

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

Diseño de un vehículo no tripulado para el apoyo de operaciones de  
seguridad y protección marítima de la Armada del Ecuador

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingenieros en Mecatrónica**

Presentado por:

Andrés Alfonso Alcívar Albán

José Luis Chuchuca Suárez

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

Año: 2021

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación se lo dedico a mi papá, mamá y hermana, quienes me han brindado su apoyo incondicional en todos los retos que me he propuesto, y a Cecilia quien con amor ha compartido todas mis etapas académicas.

**Andrés Alcívar**

El presente proyecto lo dedico a mi esposa Lourdes, a mi hijo José Miguel y a mis padres quienes siempre estuvieron apoyándome en cada paso que he dado en mi vida.

**José Chuchuca**

## **AGRADECIMIENTOS**

Un profundo agradecimiento a los docentes y directivos de ESPOL quienes han colaborado con mi formación profesional, al Ph.D. Christian Tutivén quien como tutor nos brindó los mejores consejos y al M.Sc. Efraín Terán quien como coordinador y docente nos ha guiado paso a paso durante la carrera.

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Andrés Alfonso Alcívar Albán* y *José Luis Chuchuca Suárez* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

*Andrés Alcívar A.*

---

**Andrés Alcívar Albán**



---

**José Chuchuca Suárez**

# EVALUADORES

---

**Efraín Terán, M.Sc.**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**Christian Tutivén, Ph.D.**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El gobierno nacional tiene como uno de sus principales objetivos custodiar el territorio marítimo el cual es cinco veces más grande que el terrestre. Por esta razón se designó a la Armada del Ecuador como la encargada de proveer la defensa y la seguridad en los espacios marítimos de nuestro país, para lo cual se realizan procedimientos de abordaje e inspección a embarcaciones con el objetivo de controlar las actividades que se realizan. Actualmente, la verificación de la información en los protocolos es deficiente y la seguridad del personal militar que realiza el abordaje no es completa. Este proyecto presenta el diseño de un hexacóptero con materiales para trabajar en ambiente salinos y con un tiempo de vuelo adecuado para el cumplimiento de la operación, permitiendo obtener mejores resultados durante las inspecciones y abordajes al proporcionar una visión completa de las diferentes situaciones a las que se enfrentará el personal que ejecutará la inspección. Además, se desarrolló un software de detección de objetos realizado mediante técnicas de aprendizaje automático, que permite la identificación de personas, animales, armas y sustancias sujetas a fiscalización, así como el diseño de una consola de control que permite operar el vehículo aéreo no tripulado dentro de la lancha guardacostas. Finalmente, se concluye que este tipo de solución será de gran beneficio para obtener evidencia en caso de actividades ilícitas desarrolladas en el mar y contribuirá a la protección de la integridad humana de los miembros de la Armada del Ecuador.

**Palabras Clave:** Hexacóptero, diseño, detección, inspección, aprendizaje automático.

## **ABSTRACT**

*One of the main objectives of the national government is to guard the maritime territory, which is five times larger than the land territory, which is why it designated the Ecuadorian Navy as the one in charge of providing defense and security in the maritime spaces of our country, for which boarding, and inspection procedures are carried out on vessels in order to control the activities that are carried out, currently the verification of the information in the protocols is deficient and the security of the military personnel who carry out the boarding is not complete. This project presents the design of a hexacopter with materials to work in saline environments and an adequate flight time for the fulfillment of the operation, allowing to obtain better results during inspections and boarding by providing a complete vision of the different situations to which will face the personnel who will carry out the inspection. In addition, object detection software was developed using machine learning techniques, which allows the identification of people, animals, weapons, and substances subject to control, as well as the design of a control console that allows the unmanned aerial vehicle to operate. inside the coast guard boat.*

*Finally, it is concluded that this type of solution will be of great benefit to obtain evidence in case of illicit activities carried out at sea and will contribute to the protection of the human integrity of the members of the Ecuadorian Navy.*

**Keywords:** *Hexacopter, design, detection, inspection, machine learning.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	I
<i>ABSTRACT</i> .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS .....	VI
SIMBOLOGÍA .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	X
ÍNDICE DE PLANOS .....	XI
CAPÍTULO 1 .....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	3
1.2 Justificación del problema .....	4
1.3 Objetivos .....	5
1.3.1 Objetivo general .....	5
1.3.2 Objetivos específicos .....	5
1.4 Marco teórico .....	6
1.4.1 Vehículo no tripulado .....	7
1.4.2 Tipos de control .....	8
1.4.3 Niveles de autonomía .....	9
1.4.4 Clasificación de los vehículos no tripulados .....	10
1.4.5 Vehículos no tripulados militares .....	14
CAPÍTULO 2 .....	16
2. Metodología .....	16
2.1 Requerimientos de diseño .....	18

2.2	Alternativas de solución.....	18
2.2.1	Selección de vehículo no tripulado.....	19
2.2.2	Selección de vehículo aéreo no tripulado.....	21
2.3	Selección de componentes y materiales.....	23
2.3.1	Sistema de propulsión.....	24
2.3.2	Batería.....	28
2.3.3	Controlador de vuelo.....	29
2.3.4	Telemetría.....	31
2.3.5	Sistema de imagen y video.....	32
2.4	Diagrama de conexión de componentes electrónicos.....	35
2.5	Modelo matemático.....	36
2.6	Cálculos.....	36
2.6.1	Potencia de motores.....	36
2.6.2	Tiempo de Vuelo.....	43
2.7	Software de detección de objetos.....	44
2.7.1	Aprendizaje automático.....	45
2.8	Estación de control.....	49
2.8.1	Hardware.....	49
2.8.2	Software.....	52
CAPÍTULO 3.....		53
3.	Resultados y análisis.....	53
3.1	Diseño mecánico.....	53
3.1.1	Diseño de la estructura principal.....	54
3.1.2	Brazos de hexacóptero.....	57
3.1.3	Estructura protectora.....	58
3.1.4	Análisis de elementos finitos.....	58

3.2	Diseño de la consola de control.....	61
3.3	Identificación mediante el software de detección de objetos.....	62
3.4	Análisis de costos.....	66
CAPÍTULO 4 .....		68
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	68
4.1	Conclusiones.....	69
4.2	Recomendaciones.....	70
BIBLIOGRAFÍA .....		71
APÉNDICES.....		75

## **ABREVIATURAS**

CONVEMAR	Convención de las Naciones Unidas sobre Derecho del Mar
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UGV	Unmanned Ground Vehicle
USV	Unmanned Surface Vehicle
UUV	Unmanned Underwater Vehicle
ISA	Industry Standard Architecture
CPU	Unidad central de procesamiento

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
mm	Milímetro
kg	Kilogramo
g	Gramo
kgf	Kilogramo-fuerza
T	Fuerza de empuje
A	Área
W	Watts
FM	Factor de mérito
A	Amperios
V	Voltios
mAh	Miliamperios hora
Ah	Amperios hora
min	minutos
MPa	Mega Pascal

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Territorio marítimo ecuatoriano .....	1
Figura 1.2 Procedimiento inspección y abordaje .....	2
Figura 1.3 Lanchas del Comando de Guardacostas .....	2
Figura 1.4 Lancha guardacostas .....	6
Figura 1.5 Vehículo no tripulado desarrollado por Google .....	8
Figura 1.6 Clasificación de vehículos no tripulados .....	10
Figura 1.7 Hexacóptero Profesional H520 .....	11
Figura 1.8 Vehículo terrestre no tripulado .....	12
Figura 1.9 Vehículo de superficie no tripulado militar.....	13
Figura 1.10 Vehículo submarino no tripulado Remus 300 .....	14
Figura 1.11 Vehículo no tripulado Mavic2.....	14
Figura 1.12 Vehículo aéreo RQ-11 Raven.....	15
Figura 1.13 Vehículo superficie Vendaval.....	15
Figura 2.1 Diagrama de flujo del proyecto .....	17
Figura 2.2 Motor brushless .....	25
Figura 2.3 Controlador de velocidad 1240S.....	27
Figura 2.4 Hélices modelo R2170.....	27
Figura 2.5 Baterías TB47S .....	28
Figura 2.6 Diagrama de conexiones controlador A3 .....	31
Figura 2.7 Sistema de telemetría.....	32
Figura 2.8 Cámara Sony DSC-W800.....	33
Figura 2.9 Gimbal Zenmuse z15.....	34
Figura 2.10 Diagrama de conexión componentes electrónicos .....	35
Figura 2.11 Etiquetado de imágenes y almacenamiento de coordenadas .....	46
Figura 2.12 Interfaz de la plataforma Weights & Biases .....	47
Figura 2.13 Entrenamiento del programa de detección en Google Colab .....	48
Figura 2.14 Diagrama de componentes de la estación de control.....	52
Figura 3.1 Modelo del hexacóptero en AutoCAD .....	54
Figura 3.2 Estructura Principal.....	55
Figura 3.3 Pernos Allen M3 .....	56

