

Automatización del sistema de izado y arriado de mástiles en un submarino oceánico

Henry Iván Bayona Mejía

Asesor:

Helber Alexander Vergara Vargas

Universidad nacional abierta y a distancia

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Programa Ingeniería de Sistemas

Cartagena – Colombia

Septiembre 2020

Agradecimientos

Agradezco primeramente a Jehová de los Ejércitos por la oportunidad que me brindó de poder escalar un peldaño más en mi formación profesional,

A mi esposa Carolina Sumosa por su ayuda incondicional y mis hijos Jeshica Daniela y Henry Iván, que son la motivación más grande para seguir adelante en este derrotero.

A mi mamá por el amor y el sacrificio a lo largo de mi vida y mi padre que se encuentra desde el cielo disfrutando y esperando nuevamente encontrarnos.

A mis hermanos Carmen, Leonardo y Durley, por el afecto y en apoyo en todo tiempo.

A la Ingeniera Arellys de Jesús Correa Rodríguez, Líder del proceso de Semilleros de Investigación, por su apoyo continuo y motivación con el proyecto.

Al Ingeniero Helber Alexander Vergara Vargas, Docente y asesor de este trabajo de grado, por sus conocimientos y orientación.

Al sr. JT(RA) Luis Ortiz y el sr. Jefe Técnico Ricardo Acosta, Suboficial de la Armada Nacional Submarinista, por su colaboración durante el desarrollo del prototipo.

A la Universidad de Nacional Abierta y a Distancia, por darme la oportunidad de ser parte de su comunidad y contribuir en mi crecimiento profesional y personal.

A todos ellos les dedico esta meta alcanzada y le doy las gracias por hacer parte de este triunfo.

ÍNDICE

Abreviaciones	8
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción	11
Planteamiento del Problema	13
Justificación	15
Objetivos.....	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos	17
Marco Referencial	18
Antecedentes Investigativos	18
Marco Teórico	21
Marco Conceptual	24
Metodología.....	25
fase 1: Aplicación de la encuesta a personal seleccionado del Submarino.	26
fase 2: Construcción del prototipo a escala del Sistema de Izado y arriado de mástiles en un submarino Oceánico.	26
fase 3: Programación de la pantalla HMI y del PLC.	26
fase 4: Simulación del proceso de izado y arriado de mástiles.	27
Aplicación de la Encuesta a Personal Seleccionado del Submarino	28
Población y muestra	28
Construcción del prototipo a escala del sistema de izado y arriado de mástiles en un submarino oceánico.	
36	
Programación De La Pantalla HMI Y Del PLC.....	39
Programación Pantalla HMI	39
Programación PLC	45
Simulaciones Del Proceso De Izado Y Arriado De Mástiles.....	48
Resultados.....	52

Conclusiones.....	54
Recomendaciones.....	56
Referencias Bibliográficas.....	57
Anexos.....	59

LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: SUBMARINO CON LOS MÁSTILES IZADOS. FUENTE: FUERZAS MILITARES.....	14
ILUSTRACIÓN 2: REPRESENTACIÓN UBICACIÓN DE LOS MÁSTILES. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	16
ILUSTRACIÓN 3: GRAFICO ENCUESTA RESULTADO DE ENCUESTADORES. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	29
ILUSTRACIÓN 4: GRAFICO ENCUESTA PREGUNTA 1. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	29
ILUSTRACIÓN 5: GRAFICO ENCUESTA PREGUNTA 2. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	30
ILUSTRACIÓN 6: GRAFICO ENCUESTA PREGUNTA 3. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	30
ILUSTRACIÓN 7: GRAFICO ENCUESTA PREGUNTA 4. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	31
ILUSTRACIÓN 8: GRAFICO ENCUESTA PREGUNTA 5. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	31
ILUSTRACIÓN 9: GRAFICO ENCUESTA PREGUNTA 6. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	32
ILUSTRACIÓN 10: GRAFICO ENCUESTA PREGUNTA 7. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	32
ILUSTRACIÓN 11: GRAFICO ENCUESTA PREGUNTA 8. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	33
ILUSTRACIÓN 12: GRAFICO ENCUESTA PREGUNTA 9. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	34
ILUSTRACIÓN 13: GRAFICO ENCUESTA PREGUNTA 10. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	34
ILUSTRACIÓN 14: PLANOS DEL PROTOTIPO DEL SUBMARINO A ESCALA. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	37
ILUSTRACIÓN 15: PROTOTIPO A ESCALA SUBMARINO OCEÁNICO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	38
ILUSTRACIÓN 16: VISUALIZACIÓN PARTE SUPERIOR DE LA VELA. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	38
ILUSTRACIÓN 17: DISEÑO PROGRAMA DENTRO DE LA PANTALLA HMI. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	40
ILUSTRACIÓN 18: SILUETA PARA EL DISEÑO EN LA PANTALLA HMI. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	40
ILUSTRACIÓN 19: COMPONENTES DE INTERFAZ. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	41
ILUSTRACIÓN 20: PROGRAMA COOLMAYHMI PARA PROGRAMAR LAS SEÑALES. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	42
ILUSTRACIÓN 21: COMANDOS DE EJECUCIÓN ORDEN DE IZADO Y ARRIADO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	42
ILUSTRACIÓN 22: PRESENTACIÓN DE LA SILUETA DEL SUBMARINO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	43
ILUSTRACIÓN 23: INTERFAZ DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	44
ILUSTRACIÓN 24: ELEMENTOS PARA LA PROGRAMACIÓN. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	45

ILUSTRACIÓN 25: INGRESO APLICACIÓN PROGRAMAR EN PLC. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	46
ILUSTRACIÓN 26: APLICACIÓN PROGRAMACIÓN EN PLC. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	46
ILUSTRACIÓN 27: PROGRAMACIÓN PLC. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	47
ILUSTRACIÓN 28: ACOPLA DEL MÁSTIL Y MOTOR A TRAVÉS DE UN BOCÍN. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	49
ILUSTRACIÓN 29: SIMULACIÓN DE IZADO Y ARRIADO MÁSTILES EN 3D. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	50
ILUSTRACIÓN 30: GRAFICA RECORRIDO DE IZADO Y ARRIADO DE MÁSTILES. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	51
ILUSTRACIÓN 31: ELEMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE DEL SUBMARINO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA....	63
ILUSTRACIÓN 32: MOLDE DEL SUBMARINO PARA LLEVARLO AL FIBRERO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	63
ILUSTRACIÓN 33: SILUETA EN FIBRA DE VIDRIO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	64
ILUSTRACIÓN 34: DURANTE EL DESARROLLO DEL SUBMARINO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	64
ILUSTRACIÓN 35: COMPONENTES NECESARIOS PARA ARMAR EL PROTOTIPO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	65
ILUSTRACIÓN 36: TERMINADO EN FIBRA DE VIDRIO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	65
ILUSTRACIÓN 37: MOTORES PARA LOS MÁSTILES. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	66
ILUSTRACIÓN 38: MÁSTILES PARA EL SUBMARINO. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	66
ILUSTRACIÓN 39: CONFIGURACIÓN INTERNA DEL MÁSTIL. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.....	67
ILUSTRACIÓN 40: SUBMARINO EN 3D. FUENTE: AUTORÍA PROPIA.	67

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SISTEMA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL DE MÁSTILES IZABLES, VENPROACUSTIK	20
TABLA 2. CUADROS VARIABLES DE CADA UNO DE LOS MÁSTILES	47
TABLA 3. RELACIÓN DE TIEMPO IZADO Y ARRIADO DE MÁSTILES	50
TABLA 4. TABLA DE RELACIÓN DE TIEMPO VS DISTANCIA.	51

Abreviaciones

ARC: Armada República de Colombia

ECM: Contramedidas Electrónicas

HMI: Interfaz hombre maquina

HF: High frequency

PA: Periscopio de ataque

PS: Periscopio de búsqueda

PLC: Controlador lógico programable

PVC: Policloruro De Vinilo

RADAR: Radio detection and range

RS232 – RS485: Recommended Standard

VHF: Very high frequency

Resumen

El presente trabajo de grado consiste en la automatización del sistema de izado y arriado de mástiles en un prototipo a escala de un submarino oceánico. Los mástiles en los submarinos son estructuras ubicadas en la vela que cumplen funciones como oxigenación, comunicaciones, visualización externa, entre otros. Los Submarinos oceánicos cuentan actualmente con siete (7) mástiles, cuyo izado (salida) y arriado (ingreso) se realiza mediante un tablero eléctrico y un manifold hidráulico, siendo éste un sistema muy básico que no permite conocer la ubicación de los mástiles y del personal que labora dentro de los compartimentos generando riesgo de incidentes, por lo cual requiere ser modernizado para ir a la vanguardia de la tecnología y convertirlo en un proceso más seguro y eficiente. Por tal motivo se usó un PLC (controlador lógico programable) con interfaz a una pantalla digital Touch panel que permitió la visualización de la silueta del Submarino, la ubicación en tiempo real de cada uno de los mástiles, optimizando el proceso de arriado e izado haciéndolo más seguro y eficiente.

Palabras claves: Mástil, arriado, izado, submarino, periscopio y radar.

Abstract

The present work of degree consists in the automation of the system of raising and lowering of masts in a prototype to scale of an oceanic submarine. The masts in the submarines are structures located in the sail that fulfill functions like oxygenation, communications, external visualization, among others. The Oceanic Submarines currently have seven (7) masts, whose lifting (leaving) and landing (entry) is done by means of an electrical board and a hydraulic manifold, this being a very basic system that does not allow to know the location of the masts and the personnel working within the compartments generating risk of incidents, so it needs to be modernized to go to the forefront of technology and make it a safer and more efficient process. For this reason, a PLC (programmable logic controller) with an interface to a digital touch panel screen was used that allowed us to visualize the silhouette of the Submarine, the real-time location of each of the masts, optimizing the process of raising and lifting making it safer and more efficient.

Keywords: Mast, lowered, hoisted, underwater, periscope and radar.

Introducción

Los Submarinos de guerra se constituyen como el arma estratégica de una Nación, puesto que le permite ubicar contactos Aéreos, en Superficie e Inmersión, haciéndolos un arma poderosa dentro del arsenal bélico de los Países. La tecnología de los Submarinos ha ido en crecimiento en las últimas décadas implementado mejoras en la parte funcional, y con tecnologías orientadas a la seguridad y la operación de estos. Pero existen otros sistemas, que han permanecido como fueron diseñados, entre estos componentes “relegados” se encuentra el sistema de izado y arriado de los mástiles. Con este proyecto se logró la simulación de la automatización de este sistema, en un prototipo a escala de un Submarino oceánico de la Armada de Colombia.

Inicialmente se realizó una visita a una unidad Submarina de la Armada Nacional de Colombia, para socializar el proyecto a los altos mandos y la tripulación, en busca del apoyo y los permisos pertinentes para la realización de dicho proyecto, y donde se aplicó una encuesta a una muestra de la tripulación con el fin de identificar su percepción con relación a la automatización del sistema de izado y arriado de mástiles del submarino.

