatemáticos y de las ciencias para la deducción de problemas y soluciones de ingeniería	5pts	
Total:	10pts	
AE7.CD1.I1		
Criterios	Puntos (10Pts)	Si / No
Aplicar procesos de diseño de ingeniería que resulten en sistemas, que solucionen problemas	5pts	
Comprende, identifica y aplica procesos de diseño de ingeniería	5pts	
Total:	10pts	



Universidad Modelo

UNIVERSIDAD MODELO

Submarino cableado para maniobras, recolección en profundidad y retorno a superficie (UNSC-Hidrum)

Reporte Escrito

Chavez Gomez Angel Gabriel, García Ordoñez Cristian Daniel, Yah Nic Eli

Mérida, Yucatán

Noviembre, 2024

Tabla de contenidos (Indice)

Portada.....	6
Índice.....	8
Introducción	9
Planteamiento del problema	10
Justificación.....	11
Objetivo general	11
Marco teórico.	12
1. Principio de Arquímedes.....	12
2. Hidrodinámica.....	12
3. Presión atmosférica.....	12
4. Propulsión de objetos submarinos.....	13
5. Sistema de control PID.....	14
6. Materiales y diseño estructural.....	14
Metodología.....	15
Descripción del diseño.....	15
Proceso de construcción.....	17
Resultados obtenidos.....	20
Conclusión.....	20
Referencias.....	22

Introducción

La exploración subacuática ha sido un área de interés creciente debido a su relevancia en ámbitos como la investigación científica, la ingeniería marina, la seguridad y el entretenimiento. Desde el estudio de los ecosistemas marinos hasta la implementación de tecnologías en vehículos submarinos, los desarrollos en esta área han impulsado innovaciones significativas que buscan superar los desafíos inherentes a las condiciones extremas del entorno acuático. Este proyecto se centra en el diseño, construcción y prueba de un submarino autónomo en miniatura, cuyo propósito principal es demostrar la integración efectiva de sistemas de control, ingeniería estructural e hidrodinámica en un modelo funcional, preciso y competitivo.

El desarrollo del submarino abordó diversas áreas clave, entre ellas la selección de materiales adecuados, la implementación de un sistema de control PID y la construcción de un sistema de flotabilidad eficiente. Desde el inicio, uno de los objetivos fundamentales fue lograr un diseño que cumpliera con las exigencias de un entorno controlado, como el de una competencia, garantizando al mismo tiempo la resistencia estructural y la maniobrabilidad del submarino. Este enfoque permitió enfrentar desafíos técnicos, como el manejo de diferencias de presión, el sellado hermético del sistema y la calibración precisa de su flotabilidad.

Entre los aspectos destacados del proyecto se encuentra la elección del acrílico como material principal para la estructura del submarino. Este material, ampliamente utilizado en aplicaciones marinas y médicas, ofrece ventajas como resistencia a la corrosión, ligereza y transparencia, lo que lo convierte en una opción ideal para garantizar la funcionalidad y durabilidad del diseño. Además, la integración de un sistema PID permitió un control preciso de la profundidad, empleando sensores de presión diferencial para obtener datos constantes y confiables. Sin embargo, el proceso de construcción no estuvo exento de dificultades, como la falta de materiales más robustos para el contenedor inicial y las complicaciones en el sistema de flotabilidad, que requirieron soluciones emergentes para cumplir los objetivos del proyecto.

Este trabajo tiene como fin no solo cumplir con los requisitos específicos de una competencia, sino también servir como una plataforma de aprendizaje para explorar la intersección entre teoría y práctica en el desarrollo de tecnologías subacuáticas. La construcción de este submarino permitió aplicar conceptos avanzados de ingeniería y diseño, al tiempo que se enfrentaron problemas reales que requirieron creatividad e ingenio para resolverlos. Cada etapa

del proyecto, desde la selección de materiales hasta las pruebas finales, dejó aprendizajes significativos que serán esenciales para futuras iteraciones y mejoras en el diseño.