Figura 3.4 Brazos del hexacóptero. ....	57
Figura 3.5 Estructura protectora .....	58
Figura 3.6 Análisis de elementos finitos del brazo del rotor desplazamiento de Von Mises.....	59
Figura 3.7 Análisis de elementos finitos del brazo del rotor desplazamiento de Von Mises.....	59
Figura 3.8 Análisis de elementos finitos tensión de desplazamiento.....	60
Figura 3.9 Consola de control.....	61
Figura 3.10 Interfaz del programa de detección de objetos .....	62
Figura 3.11 Modelos pre-entrenados de YOLOv5 .....	63
Figura 3.12 Ejecución en tiempo real del software de detección.....	64
Figura 3.13 Resultado #1 obtenido del programa de detección .....	64
Figura 3.14 Resultado #2 obtenido del programa de detección .....	65
Figura 3.15 Ejecución del software de detección sobre video.....	65

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Requerimientos de diseño .....	18
Tabla 2.2 Ponderaciones criterios de alternativas #1 .....	20
Tabla 2.3 Matriz de decisión #1 .....	20
Tabla 2.4 Ponderaciones criterios de alternativas #2.....	22
Tabla 2.5 Matriz de decisión #2 .....	23
Tabla 2.6 Características del sistema de propulsión.....	24
Tabla 2.7 Diferencias de motores .....	25
Tabla 2.8 Características del motor 6010 .....	25
Tabla 2.9 Características del ESC 1240S.....	26
Tabla 2.10 Características hélices R2170 .....	28
Tabla 2.11 Características baterías TB47S .....	29
Tabla 2.12 Diferencias entre controladores de vuelo .....	30
Tabla 2.13 Características del controlador vuelo A3.....	30
Tabla 2.14 Características del control remoto.....	32
Tabla 2.15 Característica cámara Sony DSC-W800 .....	33
Tabla 2.16 Características Gimbal Zenmuse z15 .....	34
Tabla 3.1 Medidas de estructura de hexacóptero .....	54
Tabla 3.2 Detalle de pernos estructura principal.....	56
Tabla 3.3 Detalle de pernos brazos hexacóptero.....	57
Tabla 3.4 Costos del proyecto .....	67

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Estructura principal del hexacóptero
- PLANO 2 Conjunto brazo, motor, hélice
- PLANO 3 Tren de aterrizaje
- PLANO 4 Estructura protectora
- PLANO 5 Vista general
- PLANO 6 Consola de control

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar un vehículo no tripulado que sirva de apoyo a las operaciones marítimas que realiza la Armada del Ecuador, para evitar actividades ilícitas dentro del mar territorial y la zona económica exclusiva del país. El territorio marítimo ecuatoriano según la CONVEMAR [1] tiene 12 millas de mar territorial y 188 millas de zona económica exclusiva, en la figura 1.1 se puede evidenciar la cantidad de kilómetros cuadrados de territorio marítimo tanto insular como costero.

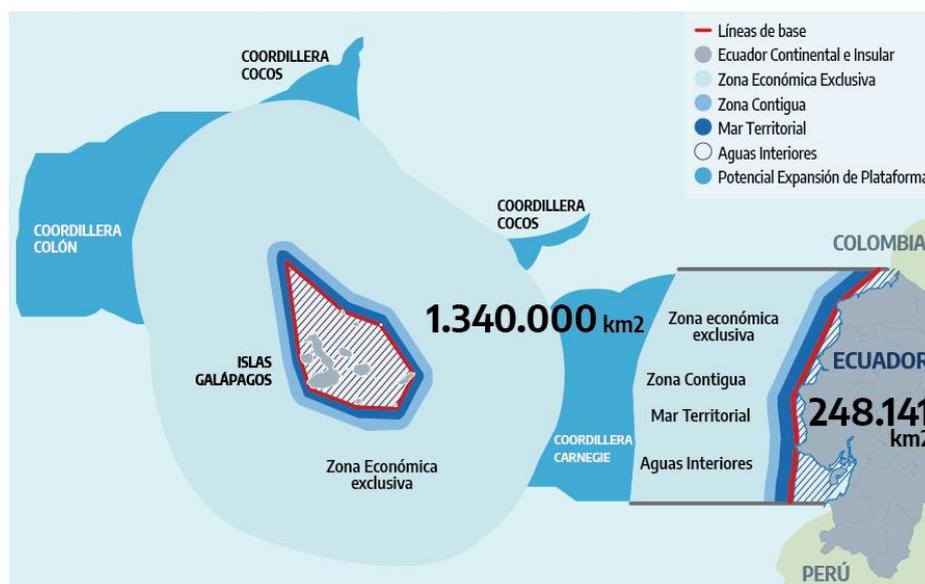


Figura 1.1 Territorio marítimo ecuatoriano [2]

Este vehículo brindará a la dotación de las embarcaciones navales información relevante al procedimiento de inspección y abordaje que según [3] se realizan en tres etapas y se las efectúan a embarcaciones pesqueras o sospechosas, como lo muestra la figura 1.2 con la finalidad de verificar a través de cámaras y sensores que los datos otorgados por el capitán interrogado sean verídicos, permitiendo tener un panorama claro para aumentar la seguridad del comandante de la dotación de abordaje y la tripulación encargada de la inspección.



**Figura 1.2 Procedimiento inspección y abordaje [4]**

El Comando de Guardacostas según la página web de la Armada del Ecuador [5] es el encargado de velar por el cumplimiento de las leyes y reglamentos nacionales y convenios internacionales relacionados a la vida humana en el mar y las actividades marítimas con embarcaciones de patrulla rápida y de gran autonomía como las que se observan en la figura 1.3.



**Figura 1.3 Lanchas del Comando de Guardacostas [6]**

## 1.1 Descripción del problema

Dentro de las operaciones ejecutadas por la Armada del Ecuador para el control de los recursos nacionales y las actividades desarrolladas en el mar, es necesario realizar el procedimiento de inspección y abordaje a embarcaciones pesqueras y sospechosas que se encuentran en el territorio marítimo del Ecuador durante los patrullajes efectuados por el Comando de Guardacostas.

Este proceso se planifica para realizarse en 3 etapas: previo al abordaje de la embarcación, durante el abordaje y una fase posterior en caso de requerir una aprehensión o evaluación de la inspección [3], por lo que es importante tener un campo visual amplio de la embarcación a inspeccionar, principalmente de su parte exterior, así como de sus ocupantes y actividades a las que se dedican. Además, es necesario tener evidencias en caso de realizar aprehensiones y ser llevados a cargo de la autoridad competente.

Actualmente, los miembros de la Armada del Ecuador no pueden verificar que se cumplan todos los procedimientos indicados a la embarcación a inspeccionar, específicamente en la fase previa al abordaje, donde se establecen comunicaciones vía radio para consultar datos sobre los pasajeros y su actividad.

Esto ocurre debido a que la partida de abordaje de la lancha guardacostas aún no se encuentran físicamente en el barco a inspeccionar, por lo que no poseer un panorama visual completo de la embarcación y sus exteriores, así como no poder comprobar que se cumplan las órdenes dadas por la autoridad marítima, constituye un problema a resolver.

Finalmente, es importante buscar una solución a este problema que no permite ejecutar correctamente los procedimientos de abordaje e inspección, lo cual puede poner en peligro la integridad humana de los miembros de esta rama de las Fuerzas Armadas, al encontrarse con casos dedicados a diferentes actividades ilícitas.

## 1.2 Justificación del problema

El diseño de un vehículo autónomo que brinde apoyo a las operaciones marítimas del Comando de Guardacostas de la Armada del Ecuador permitirá aumentar la seguridad de los abordajes que se realizan a embarcaciones de interés en los patrullajes de rutina o los abordajes que se realizan con orden de operación previa.

Según el manual de bolsillo de guardacostas [7] todos los oficiales y tripulantes de la Armada del Ecuador cumplen funciones de agente de policía marítimo, y el Comando de Guardacostas constantemente realiza patrullas de rutina en todo el mar territorial ecuatoriano y la zona económica exclusiva.

Esta actividad involucra una serie de procedimientos de seguridad que permiten detectar y neutralizar actividades ilícitas, procurando precautelar la vida humana en el mar y la operatividad de los equipos.