En una segunda fase se diseñó el plano del Submarino a mano alzada para determinar las dimensiones del prototipo a escala. Los materiales usados fueron armazón en madera y cuerpo en fibra de vidrio, se adaptaron motores pequeños, varillas para simular los mástiles y el cableado.

En la tercera fase se realizó la programación de la Pantalla HMI y del PLC, donde se logró el reconocimiento del video y la interacción entre el PC y la pantalla HMI Coolmay, se hizo un

diseño de cada uno de los comandos de ejecución y la silueta del submarino basado en una imagen con extensión *.bmp.

Finalmente se realizaron las simulaciones del proceso de izado y arriado de mástiles, una vez se tuvo el prototipo ensamblado y conectado inalámbricamente con la pantalla de visualización, ejecutando los movimientos de los motores internos, alimentados con 115 V 60 Hz. Aquí el PLC programado se encarga de enviarle información en tiempo real a cada uno de los mástiles para ejecutar la orden movimiento de salida y entrada, desde la pantalla HMI.

Planteamiento del Problema

En Colombia, los Submarinos Oceánicos son un Sistema de Defensa Nacional importante para mantener la soberanía del país. Estos se componen de una cantidad de partes mecánicas, eléctricas, hidráulicas, electrónicas, entre otras, para su óptimo funcionamiento. Los mismos cuentan con un Sistema de mástiles para cumplir con su objeto misional (submarinos, 2005) Estos mástiles son de diferentes tipos y tienen diferentes funciones. Entre estos tenemos las antenas de comunicación, los radares para la detección de otras embarcaciones de Superficie y Submarinas, el snorkel o mástil de oxigenación, el mástil de contramedidas electrónicas y los periscopios de búsqueda y ataque. Los mástiles de los Submarinos están alojados, desde su base, dentro de un compartimiento llamado sentina seca. Estos mástiles deben ser conducidos hacia el exterior del Submarino (izado) y nuevamente deben ser retornados (arriado) a su posición interna (sentina seca). Dentro de la sentina se realizan diferentes trabajos como supervisión diaria de cableados del sistema de comunicaciones, revistas de seguridad durante la navegación y en puerto, limpieza, mantenimiento de tanques, mantenimiento de la parte inferior de los mástiles, chequeo de válvulas de seguridad de los tanques combustibles, cambio de filtros, mantenimiento a los interruptores de fin de carrera de cada uno de los mástiles, entre otras.

El procedimiento actual arriado e izado de mástiles de los Submarinos de Colombia, se realiza mediante control eléctrico e hidráulico, no se cuenta con visibilidad en el interior de la Unidad, y, por ende, no se observa la posición exacta de los mástiles o si hay hombres realizando trabajos sobre la vela o dentro de la sentina.

Para poder conocer la posición de los mástiles, se realiza una inspección visual con uno de los periscopios, con una lámpara local en el tablero eléctrico, subiendo sobre cubierta para visualizar

de manera directa o preguntando por un intercomunicador al personal de seguridad externa. Por lo anterior, el encargado de la seguridad interna tiene que confirmar en qué lugar se encuentran los tripulantes, lo cual puede causar un accidente durante las labores por errores en la comunicación por el alto nivel de ruido que existe dentro de la unidad submarina. La única forma de saber dónde se encuentran los hombres es preguntando por los intercomunicadores al tripulante que se encuentra de guardia en la parte externa del Submarino.

El uso de la pantalla HMI y el PLC de control, (controlador lógico programable) en el sistema de izado y arriado de mástiles, permitiría visualizar internamente la posición exacta de los mástiles, visualizar la silueta del Submarino y conocer la posición exacta de los hombres que se encuentran trabajando en la sentina seca, dentro y sobre la vela, durante las operaciones de navegación o puerto y minimizar la posible ocurrencia de accidentes.



Ilustración 1: Submarino con los mástiles izados. Fuente: Fuerzas Militares

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, surge la siguiente pregunta problema:

¿Cómo automatizar el tablero de control de izado y arriado de mástiles para minimizar los riesgos latentes durante el procedimiento en los Submarinos Oceánicos de la Armada Nacional de Colombia?

Justificación

Antiguamente, y hasta fines de la segunda guerra mundial, las Unidades Submarinas no se mantenían sumergidos mucho tiempo. Lo hacían cuando debían evadir a un enemigo o a un ataque, tanto así que, era un enorme riesgo estar dentro del agua (y sigue siendo). Pero fue la necesidad de estar más tiempo debajo del agua por las acciones de guerra que generó las mejoras en las herramientas y métodos de detección de otras unidades marinas (Balaresque, 2017)

Entre estas modernizaciones, se encuentra el sistema de arriado e izado de mástiles, lo cual ha reforzado la característica silente de inteligencia y, sobre todo, de permanecer incógnito debajo del agua por más tiempo. De aquí la importancia de los Submarinos en el sector militar, pero que también han sido muy útiles en el terreno científico, ya que con ellos se ha explorado la fauna y la flora del fondo marino, de manera más exhaustiva.

Debido al gran avance de la tecnología de guerra y en especial de las Unidades Submarinas, se tiene la imperiosa necesidad de modernizar los equipos de control de los Submarinos Colombianos con el objetivo de ir a la vanguardia de la Tecnología de punta en el ámbito mundial.

La no visualización directa ni en tiempo real de la posición de los mástiles o de los tripulantes laborando en las sentinas, el alto nivel de ruido durante el procedimiento, el traslado temporal desde sus puestos de trabajo para la verificación de posiciones y para la comunicación entre los tripulantes y el sistema manual actual de arriado e izado existente en los Submarinos Colombianos, hace que dicha operación genere un riesgo de accidentes por errores en la inspección, vulneración de la seguridad, caídas de tripulantes al agua, fallas en el recambio de

oxígeno, fallas en las comunicaciones, entre otros.

Con esta automatización a través de un Touch panel de control para izado y arriado de mástiles, se benefician las Unidades Submarinas Nacionales e Internacionales, disminuiría la ocurrencia de errores durante el trayecto, la verificación en tiempo real de las maniobras realizadas sobre y dentro de la vela y en la sentina seca del Submarino, haría más rápida y segura dicho procedimiento, aumentando el grado de eficiencia del sistema de control de arriado e izado de los mismos como se observa en el diagrama de lo esperado presentado en la Ilustración 2.

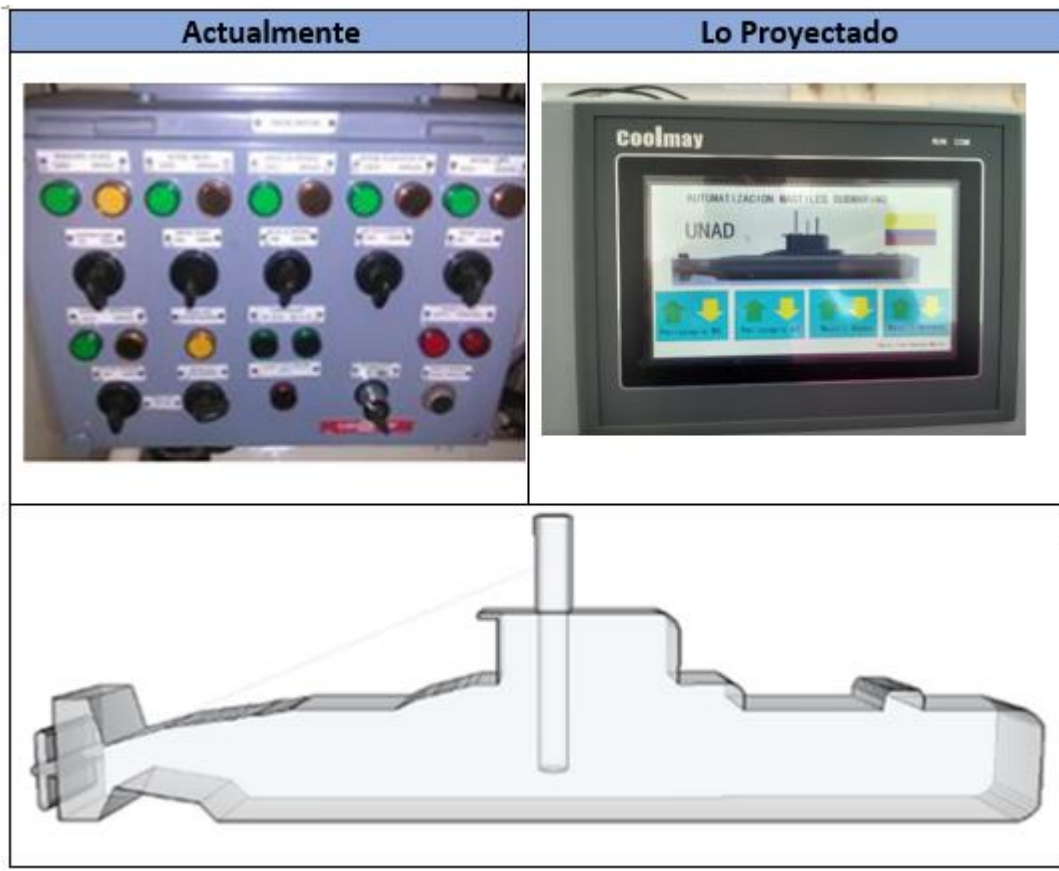


Ilustración 2: Representación ubicación de los mástiles. Fuente: Autoría propia.

Objetivos

Objetivo General

Automatizar el sistema de Izado y Arriado de Mástiles en un prototipo de Submarino Oceánico.

Objetivos Específicos

- Identificar la percepción de la tripulación responsable de izado y arriado de los mástiles del Submarino ARC PIJAO, con relación a la automatización de dicho sistema.
- Construir un prototipo a escala del sistema de izado y arriado de Mástiles en un Submarino Oceánico.
- Diseñar la programación en la pantalla HMI, para visualizar la silueta del submarino y operacionalización del proceso.
- Simular en el prototipo el proceso de izado y arriado de los mástiles como prueba de funcionamiento del programa.

Marco Referencial

En este capítulo se presentan los antecedentes de investigación en automatización de los procesos de izado y arriado de mástiles encontrados en la revisión bibliográfica realizada, la presentación de los fundamentos de submarinos y los procesos de izado y arriado de mástiles, y los conceptos relacionados con el tema para dar mayor claridad de la investigación.

Antecedentes Investigativos

Se hace una aproximación al estado del arte ya que lo encontrado es muy poco porque en la actualidad no hay abundante literatura de antecedentes de investigaciones de automatización de sistema de mástiles de Submarinos de guerra.

Dentro de la revisión bibliográfica se encontró la tesis de la escuela técnica superior de ingenieros navales llamada “Submarino de combate: (Fernandez, 2017) Análisis de las alternativas propulsivas y definición de la cota operativa” de David Fernández de Sevilla Muñoz. Este trabajo fue desarrollado para obtener el título del master en ingeniería naval Oceanica por la Universidad Politecnica de Madrid, donde se describe el diseño preliminar de un submarino de guerra. En esta investigación primero analizan las últimas tecnologías en la construcción de submarinos que les sirvieron como base para calcular las dimensiones de las áreas y compartimientos, el volumen del casco resistente, la estimación del control de pesos, se realizaron cálculos de arquitectura naval con respecto a hidrostática y estabilidad, potencia efectiva, estimación de la resistencia al avance, así como la descripción de los diferentes

sistemas que lo componen, entre estos, se describen los mástiles de los submarinos, sus funciones y el sistema de arriado e izado de los mismos, pero como una de las tantas partes que componen las unidades submarinas de combate.