En términos prácticos, el objetivo principal de este proyecto fue demostrar la viabilidad de construir un submarino en miniatura que combinara precisión, rapidez y funcionalidad, manteniendo un equilibrio entre innovación y simplicidad. La aplicación del sistema PID, por ejemplo, no solo mejoró la estabilidad y el control del submarino, sino que también evidenció la importancia de integrar herramientas avanzadas para optimizar el rendimiento en entornos desafiantes. Asimismo, las modificaciones realizadas durante la construcción resaltaron la importancia de la flexibilidad en el diseño y la capacidad de adaptación ante problemas inesperados.

En conclusión, esta introducción al proyecto busca ofrecer al lector una visión clara de los objetivos y la metodología utilizada, destacando los aspectos más relevantes y motivadores de su desarrollo. Este submarino no solo cumplió con su propósito competitivo, sino que también dejó un legado de conocimiento y experiencia que será fundamental para avanzar en la exploración de tecnologías subacuáticas. Con este trabajo se pretende inspirar a otros a innovar y desarrollar soluciones efectivas en un campo tan exigente como el de la ingeniería submarina.

Planteamiento del problema

El diseño de vehículos submarinos presenta retos significativos debido a la necesidad de garantizar estabilidad, control preciso de la profundidad y resistencia estructural frente a las altas presiones que se experimentan en entornos acuáticos. En este proyecto, uno de los principales problemas radica en desarrollar un submarino en miniatura que cumpla con estas exigencias, utilizando materiales accesibles y soluciones innovadoras que aseguren su funcionalidad sin comprometer la eficiencia. A nivel práctico, se enfrenta el desafío de lograr un sistema de flotabilidad confiable, una estructura hermética capaz de soportar diferencias de presión, y un sistema de control electrónico que permita maniobras precisas. Adicionalmente, se busca integrar estos elementos en un diseño compacto que sea competitivo en pruebas de velocidad y precisión.

Justificación del proyecto

La realización de este proyecto es de gran relevancia debido a su potencial para combinar conceptos teóricos con aplicaciones prácticas en ingeniería submarina, ofreciendo una experiencia de aprendizaje integral. Desde un punto de vista educativo y técnico, permite explorar la integración de diferentes disciplinas, como mecánica, electrónica y control, en el diseño de un sistema autónomo. Además, este submarino en miniatura sirve como plataforma de prueba para soluciones innovadoras en el diseño estructural y la implementación de sistemas de control, que pueden ser escalables a proyectos más avanzados.

En el ámbito competitivo, el proyecto destaca por su capacidad para demostrar creatividad e ingenio frente a restricciones de tiempo, materiales y presupuesto, promoviendo el desarrollo de habilidades clave como resolución de problemas, trabajo en equipo y toma de decisiones bajo presión. Asimismo, al abordar problemas reales, como el manejo de presiones internas y externas, el sellado hermético y la calibración precisa de flotabilidad, se contribuye al entendimiento y solución de desafíos comunes en la ingeniería submarina.

Este proyecto no solo busca competir exitosamente, sino también establecer un modelo que pueda mejorarse continuamente, contribuyendo al desarrollo de tecnologías más avanzadas en exploración subacuática y mostrando cómo la combinación de conocimientos interdisciplinarios puede llevar a soluciones efectivas e innovadoras.

Objetivo general

Diseñar, construir y probar un submarino autónomo en miniatura capaz de realizar maniobras precisas y eficientes en entornos acuáticos controlados, integrando soluciones innovadoras en materiales, sistemas de control y flotabilidad para optimizar su rendimiento y garantizar su funcionalidad en competencias y aplicaciones experimentales.

Marco teórico

1. Principio de Arquímedes

Según Terán (2024) en un estudio estableció que cualquier cuerpo sumergido en un fluido experimenta una fuerza ascendente denominada empuje, cuya magnitud es igual al peso del fluido desplazado por el cuerpo. Esto explica que un objeto se hundirá si su peso supera el peso del fluido desplazado, mientras que flotará si su peso es menor o igual a dicho valor (p.1).

En el presente proyecto, este principio resulta fundamental, ya que determina el comportamiento del submarino en el agua. El control de la flotabilidad es crucial para garantizar que el submarino pueda sumergirse, maniobrarse en profundidad y regresar a la superficie de manera eficiente. Este equilibrio entre peso y empuje asegura la estabilidad del sistema y una funcionalidad excepcional.