Para cumplir con este propósito es necesario proceder con abordajes de inspección que según [3] se realizan a embarcaciones civiles con un procedimiento llamado de inspección y abordaje que se divide en tres etapas. En la primera etapa denominada previa al abordaje se recopila información mediante observación y comunicaciones e instrucciones al capitán de la embarcación a inspeccionar. Este procedimiento actualmente se realiza con largavistas y con radios de comunicación, equipos con los cuales no se puede evidenciar si la información obtenida sea real, es por esto la importancia de la implementación de un vehículo no tripulado que pueda verificar que las instrucciones y los datos obtenidos sean verídicos con lo cual la seguridad de la patrulla de abordaje sea comprobada.

Este vehículo no tripulado también cumpliría con funciones de seguimiento en la etapa durante el abordaje, ya que llevaría información visual en tiempo real de la inspección al jefe de operaciones que se encuentre en la embarcación madre, aumentando la seguridad de la dotación que se encuentra realizando el abordaje.

Finalmente, esta información puede ser utilizada como evidencia en la etapa posterior al abordaje, especialmente en embarcaciones que se hubieran encontrado realizando actividades ilícitas.

El vehículo no tripulado que se desea diseñar en este trabajo de investigación, brindará un apoyo importante durante los tres etapas del procedimiento de inspección y abordaje, aumentando la seguridad de la dotación que cumple con las funciones en la embarcación sospechosa, asimismo va a otorgar información de utilidad a las autoridades de la unidad Guardacostas, y se podrá registrar evidencia del procedimiento para futuras audiencias judiciales o auditorías internas que se realicen de parte de la Inspectoría General de la Armada del Ecuador.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar un vehículo aéreo no tripulado que permita a los miembros del Comando de Guardacostas obtener información de las embarcaciones de interés al ejecutar los procedimientos de abordaje e inspección durante las operaciones navales, para aumentar la seguridad del personal militar y la eficiencia de las operaciones marítimas.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Seleccionar el tipo de vehículo no tripulado, sensores y componentes de acuerdo con los requerimientos del cliente, que permita obtener un panorama visual completo alrededor de la embarcación a inspeccionar, su exterior y su tripulación, con la finalidad de dar apoyo a las tres etapas de los procedimientos de inspección y abordaje que realiza la Armada del Ecuador.
  
- Realizar el diseño mecánico de un vehículo no tripulado mediante la selección de materiales, análisis de elementos finitos de su estructura y componentes, que tolere las condiciones meteorológicas del medio salino donde será empleado.

- Determinar los componentes y equipos de una consola de control del vehículo no tripulado ubicada dentro de la embarcación Guardacostas, que permita realizar el correcto monitoreo, recopilación y almacenamiento de la información, con la finalidad de dar información visual en tiempo real para seguridad de la dotación.
- Desarrollar un software de detección de objetos que permita la identificación de personas, animales, armas y sustancias sujetas a fiscalización, mediante el aprendizaje automático de un modelo entrenado por computador.

#### 1.4 Marco teórico

La Armada del Ecuador es una de las ramas de las Fuerzas Armadas, cuya misión es «Proveer defensa y seguridad en los espacios marítimos, desarrollando el poder naval y las capacidades de control marítimo, a fin de contribuir a la defensa de la soberanía, integridad territorial y seguridad nacional, apoyando con su contingente al desarrollo marítimo nacional» [5]. Misión que cumple empleando buques y lanchas como la mostrada en la figura 1.4 perteneciente al Comando de Guardacostas.



**Figura 1.4 Lancha guardacostas [5]**

Considerando el objetivo principal de la Armada del Ecuador y las principales fuentes de ingresos del país como es la explotación del petróleo y la importación

- exportación por vía marítima de diferentes productos agrícolas, es posible observar que el Ecuador tiene un alto grado de dependencia con respecto al mar, cuyo valor económico se puede evidenciar en la pesca comercial y en el comercio exterior que se lleva por rutas de transporte marítimo.

Durante los últimos años, la innovación tecnológica ha logrado solucionar problemas dentro de la sociedad y la industria, trayendo consigo una gran variedad de beneficios en los diferentes campos laborales, incluso en las operaciones militares, donde se puede apreciar grandes proyectos con el objetivo de fortalecer el poder militar de las Fuerzas Armadas para enfrentar las distintas amenazas que existen hoy en día.

Actualmente, gracias a este desarrollo tecnológico es posible que muchos países hayan optado por el empleo de vehículos no tripulados dentro de sus operaciones, los cuales son cada vez más importantes, permitiendo una reducción significativa de costos de operación y la preservación de la vida humana, la cual constituye uno de los principales recursos en toda institución militar. [8]

#### **1.4.1 Vehículo no tripulado**

Se define como vehículo no tripulado a un sistema que no posee piloto humano a bordo siendo controlado de forma remota o en ciertos casos de manera autónoma, los cuales poseen la capacidad de realizar planes programados o sistemas automatizados que monitorean el ambiente donde se desplazan y realizan la navegación por sí mismo. Uno de los primeros vehículos no tripulados autónomo que circuló por las carreteras fue desarrollado por la empresa Google, el cual se muestra en la figura 1.5.

Gracias al gran desarrollo de este tipo de vehículos en los últimos años, el vehículo no tripulado más popular en la actualidad son los drones, el cual es ampliamente utilizado en la industria fotográfica y en algunos países como servicio de entregas a domicilio. [9]



**Figura 1.5 Vehículo no tripulado desarrollado por Google [10]**

## **1.4.2 Tipos de control**

### **1.4.2.1 Remoto**

Es aquel tipo de control que permite el funcionamiento de un dispositivo de forma remota, mediante el envío de las instrucciones de control, telemetría y señales de vídeo por diferentes tipos de canales de comunicación como radio enlaces basados en tecnología Bluetooth, Wifi o 4G, los cuales son los más utilizados en la actualidad. [11]

### **1.4.2.2 Autónomo**

Los vehículos o dispositivos autónomos son aquellos que tienen la capacidad de tomar decisiones propias ante la presencia de perturbaciones o eventos sin requerir la intervención de un operador humano.

Estos dispositivos emplean diferentes algoritmos de control que, en conjunto con sensores y actuadores, son capaces de analizar la información recibida del medio donde se desplazan para replanificar sus acciones y ejecutarlas.

Actualmente, la mayoría de los vehículos no tripulados no emplean este tipo de control, sino que son operados de forma remota por un piloto humano, dada la

tecnología y cantidad de algoritmos que requieren para su correcto funcionamiento. [12]

### 1.4.3 Niveles de autonomía

Gracias al desarrollo de la tecnología en busca del diseño y construcción de vehículos autónomos, la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE) ha definido 6 niveles para la conducción autónoma, los cuales se explican brevemente a continuación:

**Nivel 0:** No conlleva ningún tipo de automatización en la conducción. Es el nivel empleado en la mayoría de los vehículos que circulan actualmente.

**Nivel 1:** Es considerado el nivel más bajo de automatización, donde se emplea un sistema automatizado para dar asistencia al conductor, como el control de crucero.

**Nivel 2:** Incluye los vehículos comerciales actuales los cuales emplean sistemas avanzados de asistencia al conductor o ADAS, donde se controla la aceleración y desaceleración.

**Nivel 3:** En este nivel se presentan capacidades de "detección ambiental" permitiendo al vehículo tomar decisiones propias; sin embargo, si necesita acciones humanas en casos que el sistema no pueda realizar una tarea.

**Nivel 4:** La interacción humana es mínima gracias a la alta automatización de conducción, donde el vehículo aún es capaz de intervenir en caso de existir fallas en el sistema.

**Nivel 5:** No requieren de intervención humana en ningún sentido, eliminando componentes como volantes o pedales en su interior. [13]

#### 1.4.4 Clasificación de los vehículos no tripulados

Existen diferentes tipos de vehículos no tripulados, los cuales se encuentran clasificados de acuerdo con el medio o superficie en el cual se desplazan como se muestra en la figura 1.6

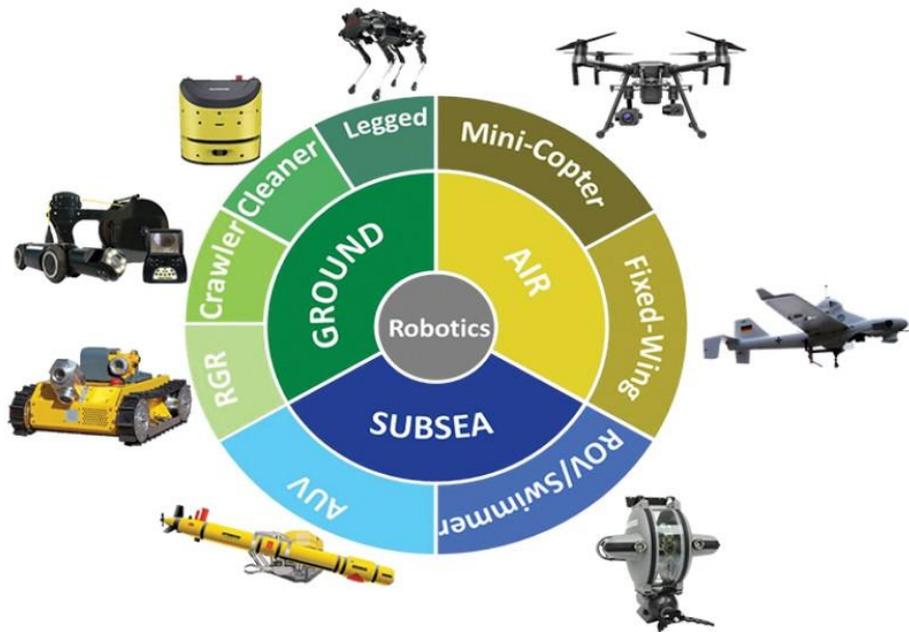


Figura 1.6 Clasificación de vehículos no tripulados [14]

##### 1.4.4.1 Vehículos aéreos no tripulados (UAV)

Son aquellos sistemas no tripulados que se desplazan en el aire, con capacidad de monitorear y abarcar grandes áreas, lo cual les permite alcanzar entornos hostiles para los seres humanos.