Por otro lado, se encuentra una ficha técnica de un producto de la empresa peruano-venezolana llamada Venproacustik (Venproaccustik, 2015) dedicada, entre otros, al desarrollo y aplicación de la acústica submarina con aplicaciones científicas, civiles y/o militares, el Análisis de fallas en Sonares y Sistemas Acústicos y Mantenimiento de equipos acústicos (sonares, ecosondas, batitermógrafos, etc.). El producto es el HMC-17U **Sistema de Supervisión y Control de Mástiles Izables**, en cuya ficha técnica se informe literalmente que “permite comandar los procesos de izado y arriado de mástiles de los submarinos como son las antenas UHF, de látigo, del ECM, del radar, y del periscopio de navegación y de ataque. El sistema cuenta con un panel táctil gráfico, sobre el cual permite el izado y arriado de los mástiles, así como la habilitación de funciones automáticas de arriado en condiciones particulares de navegación o de emergencia. Los procesos de control se manejan en tiempo real, empleando controladores de automatización programables (PAC) de última generación, garantizando la ejecución de aplicaciones determinísticas, otorgando una alta confiabilidad al sistema. El sistema puede ser integrado con otros equipos del buque, para intercambiar datos entre los diversos instrumentos, lo cual permite optimizar la gestión integral de la información.” La ficha también una breve descripción del proceso de manufactura, arquitectura del sistema, características, y de las especificaciones técnicas, la cuales son las siguientes:

Tabla 1. Especificaciones técnicas Sistema de Supervisión y Control de Mástiles Izables,
Venproacustik.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Tensión de alimentación	100V-240VV AC 60Hz / 90V300VDC
Temperatura de operación	- 20 °C a 60 °C
Temperatura de almacenamiento	- 30 °C a 70 °C
Grado de protección	IP-65
Equipo de supervisión y control	Controlador de procesamiento en tiempo real y arreglo de compuertas lógicas reprogramables FPGA (Field Programmable Gate Array incorporado
Interfaz de usuario	Pantalla táctil dentro 15 a 19 pulgadas
Conectividad	Comunicación a través de puerto señal RS422 - RS485 con prototipó NMEA - 0183 o punto de red Ethernet
Otras	Indicadores luminosos y auditivos

Fuente: vencproacustik, tablero de mástiles

Marco Teórico

Los Submarinos son embarcaciones que navegan y realizan maniobras en inmersión, además de hacerlo también por la superficie. La navegación la realiza gracias a un sistema de flotabilidad variable que fueron usados inicialmente en la Primera Guerra Mundial. Fueron fabricados principalmente para fines de guerra y de defensa territorial. Se podría decir que el país que posee Submarinos dentro de sus Fuerzas Armadas es un país que tiene un gran potencial bélico, ya que además de ser una máquina de guerra con alta capacidad destructiva, también es una embarcación silente y de operaciones encubiertas o de inteligencia.

Los Submarinos están diseñados para realizar inmersiones a grandes profundidades, por lo que la estructura debe ser de un material altamente resistente a las presiones del agua en el fondo del mar. La capacidad del submarino para descender y ascender del agua lo consigue mediante la alteración de su peso, por medio de un sistema de tanques que almacenan aire y agua separadamente. Para emerger usan el aire comprimido, expulsando agua de los tanques a través de válvulas vaciándose totalmente cuando el Submarino llega a la superficie. En el descenso, el agua arrastra al aire cuando entra por las válvulas inferiores, equilibrándose por medio de timones de inmersión, que están situados en la parte delantera y trasera del Submarino (Marinos, s.f.)

En el ámbito del desarrollo de un software existen métodos de ingeniería estructurados que contienen modelos de sistemas, reglas y guías de procesos que sirven como orientación para el correcto desarrollo. Se define como un conocimiento aplicado de las computadoras y la computación para resolver un problema identificado, lo que permite desarrollar una metodología que alcance todo el ciclo completo de un proyecto informático, desde los requerimientos del

cliente hasta las pruebas de éste. Es por eso por lo que, inicialmente se debe identificar el problema y sus probables soluciones, afirmando el concepto de algunos autores que expresan que la ingeniería del software brinda métodos y técnicas para desarrollar y mantener softwares que resuelven problemas de toda índole.

De acuerdo con lo anterior primero se debe identificar correctamente el problema para conocer el alcance y sus posibles soluciones, con lo que se afirma que la Ingeniería de Software es una disciplina de la ingeniería que comprende todos los aspectos de la producción de software en todas sus etapas, que ofrece métodos y técnicas para desarrollar y mantener softwares que puedan resolver problemas o requerimientos de los clientes de cualquier índole.

Para desarrollar cualquier software es importante establecer una metodología para poder identificar los requerimientos y especificaciones en cada una de las etapas, a través de los modelos del Ciclo de Vida del Software. Estos se describen en etapas, tales como, análisis, diseño, implementación y mantenimiento del software. Hoy en día, se cuenta con diferentes metodologías para abordar un proyecto de software. El objetivo de usar una metodología de desarrollo de software es determinar el orden de las etapas y establecer los criterios de transición entre ellas, es decir, dan una guía del orden que un proyecto debe seguir (Berzal)

Dentro de los lenguajes gráficos orientados a apoyar todas las fases de desarrollo de software, desde la especificación y análisis de requerimientos hasta la construcción e instalación de éstos, se encuentra el UML (Unified Modeling Language). Este es usado para visualizar, especificar, construir y documentar los componentes de un sistema de software, capturando los detalles importantes de un sistema, para que el problema sea comprendido, se desarrolle una solución y su implementación se construya de forma precisa y permitir que se devalen relaciones complejas entre los elementos (relación estática y relaciones dinámicas) (Lucidchart, s.f.)

En este sentido, son importantes las bases de datos relacionadas, las cuales están compuestas por elementos que se ampliarán en el concepto del “Procesador Lógico Programable” conocido como PLC. (Cervantes, 1996), para desarrollar la aplicación, en el entorno de programación. Entre las opciones de pantalla para la automatización del sistema de mástiles y reemplazo del tablero existente a bordo de los Submarino, se encuentran las pantallas HMI de la empresa Siemens, Schneider o Coolmay, las cuales pueden ser programadas para recibir señales eléctricas de cada uno de los mástiles.

Para el desarrollo de software hay que realizar un análisis de Sistema, identificar las necesidades del cliente, evaluar los conceptos que tiene el cliente del Sistema para establecer su viabilidad, realizar un análisis técnico y económico, asignar funciones al hardware, al software, al personal, construir la base de datos y otros elementos del sistema, establecer las restricciones de presupuesto, de planificación temporal y, por último, crear una definición del sistema que forme el fundamento de todo el trabajo de Ingeniería.

Marco Conceptual

Submarino: Embarcación capaz de navegar bajo el agua, especialmente utilizada con fines militares de estrategia o ataque.

Mástil: Instrumento utilizado a bordo de los Submarinos que cumplen diferentes actividades como la búsqueda, posición, comunicación y ventilación.

Manifold: Sistema donde se controlan las señales eléctrico-neumáticas para controlar el izado y arriado de los mástiles.

Antena HF: Antena utilizada para tener comunicaciones mientras la Unidad Submarina se encuentra a profundidad de periscopio (45 pies).

Mástil del Contramedidas Electrónicas: Mástil utilizado para detectar frecuencias de radares de otras Unidades, tanto en superficie como en inmersión.

Mástil del Radar: Antena que tiene interfase con la consola del radar, para detectar marcaciones y distancias de embarcaciones que se encuentran navegando en superficie, además de proporcionar información de los contactos como posición, velocidad, entre otros.

Mástil del snorkel: Mástil que permite realizar el recambio del oxígeno desde el exterior hacia el interior del submarino, durante las inmersiones a profundidad de periscopio (45 pies).

Mástil de Antenas: Utilizado para tener comunicaciones mientras la Unidad Submarina se encuentra a profundidad de periscopio (45 pies).

Periscopio de Búsqueda y Ataque: Instrumento para la observación desde una posición mientras la Unidad Submarina se encuentre en Superficie y durante las navegaciones en inmersión a una profundidad visual de 45 pies.

Sentinas: Cavidad inferior del submarino, se alojan los mástiles cuando se encuentran arriados.

Metodología

La presente investigación es de tipo aplicada y tiene un enfoque cuantitativo, en el que de forma secuencial y lógica se van a identificar los aspectos necesarios para el diseño de un prototipo de un submarino, en el cual se pueda simular un proceso de izado y arriado de mástiles. Adicionalmente, este estudio es descriptivo, transversal y experimental, puesto que se tendrán y manipularán variables que permitan llevar a cabo la simulación del proceso objetivo de esta investigación.

Para llevarlo a cabo, será necesario identificar las variables a través de la búsqueda de información tanto en fuentes primarias como secundarias, y llevar a cabo una serie de actividades secuenciales que permitan obtener los resultados para la evaluación del prototipo. Para la simulación en el prototipo se tendrá en cuenta las variables de izado y arriado como variables independientes y como variables dependientes la respuesta de izado y arriado de los mástiles durante el desarrollo de la ejecución; las cuales se analizarán mediante datos estadísticos.

Inicialmente se realizó una visita a una unidad Submarina de la Armada Nacional de Colombia, para socializar el proyecto a los altos mandos y la tripulación, en busca del apoyo y los permisos pertinentes para la realización de dicho proyecto. El proyecto se desarrolló en 4 fases principales.

fase 1: Aplicación de la encuesta a personal seleccionado del Submarino.

Se aplicó encuesta de autoría propia como herramienta de recolección de datos, diseñada para ser contestada on line, a 11 tripulantes de diferentes divisiones o áreas operativas del submarino ARC Pijao, quienes son los responsables directos del proceso de izado y arriado de mástiles en la unidad submarina, con el fin de identificar su percepción con relación a la automatización de dicho sistema de izado y arriado.

fase 2: Construcción del prototipo a escala del Sistema de Izado y arriado de mástiles en un submarino Oceánico.

Se diseñó el plano del submarino a mano alzada para determinar las dimensiones del prototipo a escala, seguido de la construcción del armazón del submarino con materiales como madera, fibra de vidrio y acrílico, a los cuales se le adaptaron varios dispositivos como cables, motores, varillas de metal, entre otros, para simular el sistema de mástiles.

fase 3: Programación de la pantalla HMI y del PLC.

Programando la pantalla HMI y el dispositivo de control PLC, Aquí se logró el reconocimiento del video y la interacción entre el PC y la pantalla HMI Coolmay, se hizo el diseño de cada uno de los comandos de ejecución y la silueta del submarino basado en una imagen con extensión *bmp.

fase 4: Simulación del proceso de izado y arriado de mástiles.