2. Hidrodinámica

La hidrodinámica analiza el comportamiento del movimiento de los fluidos, enfocándose principalmente en los líquidos, que se consideran incompresibles. Este campo de estudio toma en cuenta variables como la velocidad, la presión, el flujo y el gasto del fluido para comprender y predecir su dinámica (Hernández, 2014, p.2).

La hidrodinámica es esencial para optimizar el diseño y funcionamiento del submarino. Comprender cómo el agua interactúa con el frente, las hélices y los añadidos permite minimizar la resistencia al avance y mejorar la maniobrabilidad bajo el agua. Además, el análisis de variables como el flujo y la presión es crucial para garantizar un desplazamiento eficiente en el entorno acuático.

3. Presión atmosférica

Según Fernández (2010) define el concepto de presión atmosférica como la “fuerza que el peso de la columna de atmósfera por encima del punto de medición ejerce por unidad de aire, estera alrededor de una atmósfera al nivel del mar y se puede medir en diferentes unidades”.

Este concepto resulta fundamental para el proyecto, ya que la presión atmosférica aumenta a medida que descendemos hacia el centro de la Tierra (medida en pascales). Esto, a su vez, afecta la presión del agua y determina la resistencia que deben poseer los materiales del

submarino, así como la fuerza mínima requerida para que los componentes funcionen eficazmente. Un claro ejemplo es la bomba de aire, la cual debe generar suficiente presión para expulsar aire al exterior del submarino sin ser superada por la presión atmosférica externa.

4. Propulsión del submarino

En un estudio realizado por Andersen y Spangenberg (2009) en el que estudiaron las principales características que debe poseer las propelas de un submarino descubrieron que una forma tipo Kappel es muy eficiente, lo cual se refiere a una propela de palas con superficies de elevación no planas que mejoran los márgenes de cavitación al reducir vórtices en las puntas y raíces, disminuyendo ruido y desgaste. De igual forma, debe contar con al menos 8 palas, lo que permite distribuir mejor la carga, reducir las fluctuaciones de empuje y disminuir significativamente el ruido generado. Asimismo, cuenta con un diámetro optimizado, ya que un mayor diámetro ayuda a reducir fluctuaciones de fuerza y vórtices, pero debe ajustarse para evitar comprometer los márgenes de cavitación. De igual manera, debe tener bordes de salida diseñados para minimizar el desprendimiento de vórtices, ya que esto reduce el ruido inducido por el flujo y mejora la firma acústica general. Mientras que, también debe emplear una distribución ajustada de paso, curvatura y grosor en las palas, lo que permite equilibrar eficiencia, ruido reducido y márgenes de cavitación adecuados. Por otro lado, también descubrieron que debe tener RPM moderadas, ya que velocidades de rotación más bajas minimizan el ruido, aunque deben ser suficientes para cumplir con las necesidades operativas. Incorporar diseño para aliviar cargas en las puntas y raíces de las palas, lo que disminuye los vórtices de punta y eje, reduciendo ruido y mejorando el rendimiento acústico. Finalmente debe estar diseñada considerando el flujo de entrada, ya que minimizar la turbulencia en el flujo hacia la hélice reduce el ruido de banda ancha y mejora la eficiencia global (p.1-8).

Basándonos en esta información, decidimos inspirarnos significativamente en las características mencionadas. Sin embargo, realizamos modificaciones importantes debido a las diferencias en el material con el que fabricaríamos las propelas, así como en su tamaño, el peso que deben mover y la cantidad de palas. Dado que el proyecto presentado es considerablemente más pequeño que un submarino real, incorporar demasiadas palas comprometería los puntos de anclaje entre estas y la base, afectando la efectividad. Por ello, optamos por usar únicamente cuatro palas. Además, empleamos propelas no planas para optimizar la hidrodinámica y

diseñamos un modelo equilibrado con un diámetro adecuado a nuestras necesidades, evitando así el riesgo de cavitación.