Son también conocidos como drones y sus dimensiones varían desde los centímetros hasta las decenas de metros en el caso de los vehículos aéreos no tripulados empleados en el ámbito militar. [9]



**Figura 1.7 Hexacóptero Profesional H520 [34]**

#### **1.4.4.2 Vehículos terrestres no tripulados (UGV)**

Son sistemas no tripulados cuyo desplazamiento o navegación se realiza en tierra. Actualmente, son empleados en exploración espacial, búsqueda y rescate, entre muchas otras aplicaciones.

Su peso va desde los 500 gramos hasta los 25000 kilogramos dependiendo del tipo de misión u objetivo con el que fue diseñado.

Dentro de los componentes principales de este tipo de vehículo no tripulado se encuentran sensores integrados y un controlador para monitorear el medio donde se movilizan, permitiendo enviar la información al operador humano de manera remota o tomar decisión por sí mismo en caso de ser un vehículo autónomo.

Dado que se mueven sobre la superficie terrestre, para el diseño de este tipo de vehículos no tripulados es importante considerar el tipo de terreno como un factor que influye en los resultados obtenidos durante la navegación.

El desplazamiento en terrenos urbanos se considera el más complejo, debido a la presencia de muchos obstáculos fijos y móviles, mientras que la superficies rurales o todoterreno son consideradas menos complejas al no existir una gran cantidad de obstáculos. [9]

Un ejemplo de este tipo de vehículo no tripulado se puede observar en la figura 1.8, desarrollado por la empresa Hanwha Defense de Corea del Sur.



**Figura 1.8 Vehículo terrestre no tripulado [15]**

#### ***1.4.4.3 Vehículos de superficie no tripulados (USV)***

Son aquellos sistemas o embarcaciones no tripuladas que navegan sobre la superficie del agua, las cuales pueden ser controladas de manera autónoma o de forma remota por un operador ubicado sobre tierra o en otra embarcación. [16]

Son empleados en búsqueda y rescate, uso oceanográfico, envíos autónomos e inspección de estructuras por encima del agua, entre otras aplicaciones.

Dado que se encuentra en contacto con dos tipos de superficie, aire y agua, se requiere que este tipo de vehículos no tripulados sea capaz de detectar y evitar obstáculos en ambos ambientes, es decir sobre y debajo de la superficie del agua.

Actualmente, potencias militares mundiales ya emplean este tipo de vehículos no tripulados como se muestra en la figura 1.9, con el objetivo de combatir el narcotráfico y otras actividades ilegales desarrolladas en el mar.



**Figura 1.9 Vehículo de superficie no tripulado militar [17]**

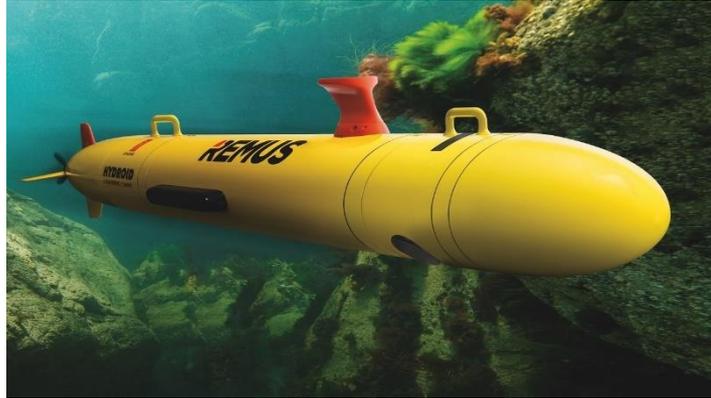
#### **1.4.4.4 Vehículos submarinos no tripulados (UUV)**

Son aquellos sistemas que operan debajo de la superficie del agua sin empleo de tripulación o piloto humano.

Al igual que otros tipos de vehículos no tripulados, los UUV, pueden controlarse de manera remota por un operador o de forma autónoma a partir de un controlador que recopila la información de diferentes sensores para tomar decisiones propias con respecto a su funcionamiento y/o desplazamiento.

En lo que respecta a su diseño, se deben considerar factores como las fuertes corrientes marinas, la alta presión que soporta debajo del mar, la densidad del agua y realizar la detección de obstáculos fijos o móviles para lograr una navegación segura. [18]

En la figura 1.10 se muestra un ejemplo de este tipo de vehículo no tripulado fabricado por la empresa estadounidense “Hydroid”, empleado en aplicaciones militares y comerciales.



**Figura 1.10 Vehículo submarino no tripulado Remus 300 [19]**

#### **1.4.5 Vehículos no tripulados militares**

Debido a las múltiples aplicaciones que se le pueden otorgar a los vehículos no tripulados en operaciones militares, ejércitos alrededor del mundo han invertido en sistemas y equipos que puedan brindar seguridad a sus dotaciones y para que sus operaciones sean más eficientes.

El ejército argentino según [20] en el mes de marzo del 2021 lanzó la licitación para adquirir 18 vehículos no tripulados para operaciones tácticas modelo Mavic 2 Enterprise el mismo que se encuentra en la figura 1.11.



**Figura 1.11 Vehículo no tripulado Mavic2 [20]**

El ejército colombiano posee 3 vehículos no tripulados aéreos para reconocimiento y vigilancia de sus operaciones militares, uno de ellos según [17] es el RQ-11 RAVEN que se encuentra en la figura 1.12, el cual es liviano para despliegue rápido y es empleado para operaciones que requieran baja altitud.



**Figura 1.12 Vehículo aéreo RQ-11 Raven [20]**

Los vehículos de superficie y submarinos también tienen un desarrollo importante en la actualidad, por ejemplo, la Armada Española tiene 3 vehículos no tripulados de superficie. Según [21] fue desarrollado por la empresa Navantia con el modelo Vendaval la cual se encuentra en la figura 1.13; posee características de navegación autónoma y un sistema tecnológico de última generación.



**Figura 1.13 Vehículo superficie Vendaval [21]**

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

En este capítulo se realizó el análisis metodológico cualitativo para obtener datos de intereses por medio de una entrevista al cliente, el cual brindó datos de importancia para determinar los requerimientos de diseño, con la cual se elaboró dos matrices de decisión, seleccionando como solución, realizar el diseño de un vehículo no tripulado de tipo hexacóptero.

Además, se realizó un diagrama de flujo el cual indica los estados y tareas generales del proyecto, en donde se realiza la revisión detalla de los requerimientos establecidos por el cliente, así como también se verifica que los pasos de la metodología se realicen de forma ordenada y organizada.