Una vez se tuvo el prototipo ensamblado y conectado inalámbricamente con la pantalla de visualización, se logró energizar y mover los motores internos, donde el PLC programado envía información en tiempo real, a cada uno de los mástiles para simular los movimientos de salida y entrada, desde la pantalla touch panel. Es decir, en esta fase 4 es donde se logró completar la simulación de la automatización del sistema de arriado e izado de los mástiles submarinos.

Aplicación de la Encuesta a Personal Seleccionado del Submarino

Fecha de la encuesta: 05 al 25 agosto de 2019

Tipo de encuesta: On line. Selección múltiple con única respuesta, quedando registrados en el siguiente hipervínculo:

<https://docs.google.com/forms/d/1lXVg->

[Q4hImcHL98Ufk7875GtmfBR81y_KUrYCP1yO7k/edit](https://docs.google.com/forms/d/1lXVg-Q4hImcHL98Ufk7875GtmfBR81y_KUrYCP1yO7k/edit)

Población y muestra

Población: El total de tripulantes del Submarino ARC Pijao es de 40 personas

Muestra: La muestra en este caso es sistemática, estableciéndose los siguientes criterios para seleccionarla:

1. El tripulante a encuestar debe tener más de 10 años de experiencia a bordo del submarino
2. El tripulante encuestado debe pertenecer a las divisiones o áreas directamente responsables del funcionamiento del sistema de izado y arriado de los mástiles.

La encuesta se aplicó, entonces, a 11 tripulantes (27.5% del total de la tripulación), que cumplían con los criterios de inclusión, para conocer su percepción con relación a la automatización de dicho sistema, de la siguiente manera:

- 2 tripulantes de la división de electrónica
- 4 tripulantes de la división de electricidad
- 4 jefes de la división de electrónica
- 1 tripulante de la división de motores

En la ilustración 3, se observó la distribución de la muestra en relación a los cargos dentro submarino ARC PIJAO.

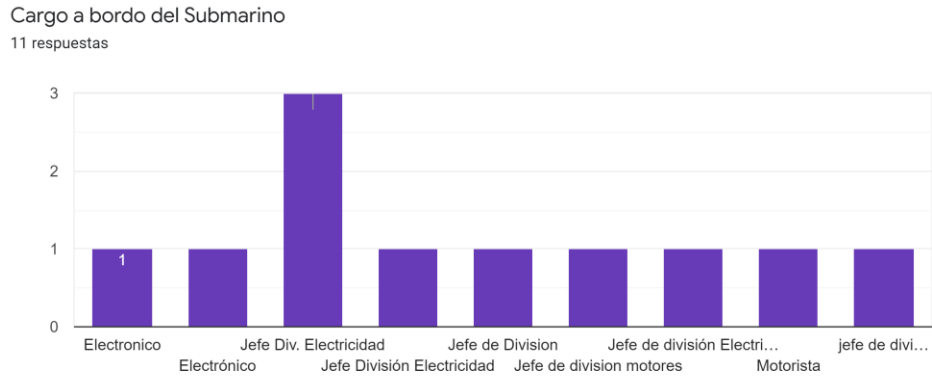


Ilustración 3: Grafico encuesta resultado de encuestadores. Fuente: Autoría propia.

Las respuestas a las preguntas de las personas encuestas fueron las siguientes:

Pregunta 1: ¿Cuáles son las funciones principales de los mástiles de un submarino?

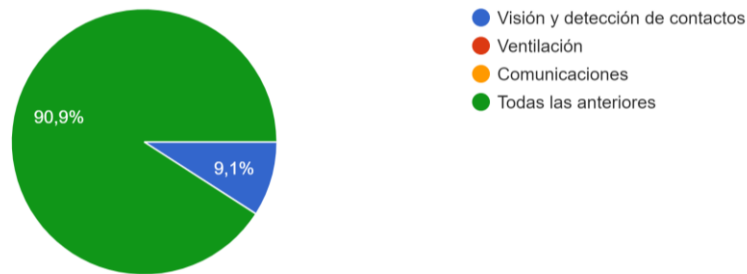


Ilustración 4: Grafico encuesta pregunta 1. Fuente: Autoría propia.

Se indaga por las funciones principales de los mástiles a bordo de las Unidades Submarinas, el 90,9% del personal responde que los mástiles tienen funciones diversas como la oxigenación, detección de contactos y comunicaciones, mostrando la importancia de este sistema en las operaciones submarinas.

Pregunta 2: ¿Qué áreas que intervienen durante el procedimiento de izado y arriado de los mástiles:

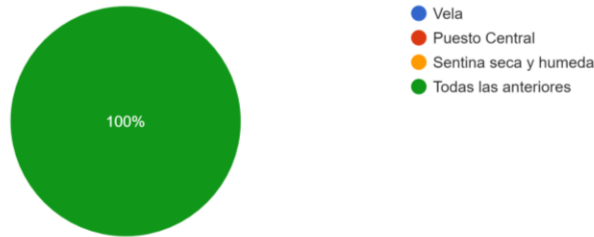


Ilustración 5: Gráfico encuesta pregunta 2. Fuente: Autoría propia.

Se observa que el 100% de los encuestados conocen el procedimiento de izado y arriado de los mástiles, los cuales son la vela, puesto central o de mando, la sentina seca y la sentina húmeda, evidenciando la importancia de introducir un control más preciso en el sistema, a través de su automatización.

Pregunta 3: ¿Con qué frecuencia se iza y arria los mástiles?

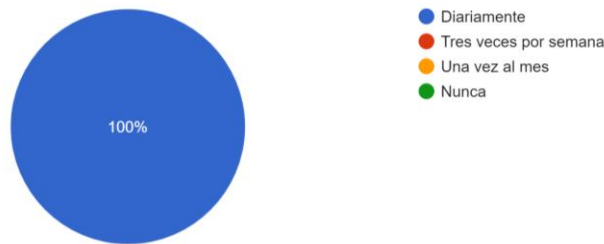


Ilustración 6: Gráfico encuesta pregunta 3. Fuente: Autoría propia.

El 100% de los encuestados respondió que los mástiles se izan y se arrian diariamente, varias veces al día, acorde a las necesidades y requerimiento de la navegación, lo que nos indica que su automatización generaría practicidad y optimización del tiempo de operaciones

Pregunta 4: ¿Cuántos hombres son los encargados del izado y arriado de los mástiles en el submarino?

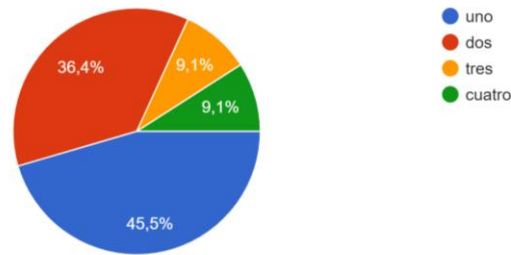


Ilustración 7: Gráfico encuesta pregunta 4. Fuente: Autoría propia.

El 54,5% contestó que se necesita más de 1 hombre para realizar el procedimiento y el 45,5% contestó que se necesita 1 solo hombre, es decir que, de acuerdo con el número de mástiles y de acuerdo con la maniobra que se esté presentando en la navegación, se necesitarán uno o más hombres para realizar el procedimiento, el cual se encuentra descrito en el manual de procedimientos donde está estipulado la cantidad de tripulación necesaria, precauciones de seguridad, entre otras condiciones.

Pregunta 5: ¿Cuántas veces ha participado usted en el procedimiento de izado y arriado de los mástiles del Submarino?



Ilustración 8: Gráfico encuesta pregunta 5. Fuente: Autoría propia.

El 100% de la respuesta nos indica que el procedimiento de izado y arriado de mástiles es uno de los más frecuentes en las navegaciones del submarino, tanto en inmersión como fuera del agua, la responsabilidad es compartida durante la maniobra.

Pregunta 6: ¿Actualmente cómo es el tablero de control de arriado e izado de mástiles del Submarino?

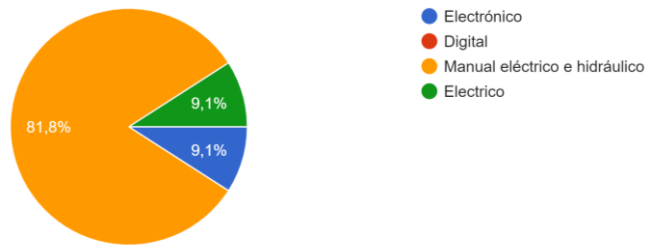


Ilustración 9: Grafico encuesta pregunta 6. Fuente: Autoría propia.

El 90,9% coincide que el tablero de control del sistema de izado y arriado de mástiles es manual, eléctrico o hidráulico, pero ninguno responde que es digital. Lo que nos muestra que el tablero es muy básico o ha quedado obsoleto en el avance la tecnología de guerra submarina.

Pregunta 7: ¿De qué manera se comunica usted con los hombres que están trabajando en la sentina seca o dentro de la vela del submarino?

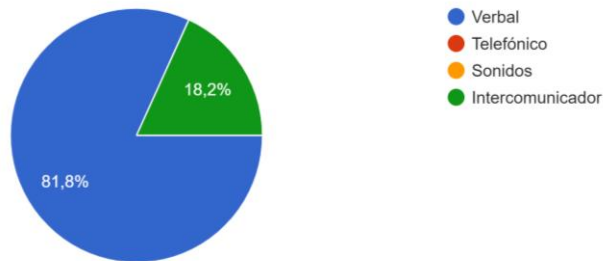


Ilustración 10: Grafico encuesta pregunta 7. Fuente: Autoría propia.

El 81,8% respondió que se comunica de manera verbal con los hombres que están trabajando en los compartimientos que alojan los mástiles y el 18,2% responde que a través de un intercomunicador. Cabe anotar que el nivel de ruido generado por motores, válvulas, equipos, etc., es alto, lo que puede interferir en las comunicaciones entre los tripulantes, generando un riesgo de error en la transmisión e interpretación del mensaje. Esto nos indica que el generamiento de las órdenes automatizadas para la operación del sistema de izado y arriado de los mástiles, hacen más segura la comunicación entre los tripulantes.

Pregunta 8: ¿Puede usted visualizar en qué lugar están trabajando los hombres dentro de la sentina y de la vela

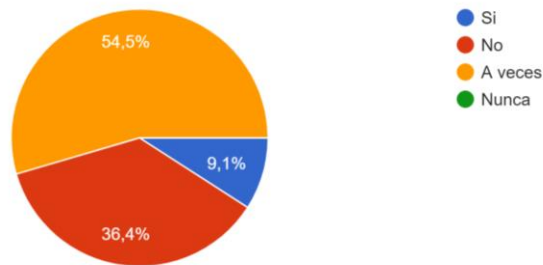


Ilustración 11: Gráfico encuesta pregunta 8. Fuente: Autoría propia.

El 90,9% de los encuestados responde que **no** puede o que **a veces puede** visualizar en qué lugar están trabajando los hombres dentro de las sentinas y la vela, pero deben movilizarse o abandonar momentáneamente su área de trabajo hacia esa zona para verificar. Esto nos reafirma que teniendo una pantalla que nos indique la posición de los hombres, se evita el traslado de un lado a otro, haciendo más seguro el procedimiento.