5. Sistema de control electrónico PID

Según un estudio realizado por Araki (2009) sistema de control PID, que significa Proporcional-Integral-Derivativo, es uno de los métodos más utilizados en la regulación de procesos industriales gracias a su capacidad para ajustarse a una amplia variedad de sistemas. Este tipo de controlador combina tres elementos principales que trabajan en conjunto para minimizar el error entre el valor deseado y el valor real del sistema. El componente proporcional actúa directamente en función del error actual, proporcionando una respuesta que aumenta o disminuye según la magnitud del desajuste. El componente integral se encarga de acumular el error a lo largo del tiempo, lo que permite corregir errores persistentes que no pueden ser eliminados únicamente con el control proporcional, mientras que el componente derivativo predice el comportamiento futuro del error al observar su tasa de cambio, ayudando a prevenir oscilaciones o desviaciones bruscas. Estos tres elementos se integran para formar un sistema de control flexible y eficiente que puede adaptarse a distintas condiciones y requisitos operativos, haciendo que los controladores PID sean esenciales en numerosas aplicaciones industriales y tecnológicas (p. 58-59).

Dado que era crucial contar con una forma segura y precisa de controlar el movimiento del submarino sin margen de error, se consideró fundamental integrar un sistema de control PID para regular los cambios de profundidad. Esto se debe a que, al sumergir el submarino en una piscina, la deformación visual del agua dificulta determinar con exactitud su altura. Para solucionar esto, se implementó un sistema de retroalimentación que utiliza un sensor de presión diferencial, el cual compara la presión interna del submarino y proporciona un dato estimado y constante de su profundidad. De esta manera, se logra mejorar significativamente la maniobrabilidad del submarino.

6. Materiales y diseño estructural

Se decidió utilizar un cilindro hermético de acrílico como material principal para recubrir toda la electrónica y servir de base estructural. Esta elección se basó en el estudio de Stachiw (2004), que señala que el acrílico es ampliamente empleado en la construcción de vehículos

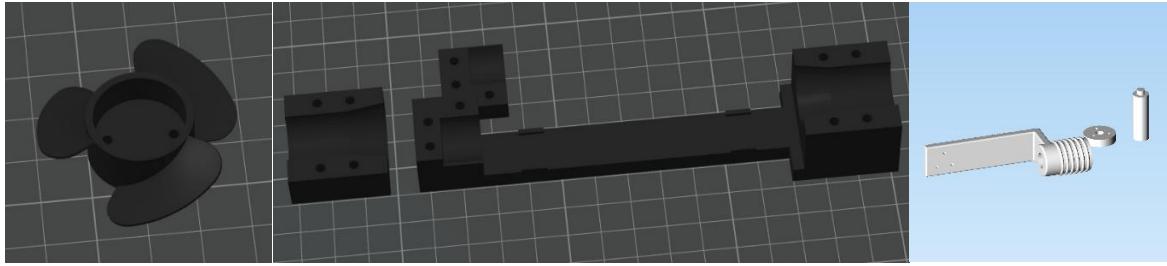
submarinos tripulados, ROVs (vehículos operados remotamente) y estructuras relacionadas gracias a su resistencia a la corrosión, ligereza y transparencia. Estas cualidades lo convierten en una opción ideal para aplicaciones marinas y médicas, como cámaras hiperbáricas, debido a su seguridad y funcionalidad (p. 289-296). Además, ya se contaba con un cilindro hueco de acrílico en buen estado, lo que lo hizo una solución práctica y accesible. También se tiene previsto incorporar una bomba de aire para extraer el aire interno y crear un vacío parcial, lo que permitirá calibrar el punto de flotabilidad exacto sin necesidad de agregar peso adicional a la estructura. Este enfoque asegura que los componentes internos no se vean comprometidos, ya que todos son compatibles con las condiciones operativas, haciendo imprescindible que el material elegido sea lo suficientemente resistente para soportar la diferencia de presión interna y externa a la que estará expuesto.