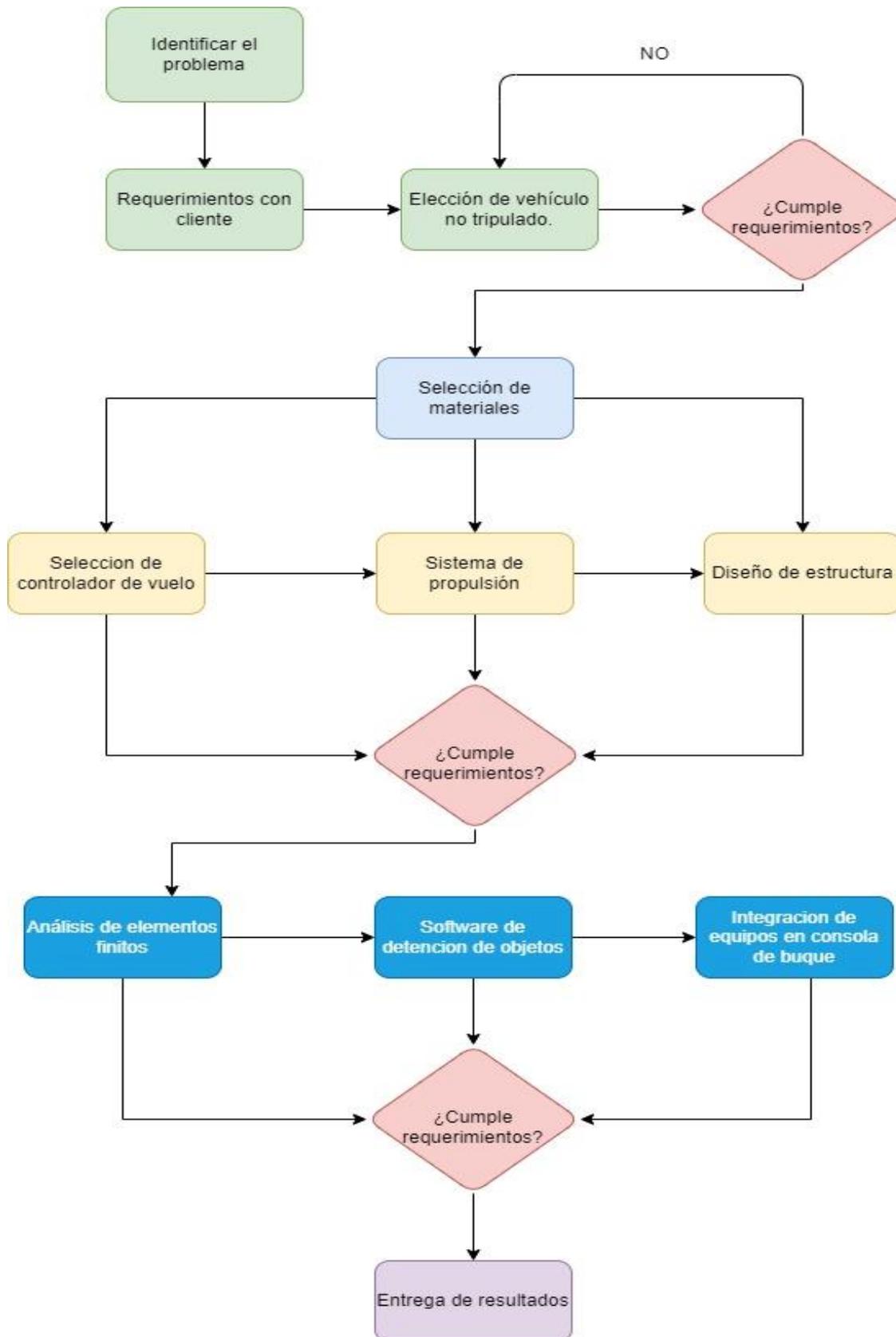


Figura 2.1 Diagrama de flujo del proyecto

## 2.1 Requerimientos de diseño

Luego de haber realizado entrevistas a miembros de las Armada del Ecuador que laboran en el ámbito del Comando de Guardacostas, se determinaron los siguientes requerimientos de diseño del vehículo no tripulado cuya función principal sería monitorear y registrar el procedimiento de inspección y abordaje de las lanchas guardacostas a embarcaciones de interés.

**Tabla 2.1 Requerimientos de diseño**

<b>Componente</b>	<b>Características</b>
<b>Cámara</b>	Alta definición Visión Nocturna Batería recargable
<b>Tamaño</b>	Espacio 3 x 3 m
<b>Alcance</b>	2 millas náuticas
<b>Tiempo de operación</b>	15 - 30 minutos
<b>Material</b>	Material anticorrosivo para lugares salinos y resistentes con estándares militares
<b>Software</b>	Detección de personas, animales y armas
<b>Sistema de control</b>	Remoto o Híbrido
<b>Altitud</b>	500 pies = 152.4 metros
<b>Temperatura de trabajo</b>	15 a 45 °C
<b>Seguridad</b>	Equipos redundantes para regresar a la unidad Guardacostas
<b>Mantenimiento</b>	Debe ser posible darle mantenimiento por operadores de la Armada.
<b>Costo</b>	Dependerá del presupuesto anual y la aprobación del proyecto.

## 2.2 Alternativas de solución

En relación con los requerimientos obtenidos por una metodología cualitativa por medio de entrevistas con el cliente, se analizó entre tres vehículos no tripulados el

que cumpla de manera más eficiente con el propósito del proyecto, para después realizar una evaluación más profunda del tipo y modelo que se plantea diseñar.

### **2.2.1 Selección de vehículo no tripulado**

Para el correcto análisis de las alternativas de solución, se analizaron varios criterios y características de tres vehículos no tripulados, los cuales cumplen con las especificaciones técnicas y los requerimientos del cliente.

- Campo visual, es uno de los requerimientos más importantes para la selección, ya que el principal objetivo de la solución es captar en video el desarrollo del de las etapas del proceso de inspección y abordaje.
- Tiempo de operación es un requerimiento de igual valor en ponderación que el campo visual, porque esto brindará seguridad al procedimiento y al equipo.
- Velocidad es un requerimiento directamente proporcional por lo que el vehículo más veloz será el ideal para la ejecución de la solución de este proyecto.
- Los requerimientos de mantenimiento, precio e impacto ambiental son inversamente proporcionales, ya que el vehículo no tripulado seleccionado debe ser el que sea de menor precio, con un mantenimiento menos costoso y sea el que menos impacto ambiental genere.

Con los criterios previamente descritos se pudo elaborar la tabla número 2.2 la cual dio la ponderación para realizar la relación de criterios permita realizar un matriz de decisión.

**Tabla 2.2 Ponderaciones criterios de alternativas #1**

Criterio	Campo Visual	Tiempo de operación	Velocidad	Mantenimiento	Precio	Impacto Ambiental	$\sum$	Ponderación
Campo Visual	-	0.5	1	1	1	1	5.5	0.26
Tiempo de operación	0.5	-	1	1	1	1	5.5	0.26
Velocidad	0	0	-	1	1	1	4	0.19
Mantenimiento	0	0	0	-	1	1	3	0.14
Precio	0	0	0	0	-	1	2	0.10
Impacto Ambiental	0	0	0	0	0	-	1	0.05
Total	-	-	-	-	-	-	21	1

**Campo Visual = Tiempo de Operación > Velocidad > Mantenimiento > Precio > Impacto Ambiental**

La matriz de decisión que se encuentra en la tabla 2.3 y es la que resume las tres soluciones posibles, y con la ponderación de la tabla 2.2 se puede concluir que vehículo no tripulado fue el seleccionado para la solución de este proyecto.

**Tabla 2.3 Matriz de decisión #1**

Conclusión	Campo Visual	Tiempo de operación	Velocidad	Mantenimiento	Precio	Impacto Ambiental	$\sum$	Prioridad
Vehículo NT Aéreo	0.131	0.044	0.095	0.071	0.048	0.024	0.41	1
Vehículo NT Superficie	0.087	0.131	0.063	0.048	0.032	0.016	0.38	2
Vehículo NT Submarino	0.044	0.087	0.032	0.024	0.016	0.008	0.21	3

El vehículo no tripulado aéreo fue el seleccionado ya que tiene mayor campo visual que las otras dos opciones, en cambio el tiempo de operación el vehículo

no tripulado de superficie es el que tiene mayor ponderación, incluso por encima del vehículo no tripulado submarino.

En los campos inversamente proporcionales como precio, mantenimiento e impacto ambiental el vehículo no tripulado aéreo tiene mayor ventaja sobre las otras opciones, y en la sumatoria final esta opción es la ganadora como solución.

## 2.2.2 Selección de vehículo aéreo no tripulado

Luego del análisis de los resultados obtenidos en la matriz de decisión #1, donde se concluyó que la mejor alternativa para cumplir con el objetivo propuesto era un vehículo aéreo no tripulado, se desarrolló una nueva selección de alternativas de solución con el fin de identificar el tipo de UAV más adecuado.

Las alternativas que se consideraron fueron las siguientes:

- UAV de ala fija
- UAV Multirotor de cuatro rotores (cuadricóptero)
- UAV Multirotor de seis rotores (hexacóptero)

Estas opciones de solución fueron escogidas luego del análisis de los requerimientos de diseño, obtenidos durante la entrevista realizada y la revisión del estado del arte presentado en el capítulo 1 dentro del marco teórico.

**Alcance = Maniobrabilidad > Seguridad > Mantenimiento > Precio**

De igual manera, se consideraron diferentes criterios, los cuales se presentan en la parte superior en orden de prioridad.