Pregunta 9: ¿Cree usted que visualizando la silueta del submarino y el sistema de izado y arriado de mastiles en una pantalla, se facilitaría dicho procedimiento?

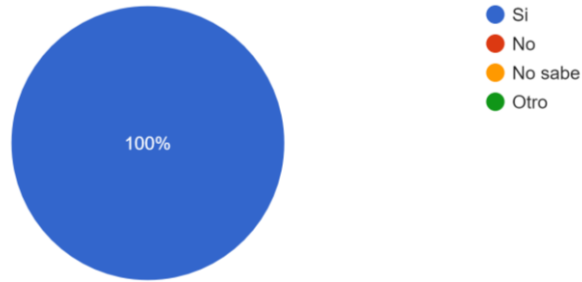


Ilustración 12: Gráfico encuesta pregunta 9. Fuente: Autoría propia.

El 100% de los encuestados coincide que visualizar la silueta el submarino a través de una de una pantalla, facilitaría el procedimiento de izado y arriado de mastiles. Este punto es importante en el sentido de que en las operaciones militares submarinas es vital la estrategia y el tiempo y la eficacia con la que se toman las decisiones.

Pregunta 10: ¿A cuál de las siguientes variables cree usted que aporta la automatización del sistema de arriado e izado de mástiles?

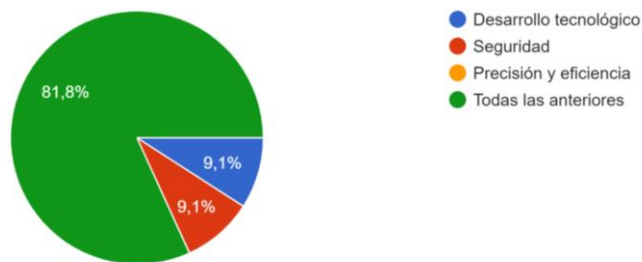


Ilustración 13: Gráfico encuesta pregunta 10. Fuente: Autoría propia.

El 81,8% de los encuestados está de acuerdo con que la automatización del sistema de izado y arriado de mástiles aporta a la seguridad, a la precisión, eficiencia y al desarrollo tecnológico. El 9,1% le da mayor importancia a la seguridad, que es una variable vital en la supervivencia del personal y en el éxito de la misión. y el otro 9.1% al desarrollo tecnológico.

Construcción del prototipo a escala del sistema de izado y arriado de mástiles en un submarino oceánico.

La construcción del prototipo a escala del Submarino Arc Pijao de la Armada Nacional se hace con el fin de realizar la simulación del proceso de izado y arriado de mástiles, se hará bajo un diseño ampliamente conocido por el autor, ya que desempeñó labores durante 15 años en el submarino.

Teniendo en cuenta las dimensiones reales de un Submarino Oceánico tipo 209, las cuales son 54,4 metros de eslora (largo), 6,25 metros de manga (ancho) y 5,5 metros de calado (profundidad) (Rovira, 2003), se diseña a escala de 1:50 los planos del prototipo, así como los elementos mecánicos para las piezas móviles que accionen el sistema de los mástiles durante la simulación.

Se escogió un modelo similar al submarino oceánico ARC Pijao de la Armada nacional de Colombia. Se diseñó inicialmente un plano a mano alzada para tener claro las dimensiones y luego consolidar materiales e iniciar el diseño a escala. Se usó un tubo de PVC de 4 pulgadas y en una carpintería se hicieron los moldes de madera para darle la figura de la proa (parte delantera del submarino), popa (parte trasera o posterior) y la vela (parte superior sobresaliente), quedando con las siguientes medidas:

- A. Vela: 7 cms
- B. Cubierta de balsas: 2 cms
- C. Casco resistente: 11.5 cms
- D. Altura de los mástiles: 8 cms

Después de la construcción del molde en madera, se completa el cuerpo del submarino en fibra de vidrio y al termino se realizan tres compuertas o aberturas desde la vela, la altura de balsas salvavidas y del casco resistente, para permitir la visualización de los mástiles. Se determina realizar una apertura móvil en los costados para instalar los elementos necesarios en los movimientos requeridos y el otro costado se fija con acrílico transparente con el fin de visualizar los movimientos de los mástiles durante la izada y arriada de los mismos.

Las medidas quedaron de acuerdo con la siguiente imagen:

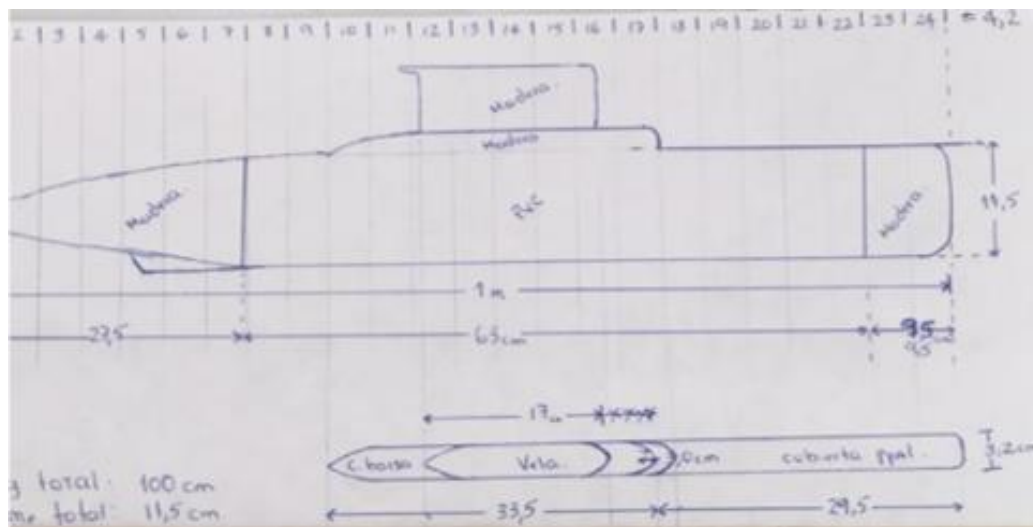


Ilustración 14: Planos del prototipo del Submarino a escala. Fuente: Autoría propia.

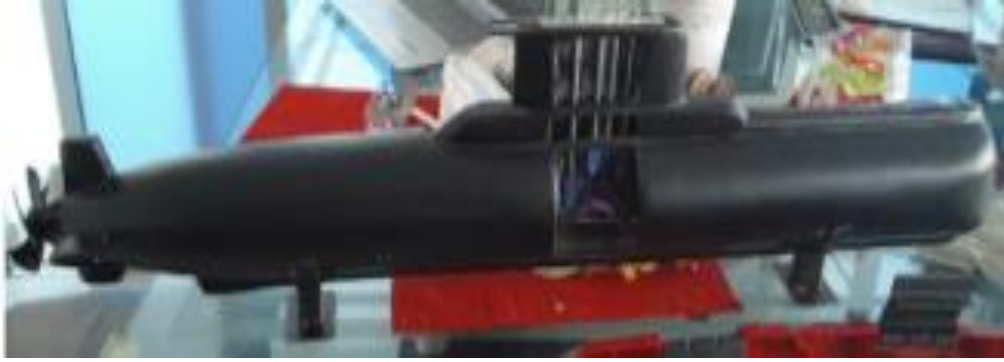


Ilustración 15: Prototipo a escala Submarino Oceánico. Fuente: Autoría propia.



Ilustración 16: visualización parte superior de la vela. Fuente: Autoría propia.

Pensando en la visualización de los mástiles durante la operación de izado y arriado se determinó realizar una perforación por el costado de estribor de la vela para facilitar la observación de los cambios durante las simulaciones. De igual manera en la parte superior de la vela se hicieron varias perforaciones con el diámetro de los mástiles para la salida y entrada de cada uno de ellos, cuando se inicie el funcionamiento de los motores.

Para garantizar el soporte y la estabilidad del prototipo se le manda hacer dos calzos para ubicarlos en la quilla del Submarino (uno hacia la proa y el otro hacia la popa) y así no se presenta movimiento de balanceo durante los ensayos como lo muestra la ilustración 15.

Programación De La Pantalla HMI Y Del PLC

Se describe el proceso de configuración y programación de la Pantalla HMI y del PLC, con la finalidad que interactúen en los diagramas que permiten la visualización y el control de la posición de los mástiles, a través de una interfaz, lo cual es accionado por los motores en el prototipo del submarino, a través de un ordenador, donde se evidencia la simulación de manera satisfactoria.

Programación Pantalla HMI

Para la programación de la pantalla se comienza con la ejecución de las instalaciones de cada uno de los elementos que corresponden, la instalación del programa de la pantalla CoolMayHMI y su ejecución, para que tuviera reconocimiento del video y se presentara la interacción entre el PC y la pantalla HMI CoolMay. De esta manera se comunican para poder hacer el diseño de cada uno de los comandos de ejecución y la silueta del submarino basado en una imagen con extensión *.bmp como se observa en las ilustraciones 17, 19 y 20.



Ilustración 17: Diseño programa dentro de la pantalla HMI. Fuente: Autoría propia.



Ilustración 18: Silueta para el diseño en la pantalla HMI. Fuente: Autoría propia.

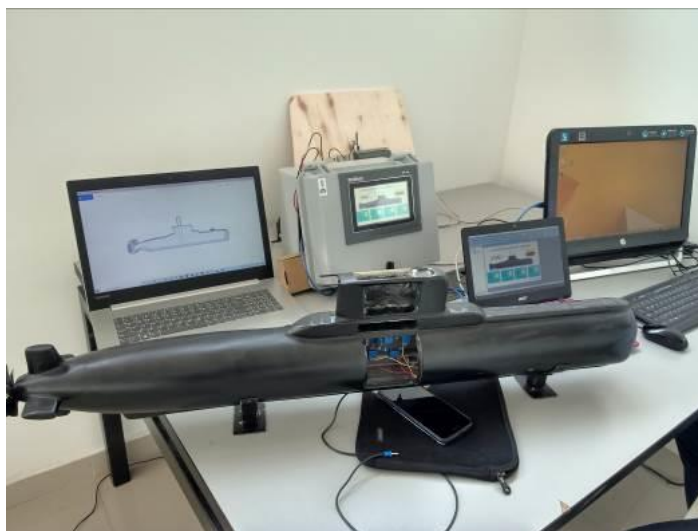


Ilustración 19: Componentes de interfaz. Fuente: Autoría propia.

Desde la aplicación CoolMayHMI en una computadora, se realiza el diseño para la presentación desde donde se envía hacia la pantalla HMI con el fin de ejecutar los comandos que van a permitir que el usuario pueda seleccionar las flechas verdes de izado y flechas amarillas de arriado.