Metodología

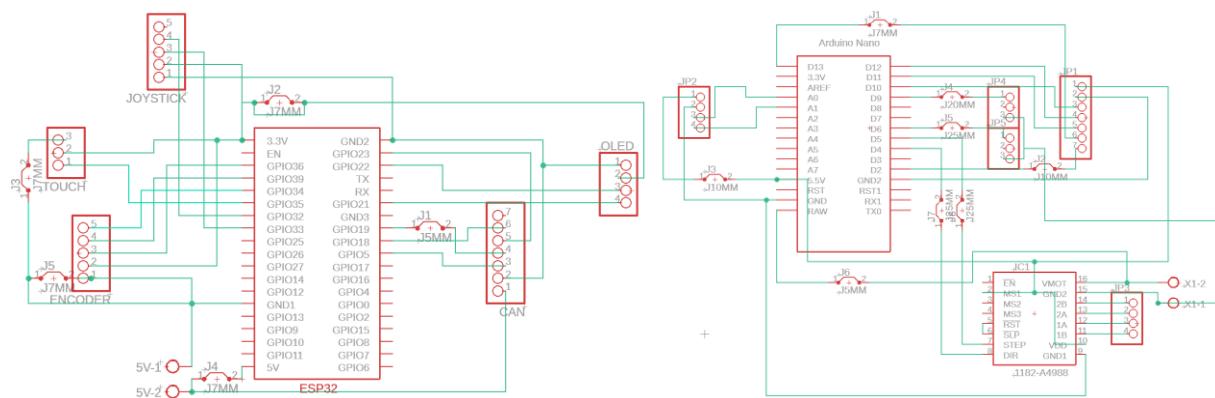
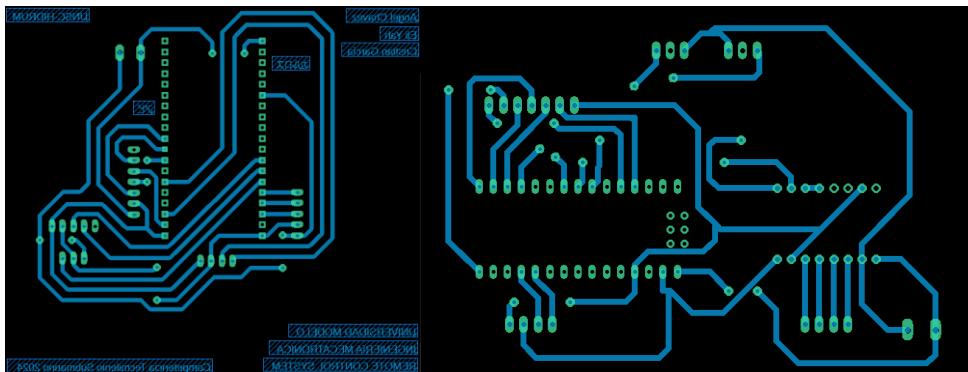
Descripción del Diseño

El diseño del submarino comenzó con la selección de un envase reutilizado como carcasa principal. Elegimos un recipiente *cubasa* con tapa sellada por sus dimensiones adecuadas, bajo peso y capacidad para alojar los componentes internos. Este diseño garantizó flotabilidad controlada y espacio suficiente para las funciones planificadas.

Las hélices para los motores brushless y el sistema de agarre de la jeringa fueron diseñados e impresos en 3D, así como la cola del submarino en donde se encuentran los motores brushless. Las hélices fueron personalizadas para maximizar el rendimiento en el agua, mientras que los soportes aseguraron la estabilidad de los motores y el sistema de hundimiento basado en jeringas. Para este último, utilizamos motores a pasos con tornillos infinitos que ofrecían precisión y balance. En el sistema de propulsión, dos motores brushless de 12 polos fueron colocados estratégicamente en la cola, controlados por módulos independientes para movimientos en todas direcciones.



El control remoto fue diseñado con un enfoque en la ergonomía. Incluimos un joystick para movimientos en los ejes X e Y, un encoder para controlar la profundidad y un botón táctil para funciones adicionales. La transmisión entre el control y el submarino empleó comunicación *soft serial*, asegurando eficiencia operativa. Las placas electrónicas y los microcontroladores fueron diseñados desde cero, integrando un ESP32 en el submarino para gestionar movimientos y una pantalla OLED que proporciona información en tiempo real.

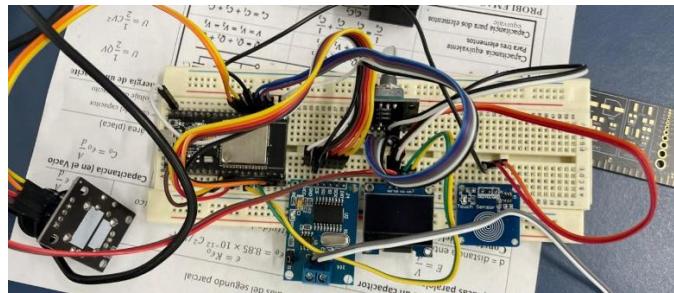


La manipulación del tubo de PVC se resolvió con tiras de cinta mágica de doble cara en la base del submarino, proporcionando una adhesión segura y práctica. Cabe destacar finalmente que todos los diseños son originales y ninguno fue sacado de internet, ya que para las