El criterio de alcance y maniobrabilidad fueron considerados los más importantes, dado que se requiere que el vehículo no tripulado logre un alcance de dos millas náuticas para ejecutar correctamente los procedimientos de inspección y abordaje. Mientras que la maniobrabilidad es necesaria para dirigir el vehículo no tripulado y obtener el mejor panorama visual posible de las embarcaciones a inspeccionar.

A continuación, se consideró la seguridad que permitirá operar el vehículo no tripulado sin poner en riesgo la misión y la integridad humana del personal de Guardacostas.

El siguiente criterio considerado fue el mantenimiento; el cual de acuerdo con los requerimientos de diseño no debe de ser un proceso complicado y que sea capaz de realizarse por la dirección técnica de la Armada del Ecuador.

Por último, se consideró el precio, el cual estará sujeto al presupuesto anual y la aprobación del proyecto.

En la tabla 2.4 se obtuvo cada una de las ponderaciones de los criterios de diseño considerados para obtener la mejor alternativa de solución.

**Tabla 2.4 Ponderaciones criterios de alternativas #2**

<b>Criterio</b>	<b>Alcance</b>	<b>Maniobrabilidad</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Precio</b>	$\sum_{+1}$	<b>Ponderación</b>
<b>Alcance</b>	-	0.5	1	1	1	4.5	0.3
<b>Maniobrabilidad</b>	0.5	-	1	1	1	4.5	0.3
<b>Seguridad</b>	0	0	-	1	1	3	0.2
<b>Mantenimiento</b>	0	0	0	-	1	2	0.13
<b>Precio</b>	0	0	0	0	-	1	0.07
<b>Total</b>	-	-	-	-	-	15	1

Luego del desarrollo de la matriz de decisión, se obtuvieron los resultados que se presentan en la tabla 2.5.

**Tabla 2.5 Matriz de decisión #2**

Conclusión	Alcance	Maniobrabilidad	Seguridad	Mantenimiento	Precio	$\Sigma$	Prioridad
UAV de ala fija	0.15	0.05	0.05	0.06	0.01	0.317	3
UAV cuatro rotores (cuadricóptero)	0.075	0.125	0.05	0.06	0.03	0.339	2
UAV seis rotores (hexacóptero)	0.075	0.125	0.1	0.02	0.02	0.344	1

La mejor alternativa de vehículo aéreo no tripulado fue el UAV de seis rotores, conocido hexacóptero, el cual obtuvo una sumatoria final de 0.344, considerando cada uno de los criterios de diseño.

Es importante agregar que esta opción sería la más adecuada en cuanto a maniobrabilidad y seguridad, dado que, en caso de presentarse una falla o daño en uno de los rotores, el vehículo no tripulado sería capaz de maniobrar o aterrizar sin afectar su estructura y/o componentes.

### 2.3 Selección de componentes y materiales

Para realizar una correcta selección de materiales es necesario detallar los sistemas que se necesitan para el correcto funcionamiento del vehículo aéreo no tripulado.

El clima para el cual estará expuesto el dron es muy corrosivo por la salinidad marina por lo cual es importante que los materiales seleccionados cumplan con los estándares de calidad y estén protegidos contra el polvo y la corrosión.

### 2.3.1 Sistema de propulsión.

El sistema de propulsión es el más importante ya que es el encargado de que el tiempo de vuelo sea más largo, el dron sea estable y tenga un vuelo preciso [22]. Los componentes vitales de este sistema son los motores, controlador de velocidad y las hélices.

El sistema de propulsión elegido para este proyecto es de la marca DJI de modelo E2000. Sus componentes son herméticos lo cual permite efectuar el trabajo en cualquier ambiente, por lo que es ideal para este proyecto ya que los equipos estarán protegidos del agua salada y la gran oxidación a la cual se exponen, las características generales del sistema de propulsión están detalladas en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6 Características del sistema de propulsión**

Propulsión	
<b>Peso recomendado de despegue</b>	1800 a 2500 g/rotor
<b>Temperatura de operación</b>	-10° a 50°
<b>Empuje máximo</b>	5100 g/rotor (50V)

#### 2.3.1.1 Selección de motores

Es importante considerar que los motores que debe tener el hexacóptero debe ser ligero, fuerte y eficiente, ya que debe utilizar la menor cantidad de batería posible para aumentar el tiempo de vuelo y que sea productivo para el registro de las etapas del proceso de inspección y abordaje de las unidades guardacostas de la Armada del Ecuador.

Existen diferentes motores de corriente continua como paso a paso, con escobilla o con tecnología brushless los cuales no tienen escobillas, este último tiene muchas ventajas que son adaptables a este proyecto, como la eficiencia, el poco consumo energético, el tamaño compacto y un menor peso.

En relación con los motores con escobilla estos motores realizan la conmutación de manera electrónica, disminuyendo el rozamiento, no desprenden calor y tienen un mayor rendimiento [23], en la tabla 2.7 se puede verificar las ventajas

de seleccionar un motor sin escobilla, lo cuales también tienen desventajas como el precio y un control más complejo.

**Tabla 2.7 Diferencias de motores**

	<b>Motor sin escobilla</b>	<b>Motor con escobilla</b>
<b>Conmutación</b>	Electrónica con sensores	Por escobillas
<b>Mantenimiento</b>	Mínimo	Periódico
<b>Durabilidad</b>	Mayor	Menor
<b>Potencia</b>	Alta	Baja
<b>Precio</b>	Alto	Bajo

El motor seleccionado para es parte del sistema de propulsión E2000 el cual tiene el modelo 6010 que se encuentra en la figura 2.2, que tiene un sistema de enfriamiento centrifugo que además mantiene alejando el polvo del sistema. La tabla 2.8 tiene las características del motor seleccionado.



**Figura 2.2 Motor brushless**

**Tabla 2.8 Características del motor 6010**

<b>Motor 6010</b>	
<b>Peso</b>	230 g
<b>KV</b>	130 rpm/V
<b>Precio</b>	\$280

### 2.3.1.2 Selección del controlador de velocidad

El variador de velocidad es un componente electrónico que permite controlar la velocidad de giro de los motores, también verifica la dirección de estos y actúa como freno dinámico.

La característica más importante para su selección será el amperaje ya que debe ser capaz de no fallar cuando el motor requiera más consumo de corriente, cuando las hélices y motores son grandes el controlador de velocidad tiende a incrementar el consumo de corriente, por lo que es importante realizar el cálculo del amperaje de motor-hélice para la selección del controlador adecuado.

Dentro del sistema de propulsión seleccionado se encuentra el ESC 1240 S modelo que se muestra en la figura 2.3, las especificaciones se encuentran en la tabla 2.9, este controlador de vuelo es de alta tecnología con transmisión de onda sinusoidal, logrando que el motor responda rápidamente a las órdenes del operador.

**Tabla 2.9 Características del ESC 1240S**

ESC 1240S	
<b>Voltaje máximo permitido</b>	52.2 V
<b>Corriente máxima permitida</b>	25 A
<b>Ancho de pulso</b>	1120 a 1920 us
<b>Peso</b>	90g
<b>Precio</b>	\$80



**Figura 2.3 Controlador de velocidad 1240S**

### **2.3.1.3 Selección de hélice**

Uno de los componentes más importantes dentro del vehículo no tripulado es la selección de la hélice. Para esto hay que considerar dos parámetros importantes que es la longitud la cual es directamente proporcional a la carga y el paso de la hélice que es lo que avanza está a lo largo del eje de rotación, esto dará el empuje.

En la figura 2.4 se encuentran las hélices con el modelo R2170 las cuales son parte del sistema de propulsión E2000 de la marca DJI, el cual es ideal para un vehículo no tripulado diseñado para grabar imágenes, las especificaciones de estas hélices están detalladas en la tabla 2.10.



**Figura 2.4 Hélices modelo R2170**

**Tabla 2.10 Características hélices R2170**

<b>Hélices R2170</b>	
<b>Diámetro</b>	533 mm
<b>Peso</b>	58g
<b>Precio</b>	\$70

### 2.3.2 Batería.

Para la selección de baterías es importante considerar la alta descarga energética que requieren los motores sin escobillas, por lo que se necesita una gran capacidad de almacenamiento, considerando esto las baterías de iones de litio son las más adecuadas por su gran variedad de tamaño y forma, lo cual va a depender del tiempo de vuelo del vehículo no tripulado.

La batería seleccionada para el correcto funcionamiento del sistema de propulsión es del modelo TB47S la cual se encuentra en la figura 2.5, con un pack de seis baterías el tiempo de vuelo del vehículo no tripulado puede alcanzar a un máximo de 20 minutos, esto dependerá de las condiciones ambientales, es una batería de polímero de litio y las características principales se encuentran en la tabla 2.11.