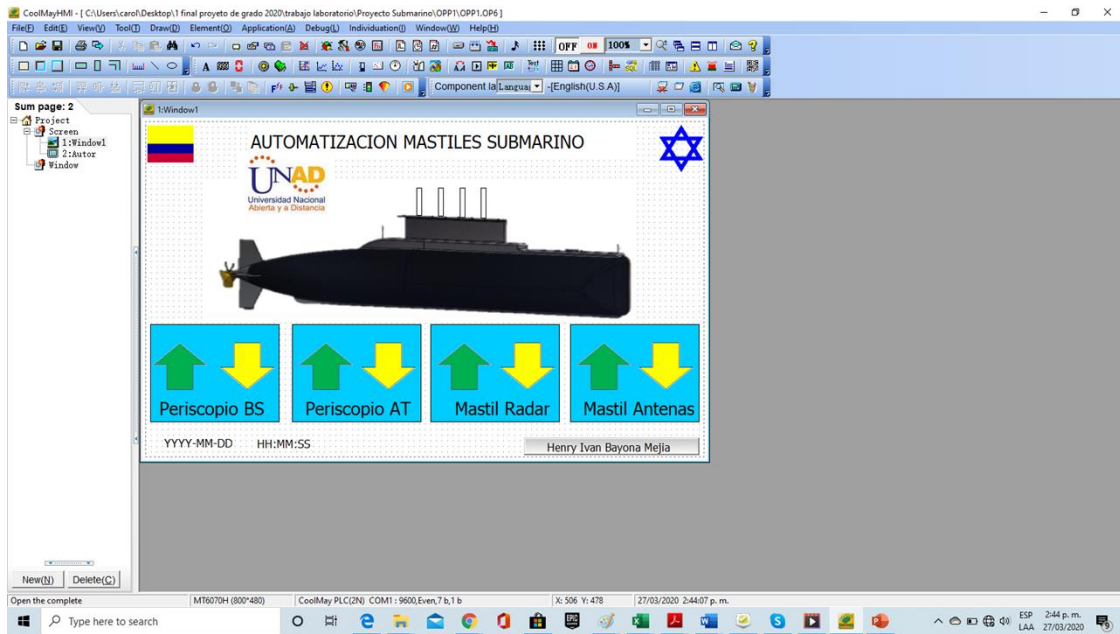


Ilustración 20: Programa CoolMayHMI para programar las señales. Fuente: Autoría propia.

Una vez se obtiene la imagen de la silueta del Submarino, se crean los comandos de ejecución de izado y arriado como se observa en la ilustración 21, donde la flecha verde corresponde a la orden de izado y la flecha amarilla a la orden de arriado. Una función adicional que tiene este comando es que, al dar click sostenido, tanto la flecha verde como la amarilla, cambian de color a rojo con la finalidad de mostrar cuál orden es la que se está ejecutando, hasta que finalice el proceso.

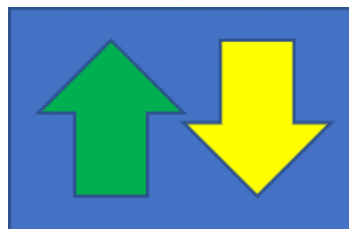


Ilustración 21: Comandos de ejecución orden de izado y arriado. Fuente: Autoría propia.

Durante el diseño de la silueta del submarino se probaron varias imágenes con extensiones diferentes hasta que se aceptó la imagen *.bmp por la incompatibilidad con otros formatos como el *.jpg, *.png, *.tff y *.gif entre otros. Esto es relevante debido a que uno de los factores a tener en cuenta durante el diseño de interfaz en programa como este, es la compatibilidad de los archivos, ya que una incongruencia puede llevar a errores durante la ejecución.

Para exaltar la institucionalidad de la Universidad se agregó un logo con el mismo formato y una estrella para identificar un sello personal de creencias personales. Adicionalmente se creó un hipervínculo que abre una nueva ventana con información de la hoja de vida del creador del programa.



Ilustración 22: presentación de la silueta del Submarino. Fuente: Autoría propia.

La pantalla Touch screen muestra la silueta del Submarino con cada uno de los mástiles que lo componen para observar la ubicación y el desplazamiento en tiempo real, cuando se ejecute la señal desde el mismo monitor.

Arquitectura del Sistema:

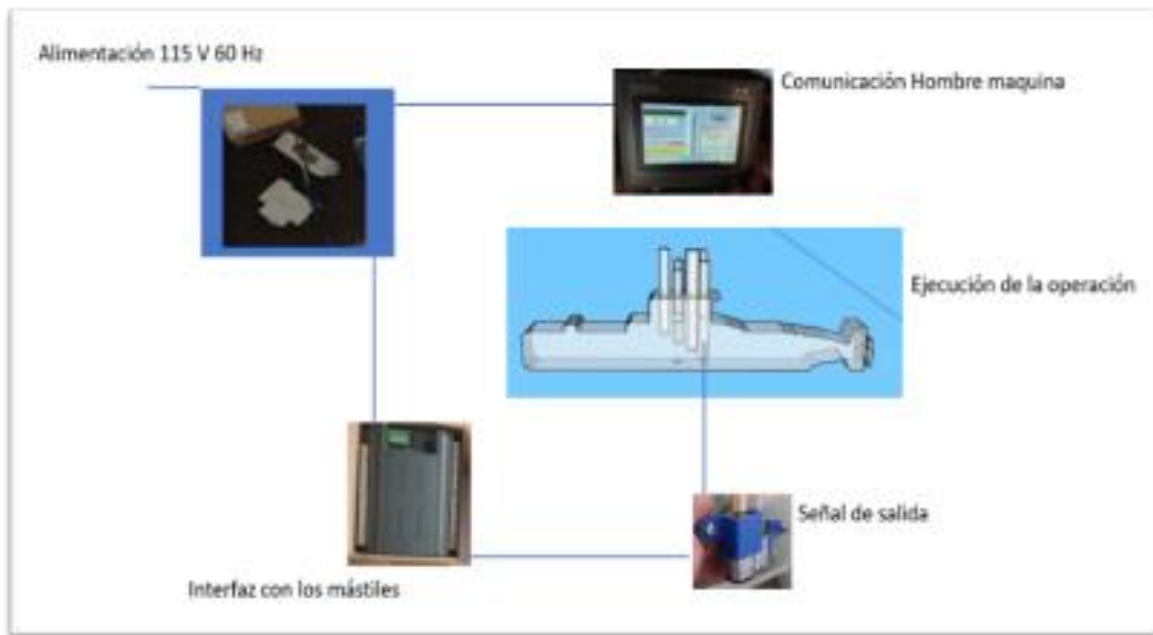


Ilustración 23: Interfaz de los componentes del sistema. Fuente: Autoría propia.

Instalación de elementos (Pantalla, fuente de poder, cableado, conectores, PLC) y programación del PLC. El voltaje que recibe la fuente de poder es de 115 v 60Hz a través de un interruptor hacia el PLC y en automático se alimenta tanto la pantalla HMI como el PLC con el voltaje requerido internamente para su operación normal.

<p>Coolmay HMI de 7-inch color Touch screen without operation system.</p> <p>Model: CX3G-24MT-ZAD2DA</p>			
<p>Coolmay HMI/PLC all-in-one 12DI/12DO, transistor output 2 analog inputs: 4-20mA 2 analog outputs: 0-20mA RS232, RS485 port on PLC</p> <p>Model: MT9070KH</p>		<p>Fuente de poder de 60w industrial</p>	

Ilustración 24: Elementos para la programación. *Fuente: Autoría propia.*

Programación PLC

Se inicia con la instalación de dos aplicaciones (CoolMayHMI_V5.76EN y GX Developer8-E), las cuales son ejecutables de vital importancia para la programación del PLC y la pantalla HMI, ya que tienen la finalidad de poder interactuar con el usuario, dándole click en la pantalla Touch panel que será la encargada de dar la orden al PLC para ejecutar la operación. Con el software MELSOFT series GX Developer, se procede a programar los comandos para ejecutar el izado y arriado de los mástiles a través de la pantalla HMI. Después de ejecutar el GX (programación de la pantalla), para iniciar pruebas entre el PLC y el Computador, se presenta un error y se bloquea el laptop que tiene como plataforma el WIN8. Se procede a reiniciar para poder correr la aplicación y se ejecuta correctamente.

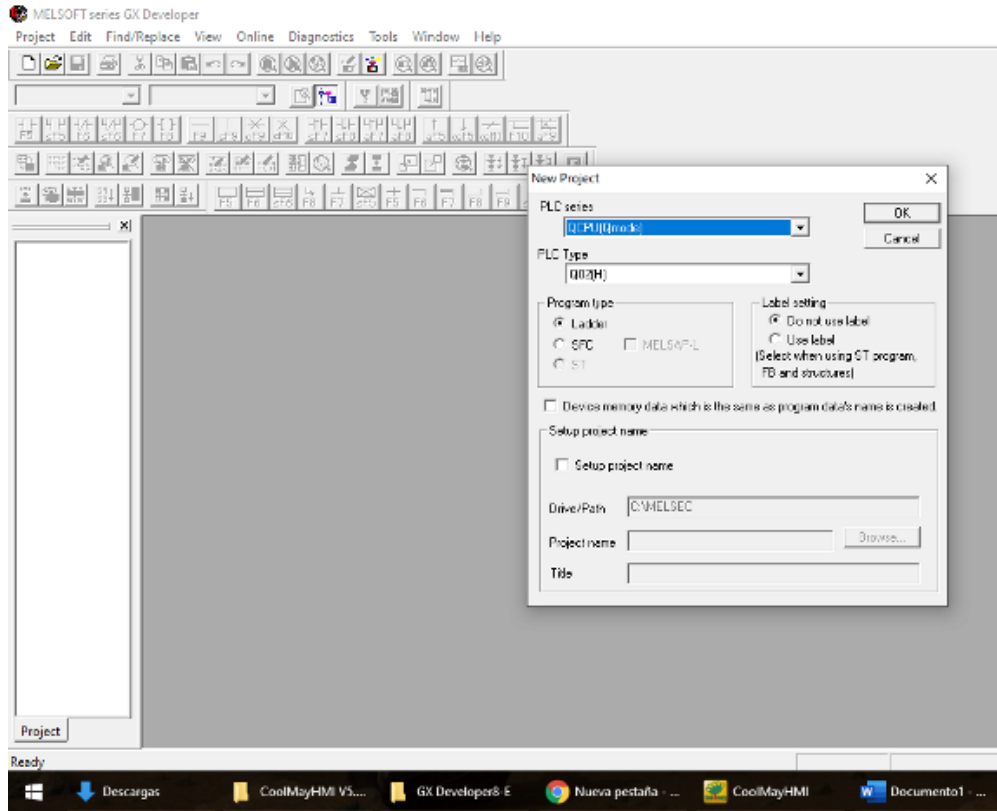


Ilustración 25: Ingreso aplicación programar en PLC. Fuente: Autoría propia.