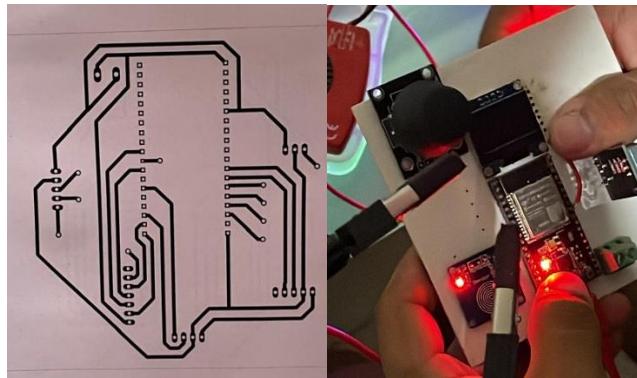
necesidades tan específicas que requeríamos, era esencial que conociéramos cada parte de nuestro proyecto.

Proceso de Construcción

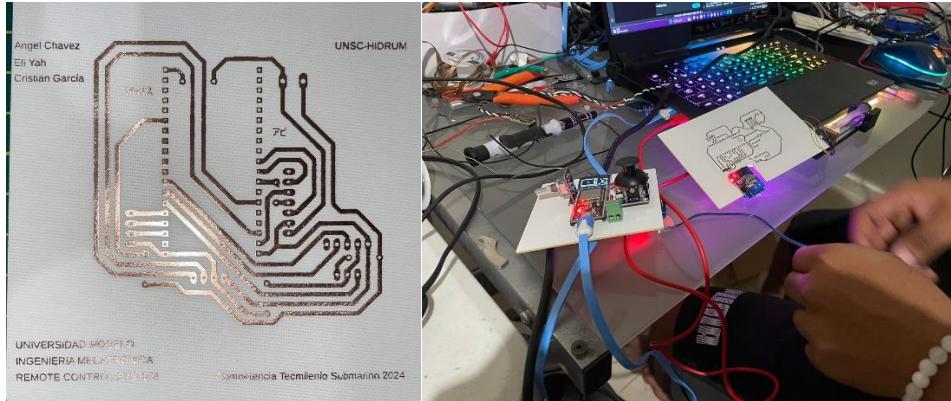
Para comenzar podemos destacar algunos prototipos que realizamos para poder comprobar su funcionamiento como el prototipo del control remoto del submarino.



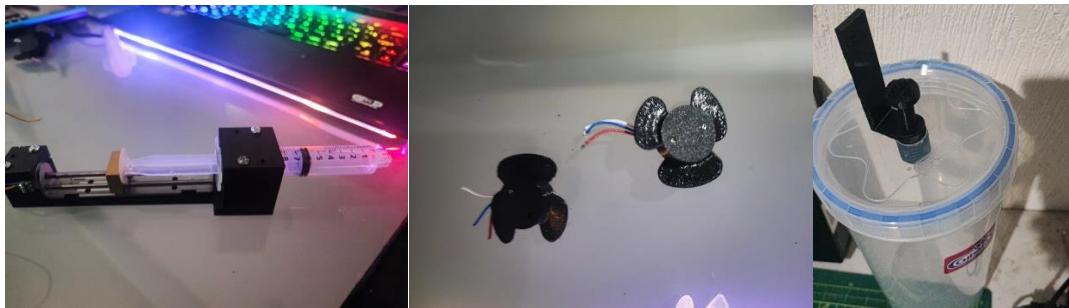
La construcción comenzó con las placas electrónicas, impresas mediante transferencia térmica y papel *couché*. Durante esta etapa enfrentamos problemas como el atasco de papel en la impresora y errores en el diseño inicial de las placas, que requerían demasiados puentes físicos, generando interferencias. Rediseñamos las placas, optimizando las conexiones y reduciendo la longitud de los puentes, lo que resultó en un funcionamiento más estable.