**Figura 2.5 Baterías TB47S**

**Tabla 2.11 Características baterías TB47S**

<b>Baterías TB47S</b>	
<b>Modelo</b>	TB47S
<b>Capacidad</b>	4500 mAh
<b>Voltaje</b>	22.2V
<b>Peso</b>	595g
<b>Precio</b>	\$200

### **2.3.3 Controlador de vuelo**

El cerebro del vehículo no tripulado, encargado de la rotación de los motores y conseguir el correcto funcionamiento y operación del hexacóptero con lo deseado por el piloto, contiene una serie de sensores que brindan todos los datos más relevantes en el vuelo como la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales que actúan sobre mismo. Encargado de procesar la información y registrarla, contiene múltiples entradas y salidas para las diferentes conexiones con los sensores externos.

Para la correcta selección de este equipo es importante mencionar que el objetivo del proyecto es que el hexacóptero tenga un modo de vuelo de adecuado para grabar lo que sucede en las primeras etapas del procedimiento de inspección y abordaje por lo que requiere cambios de velocidad reducidos, el precio también juega un papel fundamental dentro de la selección ya que debe ser el que se adapte a las necesidades y no el más económico o el de mayor precio, para lo cual se realizó la tabla 2.12 para evaluar las características de los controladores que se encuentran en el mercado.

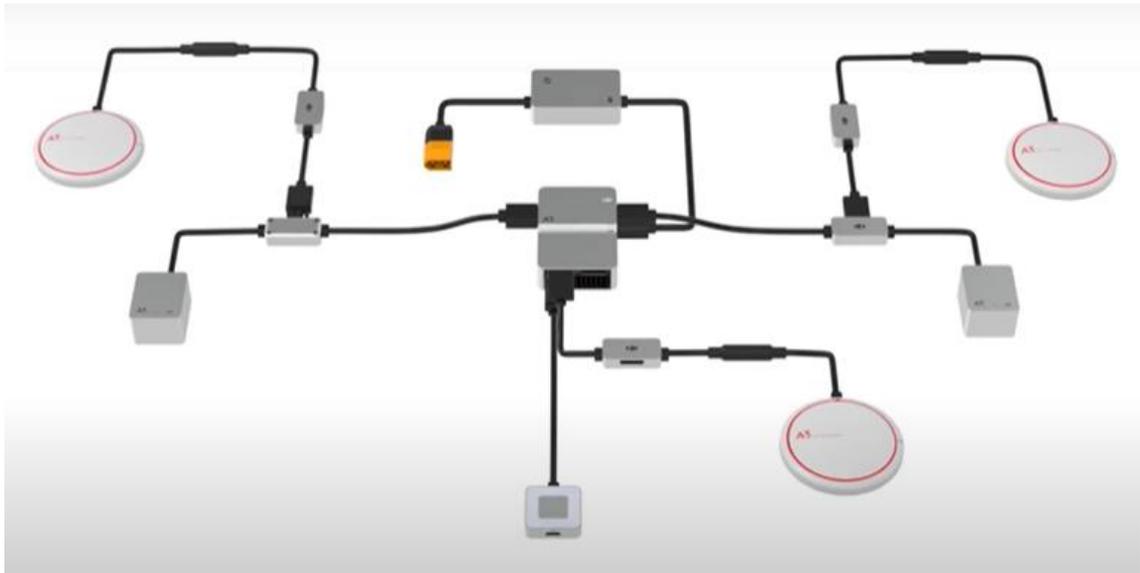
**Tabla 2.12 Diferencias entre controladores de vuelo**

<b>Selección de controlador de vuelo</b>		
	<b>Naza-M V2</b>	<b>DJI A3</b>
<b>Estilo de Vuelo</b>	Deportivo	De cine
<b>Simulador de vuelo</b>	No posee	Posee
<b>Seguridad</b>	No apto para principiantes	Si falla, aterriza tu dron de manera segura
<b>GPS</b>	Posee	Posee
<b>Precio</b>	Económico	Costoso

Por lo que la selección adecuada para este proyecto es el controlador DJI A3 por su seguridad y su función principal de ser diseñado para grabaciones de cine, las características están en la tabla 2.13, además posee sensores como GPS y un estabilizador que permite que la calidad de video sea optima, tiene funciones de navegación en puntos en tierra por lo que se puede adecuar que la embarcación guardacostas tenga el control en todo momento del hexacóptero.

**Tabla 2.13 Características del controlador vuelo A3**

<b>Controlador vuelo A3</b>	
<b>Peso</b>	380 g
<b>Seguridad</b>	Redundancia de equipos, capaz de aterrizar con 3 rotores. Indicador de batería e indicador de zonas no seguras de vuelo.
<b>Entrenamiento</b>	Simulador de vuelo
<b>Aplicación</b>	Aplicación de Android, capaz de controlar datos de vuelo, imágenes de video, obstáculos y estado de seguridad del dron
<b>Precio</b>	\$ 900



**Figura 2.6 Diagrama de conexiones controlador A3**

#### **2.3.4 Telemetría**

El hexacóptero será controlado desde la embarcación guardacostas por medio de un control remoto instalado en la consola de control, donde se tendrá imagen en tiempo real de la cámara de alta definición y se podrá controlar el vuelo en todo momento, para esto se ha seleccionado el modelo lightbrigde el cual contiene un control remoto que será adaptado a una consola dentro del buque y un sistema de aire que debe ir conectado al hexacóptero, se puede visualizar los dos componentes en la figura 2.7. las especificaciones técnicas se encuentran detalladas en la tabla 2.14.



**Figura 2.7 Sistema de telemetría**

**Tabla 2.14 Características del control remoto**

Control Remoto	
Distancia de transmisión	3 millas
EIRP	100mW a 2.4 GHz
Frecuencia de Operación	2.400 GHz – 2.483 GHz
Peso sistema de aire	70g
Precio	\$950

### 2.3.5 Sistema de imagen y video

El sistema de imagen y video es necesario para el éxito del proyecto, ya que debe registrar las etapas del procedimiento de abordaje e inspección, la cámara seleccionada debe cumplir con las especificaciones técnicas para grabación diurna y nocturna, además de que sus componentes deben ser herméticos para la protección del ambiente salino en sus sensores internos.

Las características más importantes que debe tener la cámara están detalladas en la tabla número 2.15 del presente documento.

**Tabla 2.15 Característica cámara Sony DSC-W800**

<b>Cámara Sony DSC-W800</b>
Digital
Memoria microSD
Zoom digital
Peso ligero
<b>Precio: \$200</b>
<b>Peso: 450g</b>

Para lo cual se seleccionó la cámara Sony DSC-W800, la cual es diseñada para todo tipo de trabajos, con gran capacidad de grabación diurna y nocturna, la figura 2.8 nos muestra el modelo seleccionado.



**Figura 2.8 Cámara Sony DSC-W800**

Un componente importante para el correcto registro de la primera parte del procedimiento de abordaje es el mecanismo de soporte de la cámara, este va a permitir el movimiento en 3 ejes de esta, permitiendo grabar cada parte de la embarcación o de la operación que el controlador del vehículo no tripulado crea conveniente, este mecanismo es controlado de manera independiente por medio de la telemetría seleccionada por lo que no habrá interferencia con la seguridad del vuelo, el modelo seleccionado es el Zenmuse z15 el cual se detalla en la figura 2.9.



**Figura 2.9 Gimbal Zenmuse z15**

Las características de este soporte permiten un movimiento en 3 ejes de manera ilimitada, además de múltiples modos de control por medio de un control remoto, contiene módulos HDMI y módulos IMU incorporados, las características de peso y precio están detallados en la tabla 2.16.