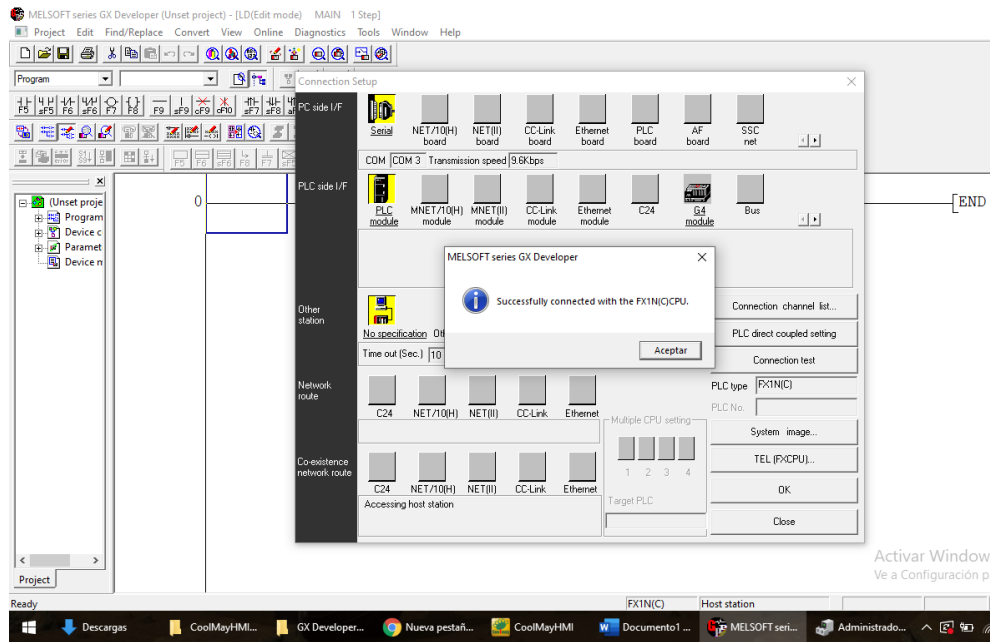


Ilustración 26: Aplicación programación en PLC. Fuente: Autoría propia.

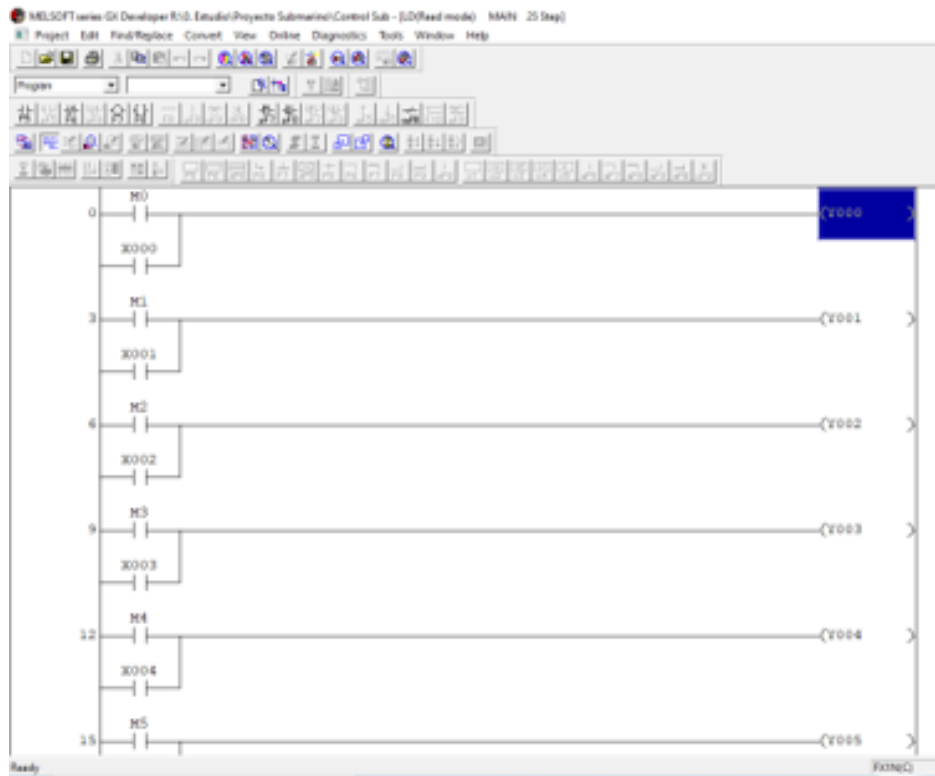


Ilustración 27: Programación PLC. Fuente: Autoría propia.

Para los movimientos de los mástiles en la ejecución las variables fueron las siguientes: izado A y arriado B, Periscopio de Búsqueda, Ataque, Mástil del Radar y Antenas, lo cual quedó programado en el PLC y se observa en la tabla 2.

Tabla 2. Cuadros variables de cada uno de los mástiles

A	B	MOTOR
0	0	ASEGURADO
1	0	IZADO
0	1	ARRIADO
1	1	ASEGURADO

Fuente: Autoría propia.

Simulaciones Del Proceso De Izado Y Arriado De Mástiles

Una vez se cuenta con el prototipo ensamblado y conectado inalámbricamente con la pantalla de visualización del sistema de arriado e izado de mástiles, se simula el proceso hasta obtener un grado de confiabilidad del 95% en los resultados obtenidos. Datos que son manejados estadísticamente una vez que se finalicen las diferentes corridas del equipo en las diferentes simulaciones.

Con el prototipo a escala del Submarino, el diseño de la silueta en la pantalla HMI y la programación del PLC que ejecuta los movimientos de los motores internos dentro del prototipo durante el izado y arriado de los mástiles para visualizarlos, se realizan las simulaciones del izado y arriado de mástiles.

Para la alimentación de energía del sistema se cuenta con una alimentación de 115 V 60 Hz, el PLC programado se encarga de enviarle información en tiempo real a cada uno de los mástiles para ejecutar la orden desde una pantalla de 7 pulgadas. Todo esto es simulado en el prototipo a escala donde los mástiles son unas varillas de 5/16 de diámetro enroscados al inicio para que pueda ingresar a un buje, el cual tiene conexión con un motor eléctrico que le indica el giro hacia la derecha, que simula el izado y con giro a la izquierda el arriado. La varilla en la parte superior se encuentra conectado con un tubo de aluminio que hace las veces de un mástil real.

Para iniciar el proceso de la instalación interna en paralelo con el diseño de los mástiles, las varillas enroscadas van sujetas a motor a través de unos bujes para que tengan el desplazamiento de subir y bajar acuerdo al giro de un costado o del otro según la operación, como lo muestra en la ilustración 16.



Ilustración 28: Acople del mástil y motor a través de un bocín. Fuente: Autoría propia.

Como evidencia del resultado de las simulaciones de los procesos de izado de arriado de los mástiles se grabaron unos videos en la cuenta de youtube del autor, los cuales se observa en los siguientes links:

Link de video del izado ya arriado de mástiles en 3D:

<https://www.youtube.com/watch?v=uOsnrDkZIXA&t=2s>

Link de video del izado ya arriado de mástiles con el prototipo:

<https://drive.google.com/open?id=1Qk2Xm6n2-8kdPMnrxTJaAOYOdzdnlVeS>

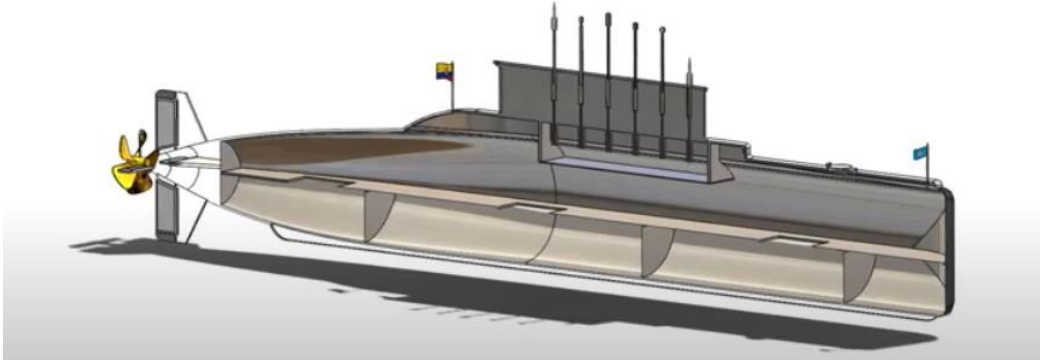


Ilustración 29: Simulación de izado y arriado mástiles en 3D. Fuente: Autoría propia.

Tabla 3. Relación de tiempo izado y arriado de mástiles

Mástiles	Tiempo de izado 1ra. línea	Número de Líneas	Tiempo de izado total	Tiempo de arriado 1ra. línea	Tiempo de arriado total
Mástil 1	15 seg	7	105 seg	15	105 seg
Mástil 2	15 seg	7	105 seg	15	105 seg
Mástil 3	15 seg	7	105 seg	15	105 seg

Fuente: Autoría propia.

En la tabla 3, relación de tiempo de izado y arriado de mástiles, se observa el tiempo que toma cada mástil en salir y entrar de la vela del submarino. Las marcas (líneas) de cada mástil tienen una separación de 1 cm cada una. Se usan motores diferentes e independientes para mover cada mástil.

Tabla 4. Tabla de relación de tiempo vs distancia.

<i>TIEMPO</i>	<i>DISTANCIA</i>
<i>seg</i>	<i>cm</i>
15	1
30	2
45	3
60	4.1
75	5
90	6
105	7

Fuente: Autoría propia.

En la tabla 4, se observa los tiempos durante la ejecución de izado con sus respectivas distancias. Se observa una tendencia lineal por cada línea recorrida durante el recorrido de 15 cm/segundos.

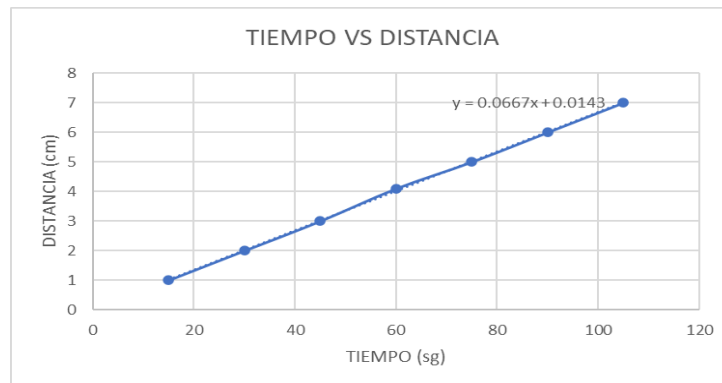


Ilustración 30: Grafica recorrido de izado y arriado de mástiles. Fuente: Autoría propia.

En la ilustración 30, se observa que la pendiente de la línea 0.0667 cms/seg. Este valor corresponde a la velocidad del proceso de izado y arriado en el prototipo.

Resultados

Cada fase del proyecto arrojó resultados que aportaron al cumplimiento de cada uno de los objetivos que se querían lograr.

En la primera fase, con la aplicación de la encuesta los resultados mostraron que el 100% de los encuestados está de acuerdo con que la automatización del sistema de izado y arriado de mástiles resulta beneficioso para las operaciones submarinas, adicional de la seguridad en la realización de estas actividades, para los tripulantes de la embarcación. las cuales en su mayoría son de inteligencia o encubiertas, lo que fortalece la característica silente del Submarino.