Tras completar las placas, realizamos pruebas funcionales. Inicialmente, los motores brushless no operaban simultáneamente debido a errores de programación. Solucionamos el problema ajustando el código para garantizar control por PWM desde el joystick. Durante las pruebas, un Arduino Nano se dañó debido a una conexión invertida, pero fue reemplazado con éxito. La comunicación CAN, aunque planificada, no funcionó de manera confiable, por lo que utilizamos *soft serial* como alternativa eficaz.



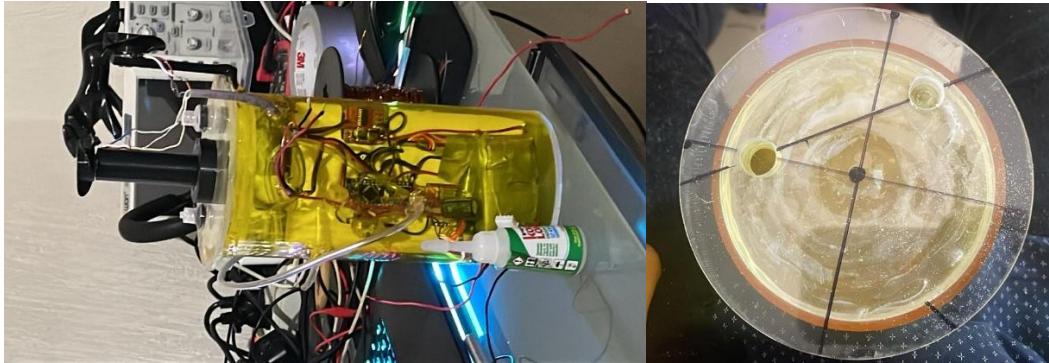
El montaje mecánico incluyó la fijación de motores y jeringas con soportes impresos en 3D, sellando las conexiones con silicon y cola loca para asegurar impermeabilidad. Se colocaron los cables de comunicación entre el control y el submarino, sellados cuidadosamente para evitar filtraciones. Finalmente, adherimos las tiras de cinta mágica en la base y ensamblamos todo el sistema.



Al llegar a este punto, se procedió con el armado del sistema, lo que implicó realizar múltiples adaptaciones al bote de plástico. Fue necesario crear aberturas para el paso de los cables y huecos específicos para instalar las bases de los diseños. Algunos ajustes adicionales fueron necesarios, ya que los diseños no eran completamente exactos: hubo que lijar ciertas áreas para que los motores brushless encajaran correctamente, y los soportes de las jeringas resultaron ser demasiado ajustados, complicando su instalación.

Durante las pruebas iniciales con la bomba de aire, comprobamos que podía generar el vacío parcial sin problemas, y no se detectaron fugas gracias al uso de silicon industrial de sellado, lo que garantizó la hermeticidad del bote. Sin embargo, debido a que el contenedor estaba hecho de plástico, someterlo a una diferencia de presión tan elevada entre el vacío parcial interno y la presión atmosférica externa resultó en su colapso. Esto obligó a realizar un cambio

de bote de último momento, lo que retrasó significativamente el proceso de construcción. A pesar de este contratiempo, los errores cometidos durante el ensamblaje inicial permitieron implementar mejoras en la organización del cableado y optimizaciones en el diseño.



Como la tapa disponible no era hermética ni fácilmente resellable, se decidió que, una vez completada la instalación de la electrónica, no se realizarían más cambios internos. Se diseñaron huecos especializados para extraer los cables, permitiendo cargar las baterías y establecer las conexiones necesarias con el control y los controladores de los motores brushless. A pesar de haber aplicado múltiples capas de sellado con extremo cuidado, se detectaron varias fugas que debieron repararse. Aunque una de ellas no pudo ser sellada por completo, su tamaño era mínimo y no afectó el funcionamiento general.

Otro problema fue la falta de peso del submarino, que intentamos resolver introduciendo aceite vegetal. Sin embargo, esto endureció el movimiento de los émbolos de las jeringas, inutilizando el sistema de flotabilidad al impedir que los motores a pasos pudieran accionarlas. Como medida de emergencia, se añadió una cantidad significativa de peso para que el submarino se hundiera completamente en la piscina y solo pudiera ascender una vez, cumpliendo su función de manera limitada debido a los errores de último momento.