En la segunda fase, de la construcción del prototipo a escala del Submarino Oceánico basado en un modelo SS28, de la Armada Nacional de Colombia tipo ARC PIJAO; se obtuvo como resultado un Submarino diseñado a escala 1:50 con dispositivos adaptados que simulan el sistema de mástiles como los periscopios de búsqueda, de ataque y antenas de comunicación, con la finalidad de obtener la visualización de los mástiles durante la operación de izado y arriado, construido con materiales que permitieron realizar la simulación del proceso de izado y arriado de los mástiles a través de un sistema automatizado.

En la tercera fase, se diseñó un programa para una pantalla CoolMayHMI, el cual, permite que se pueda observar la silueta del Submarino a través de un interfaz enlazado con el prototipo. Así mismo se realizó la programación de un PLC que ejecutará las ordenes de izado y arriado de los mástiles del prototipo en conjunto con la interfaz. Con esto, se alcanzó como resultado final el diseño de comandos de ejecución en una pantalla HMI, el diseño de la interfaz, el reconocimiento del video y la interacción con el PLC.

En la cuarta fase, se realizaron simulaciones en el prototipo que permitieron evidenciar los movimientos del izado y arriado de los mástiles, de tal manera que se pueda escalar e implementar en un Submarino real y se puedan obtener las ventajas de un sistema automatizado; logrando que el PLC programado enviara información en tiempo real, a cada uno de los mástiles desde la pantalla touch panel, con lo cual se completó la simulación de la automatización del sistema de arriado e izado de los mástiles, el cual era el objetivo final del proyecto. Se pudo evidenciar que los tiempos de corrida de los mástiles del prototipo presentaban una secuencia de tiempos similares, correspondiente al recorrido de 15 cm/segundos; haciendo que el sistema diseñado presentara fortalezas al momento de ser ejecutado. por repetibilidad y reproducibilidad de los datos obtenidos al realizar las diferentes simulaciones.

Conclusiones

- La automatización del sistema de izado y arriado de mástiles permitirá a los submarinos nacionales estar a la vanguardia de la tecnología militar (Marinos, Submarinos silenciosos: detección imposible, s.f.) y optimizar el potencial de defensa del país.
- El 100% de los tripulantes encuestados está de acuerdo con que la automatización del sistema de izado y arriado de mástiles aporta a variables importantes en la supervivencia del personal y en el éxito de la misión submarina tales como la seguridad, precisión, eficiencia, desarrollo tecnológico, optimización del tiempo, entre otras.
- La automatización del sistema de izado y arriado de mástiles del submarino podrá garantizar mayor confiabilidad al personal de Submarinistas, debido a la visualización de la silueta dentro de la pantalla indicando la ubicación de los mismo, haciéndolo el procedimiento más ágil, seguro y eficiente.
- El uso de materiales moldeables en la construcción del prototipo a escala de un Submarino Oceánico basado en un modelo SS28, de la Armada Nacional de Colombia, permitió realizar la adaptación de motores y piezas mecánicas, con el fin de realizar simulación automatizada del proceso de izado y arriado de los mástiles.

- El diseño del programa para la pantalla CoolMa HMI y la programación del PLC, lo que permitió que, a través de la interfaz, se enlazara con el prototipo y ejecutara las ordenes de movimiento de izado y arriado de los mástiles, de manera que se pueda escalar e implementar en un Submarino real y se puedan obtener las ventajas de un sistema automatizado.

Recomendaciones

- Socializar a la tripulación el manual de procedimientos del izado y arriado de mástiles del submarino.
- Realizar un post test a la tripulación del procedimiento de izado y arriado de mástiles, después de la socialización el manual de procedimientos del izado y arriado de mástiles del submarino.
- Diseñar un plan interno de socialización de temas técnicos críticos que se deban reforzar dentro de la unidad submarina
- Instalar una pantalla programada con la silueta del Submarino con las funciones básicas de izado y arriado de los mástiles, donde muestre el desplazamiento y la ubicación durante cada una de las maniobras que desarrolla la Unidad Silente.

Referencias Bibliográficas

Balaresque, J. (2017). EL SUBMARINO, SU TRAYECTORIA CENTENARIA Y SU VIGENCIA EN EL SIGLO XXI. *Revista de Marina Chile*.

Berzal, F. (2020). *El ciclo de vida de un sistema de información*.

Fernandez, D. (junio de 2017). Submarino de Combate, Análisis de las Alternativas Propulsivas y Definición de la Cota Operativa. Sevilla, España.

Gutiérrez López, F. (2009). SCP PARA LOS SUBMARINOS S 80. *Revista de Publicaciones Navales*, 99-102.

Lucidchart. (s.f.). *que es el lenguaje unificado de modelado UML*. Obtenido de <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-el-lenguaje-unificado-de-modelado-uml>

Marinos, S. (s.f.). *Submarinos Silenciosos: detección imposible*. Obtenido de thyssenkrupp-marinessystems.com/en/submarines.html: www.thyssenkrupp-marinessystems.com/en/submarines.html

Rovira, F. (10 de septiembre de 2003). *El Snorkel*. Obtenido de https://www.elsnorkel.com/2003/09/resena-del-submarinos-tipo-209-ikl_10.html

submarinos, E. d. (2005). *CONOCIMIENTOS GENERALES DE LOS SUBMARINOS "SERIE 70*. Obtenido de <https://armada.defensa.gob.es/ArmadaPortal/ShowProperty?nodePath=/BEA%20Reposit>

ory/Desktops/Portal/ArmadaEspañola/Pages/mardigitalbiblioteca/19submarinos/19subm
arinos-es/doc999conosubs70//archivo

Venproacustik. (2015). Mastiles izables . *Tablero de mástiles* , pág. 2.

Anexos

Encuesta para proyecto de grado:

Automatización del sistema de izado y arriado de mástiles en un submarino oceánico.

*Obligatorio

Universidad Nacional Abierta y a Distancia



Fecha encuesta *

Fecha

Cargo a bordo del Submarino *

Tu respuesta

1. ¿Cuáles son las funciones principales de los mástiles en el submarino? *

- Visión y detección de contactos
- Ventilación

- Comunicaciones
- Todas las anteriores

2. Que áreas intervienen durante el procedimiento de izado y arriado de mástiles del submarino *

- Vela
- Puesto Central
- Sentina seca y húmeda
- Todas las anteriores

3. Con que frecuencia se iza y se arria los mástiles

- Diariamente
- Tres veces por semana
- Una vez al mes
- Nunca

4. Cuantos hombres son los encargados del arriado e izado de mástiles en el submarino *

- uno
- dos
- tres
- cuatro

5. Cuantas veces ha participado usted en el procedimiento de izado y arriado de los mástiles del submarino *

- Una vez
- Mas de una vez
- Muchas veces
- Nunca

6. Actualmente cómo es el tablero de control del arriado e izado de mástiles del submarino *

- Electrónico
- Digital
- Manual eléctrico e hidráulico
- Eléctrico

7. De qué manera se comunica usted con los hombres que están trabajando en la sentina seca o dentro de la vela del submarino. *

- Verbal
- Telefónico
- Sonidos
- Intercomunicador

8. ¿Puede usted visualizar en qué lugar están trabajando los hombres dentro de la sentina y la vela? *

- Si

- No
- A veces
- Nunca

9. ¿Cree usted que visualizando la silueta del submarino y del sistema de izado y arriado de mástiles en una pantalla, se facilitaría dicho procedimiento? *

- Si
- No
- No sabe
- Otro

10. A cuál de las siguientes variables cree usted que aporta la automatización del sistema de arriado e izado de mástiles *

- Desarrollo tecnológico
- Seguridad
- Precisión y eficiencia
- Todas las anteriores

Registro Fotográfico: Construcción Del Prototipo



Ilustración 31: Elementos para la construcción del molde del Submarino. Fuente: Autoría propia.



Ilustración 32: Molde del Submarino para llevarlo al fibrero. Fuente: Autoría propia.



Ilustración 33: Silueta en fibra de vidrio. Fuente: Autoría propia.



Ilustración 34: Durante el desarrollo del Submarino. Fuente: Autoría propia.

Elementos usados en el desarrollo del proyecto:



Siete motores reductores N29-298 6V 30RPM 1.5 kg,		Módulos L29EN para control de motores	
Mini controlador puente H L298		Tarjeta Arduino MEGA 2560 R3 compatible	

Ilustración 35: componentes necesarios para armar el prototipo. Fuente: Autoría propia.



Ilustración 36: Terminado en fibra de vidrio. Fuente: Autoría propia.

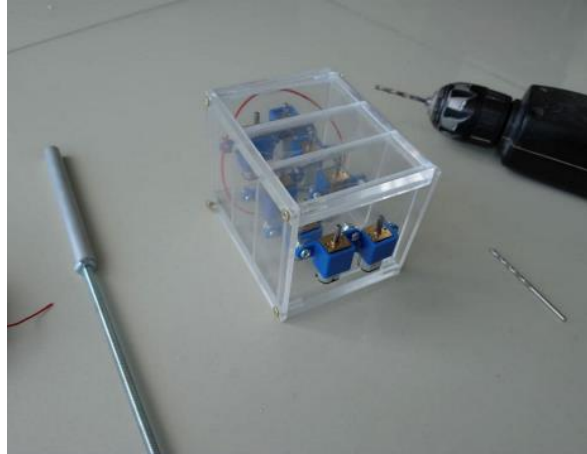


Ilustración 37: Motores para los mástiles. Fuente: Autoría propia.



Ilustración 38: Mástiles para el Submarino. Fuente: Autoría propia.

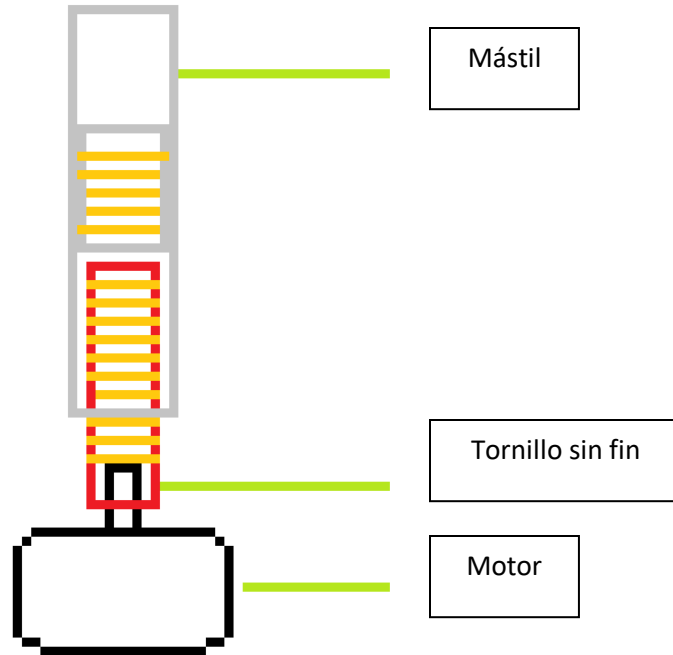


Ilustración 39: Configuración interna del mástil. Fuente: Autoría propia.



Ilustración 40: Submarino en 3D. Fuente: Autoría propia.