A pesar de estas complicaciones, el submarino logró ganar la competencia asociada al proyecto, gracias a su notable rapidez y precisión. Sin embargo, estos resultados dejaron en claro que aún hay mucho margen para mejoras significativas en diseño y funcionalidad.

Resultados obtenidos

El desarrollo del submarino autónomo permitió alcanzar varios hitos significativos. A pesar de los desafíos encontrados, el proyecto logró construir un sistema funcional capaz de cumplir su propósito principal. En términos de rendimiento, el submarino demostró una notable rapidez y precisión, lo que fue clave para ganar la competencia a la que estaba destinado. Se integró exitosamente un sistema de control PID que proporcionó una regulación precisa de la profundidad, utilizando sensores de presión diferencial que ofrecieron datos constantes y confiables. Asimismo, las adaptaciones realizadas en el bote, como los huecos para cableado y bases de soporte, junto con el sellado con silicona industrial, garantizaron una adecuada hermeticidad, aunque con mínimas fugas.

Sin embargo, también surgieron limitaciones. El colapso inicial del contenedor plástico destacó la importancia de utilizar materiales más robustos para resistir diferencias de presión significativas. El sistema de flotabilidad, aunque diseñado cuidadosamente con jeringas y motores a pasos, no cumplió completamente su función debido al endurecimiento causado por el aceite vegetal y a la incapacidad de los motores para accionar los émbolos. Como solución emergente, se agregó peso adicional, lo que permitió que el submarino se hundiera completamente y realizara una única maniobra de ascenso. Estos ajustes de último minuto, aunque funcionales, evidenciaron áreas de mejora en la planificación y diseño inicial.



Conclusión

El proyecto del submarino autónomo demostró ser una experiencia enriquecedora tanto en términos técnicos como en habilidades prácticas, destacando la importancia de la adaptación frente a problemas inesperados. Aunque se cumplieron los objetivos principales, como la

precisión en el control y el éxito en la competencia, el proceso dejó lecciones valiosas sobre la selección de materiales, la planificación del diseño y la implementación de sistemas.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que, si bien las soluciones improvisadas permitieron cumplir parcialmente con el cometido del submarino, un enfoque más meticuloso desde la etapa de diseño habría evitado problemas críticos como el colapso del contenedor o la limitación del sistema de flotabilidad. Esto subraya la importancia de considerar pruebas exhaustivas de resistencia, alternativas en los sistemas de sellado y materiales mejor adaptados para enfrentar las condiciones operativas.

En términos de innovación, el proyecto demostró la efectividad del acrílico como material estructural, no solo por su transparencia y resistencia a la corrosión, sino también por su potencial para aplicaciones subacuáticas más avanzadas. Asimismo, la implementación del sistema PID confirmó su capacidad para proporcionar un control preciso, consolidándose como una herramienta indispensable en futuros desarrollos.

En conclusión, este submarino es una base sólida para futuras iteraciones que mejoren tanto el diseño como la funcionalidad. A través de los aprendizajes obtenidos, se pueden desarrollar versiones más eficientes y confiables que amplíen las posibilidades de exploración y competencia. Más allá del éxito puntual, el proyecto deja un legado de experiencia y conocimiento aplicable a desarrollos tecnológicos de mayor envergadura.

Referencias

- Terán, L. V. (2014). Principio de Arquímedes. *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Escuela Preparatoria No. 4 Vida Científica, 2(3)*.
- Hernández, E. (2014). Hidrodinámica. Recuperado de <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/bitstream/handle/123456789/16715/LECT147.pdf>.
- Fernandez-Torres, M. J. (2010). Presión: aprende a utilizar correctamente la presión atmosférica, total, manomérica, parcial y de vapor. *Introducción a la Ingeniería Química*.
- Andersen, P., Kappel, J. J., & Spangenberg, E. (2009, June). Aspects of propeller developments for a submarine. In *Proceedings of the First International Symposium on Marine Propulsors-smp* (Vol. 9, pp. 554-562).
- Araki, M. (2009). PID control. *Control Systems, Robotics and Automation: System Analysis and Control: Classical Approaches II*, 58-79.
- Stachiw, J. D. (2004, April). Acrylic plastic as structural material for underwater vehicles. In *Proceedings of the 2004 International Symposium on Underwater Technology (IEEE Cat. No. 04EX869)* (pp. 289-296). IEEE.