**Tabla 2.16 Características Gimbal Zenmuse z15**

<b>Gimbal Zenmuse z15</b>	
<b>Precio</b>	\$ 800
<b>Peso</b>	1200 g

## 2.4 Diagrama de conexión de componentes electrónicos

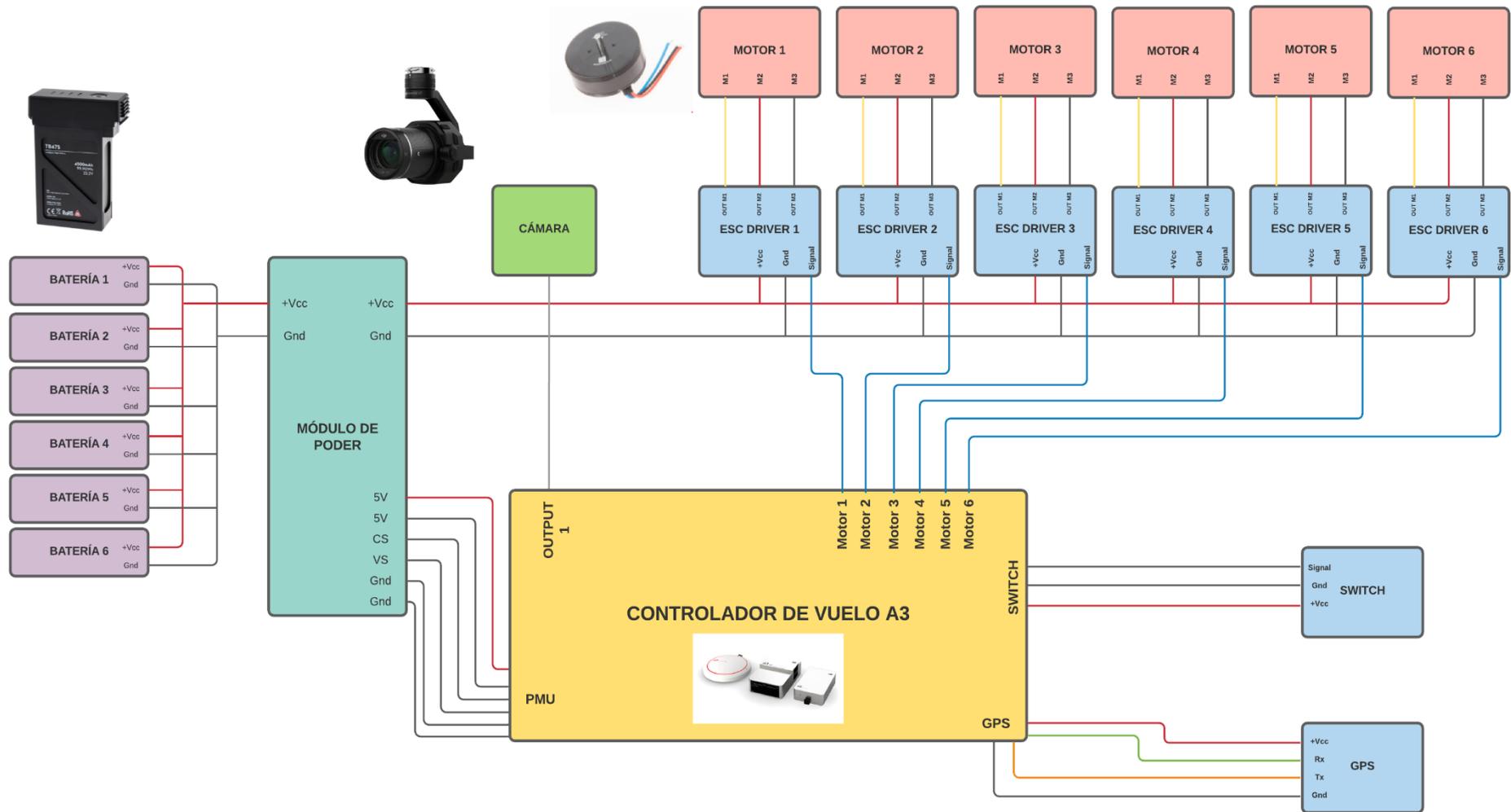


Figura 2.10 Diagrama de conexión componentes electrónicos

## **2.5 Modelo matemático**

Para la obtención de un modelo matemático que describa los movimientos de un vehículo no tripulado de 6 rotores, se dividió su estudio en cinemática y dinámica como se sugiere en [24], empleando diferentes métodos de análisis numérico como Euler-Lagrange y Newton-Euler.

El procedimiento que explica el estudio del modelo matemático del hexacóptero se detalla de manera completa en el apéndice A.

## **2.6 Cálculos**

A partir de las fórmulas descritas por [26] se determinó la potencia del motor y el tiempo de vuelo del vehículo aéreo no tripulado, considerando los requerimientos y especificaciones técnicas de los componentes.

### **2.6.1 Potencia de motores**

Para obtener la potencia que requiere el motor de acuerdo con las necesidades y requerimientos del cliente se realizaron los cálculos de los diferentes tipos de potencia que posee un vehículo aéreo no tripulado de 6 rotores.

Se consideró un peso total de 7.82 Kg que corresponde a los componentes y estructura del hexacóptero lo cual se detalla en la sección 2.3. Este valor es conocido como carga muerta, mientras que el valor de carga útil corresponde a otro tipo de componentes o equipos que pueden añadirse en un futuro, cuyo valor máximo fue establecido en 1 Kg.

Para determinar la altitud máxima de vuelo del hexacóptero se empleó la ecuación 2.1, donde se consideró una altitud de 0 metros dado que el vehículo aéreo no tripulado será desplegado a nivel del mar.

La altura de la embarcación fue establecida en 60 metros, valor promedio de una embarcación Panamax según [27], tipo de buque que es el de mayor altura que inspecciona el Comando de Guardacostas.

Además, se consideró un sobrevuelo máximo de 90 metros, con el objetivo de visualizar por completo la embarcación a inspeccionar.

$$h = \textit{altitud} + h_{\textit{embarcación}} + h_{\textit{sobrevuelo}} \quad (2.1)$$

$$h = 0 + 60 + 90$$

$$h = 150 \textit{ m}$$

### 2.6.1.1 Densidad del aire

Dado que la altitud se encuentra directamente relacionada con la potencia que requiere el hexacóptero, es necesario determinar la densidad del aire, la cual se relaciona de manera inversa con estas dos variables, es decir que a mayor altitud se necesita una mayor potencia, pero existe una menor densidad en el aire.

El valor de la densidad del aire estándar a nivel del mar  $\rho_0$  es  $1.225 \frac{\textit{kg}}{\textit{m}^3}$  de acuerdo a la ISA [28], la cual se empleó dentro de la ecuación 2.2 para determinar la densidad del aire en la altitud máxima de vuelo del hexacóptero.

$$\rho = \rho_0 \left( 1 - \frac{(6.5 \times 10^{-3}) * h}{288.15} \right)^{5.2559} \quad (2.2)$$

$$\rho = 1.225 \left( 1 - \frac{(6.5 \times 10^{-3}) * 150}{288.15} \right)^{5.2559}$$

$$\rho = 1.203 \frac{\textit{kg}}{\textit{m}^3}$$

### 2.6.1.2 Carga por motor

Para determinar cuál es el empuje  $T$  que requiere cada motor para poder elevar el hexacóptero se utilizó la ecuación 2.3, donde la carga total es la sumatoria de la carga muerta y la carga útil, valores considerados en el inicio de esta sección.

$$T = \frac{Carga_{total}}{6} \quad (2.3)$$

$$T = \frac{8.82}{6}$$

$$T = 1.47 \text{ kgf} = 14.40 \text{ N}$$

### 2.6.1.3 Potencia de vuelo a punto fijo

Para determinar este tipo de potencia, se considera que la velocidad vertical del hexacóptero es 0, es decir que no existe velocidad relativa entre el aire y cada rotor del vehículo aéreo no tripulado.

La ecuación 2.4 permitió obtener el área que proyecta la hélice al girar o también conocida como el área de salida del aire, mientras que la ecuación 2.5 fue empleada para determinar la velocidad inducida inicial del aire.

$$A = \pi * r^2 \quad (2.4)$$

$$v_{i0} = \sqrt{\frac{T}{2\rho A}} \quad (2.5)$$

Considerando el radio de la hélice seleccionada en la sección 2.3 y el torque neto generado, se obtuvo que el área proyectada por esta es  $A = 0.2234 \text{ m}^2$ , permitiendo obtener la velocidad inducida cuyo valor fue  $v_{i0} = 5.18 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Finalmente, estos valores permitieron obtener la potencia requerida para vuelo a punto fijo según la Teoría de la cantidad de movimiento [26], empleando la ecuación 2.6.

$$P_{i0} = T v_{i0} \quad (2.6)$$

$$P_{i0} = 14.40 * 5.18$$

$$P_{i0} = 74.6 \text{ W}$$

#### **2.6.1.4 Potencia de vuelo en ascenso**

Según [26] la velocidad de ascenso es aquella que permite que el vehículo aéreo no tripulado se desplace de forma vertical, para lo cual se empleó la ecuación 2.7 para determinar la relación entre la velocidad inducida en vuelo a punto fijo y en vuelo axial ascendente.

$$\frac{v_i}{v_{i0}} = -\frac{1}{2} \left( \frac{v_c}{v_{i0}} \right) + \sqrt{\frac{1}{4} \left( \frac{v_c}{v_{i0}} \right)^2 + 1} \quad (2.7)$$

Para el diseño del hexacóptero se estableció como velocidad inducida en vuelo axial ascendente  $v_c = 3 \frac{m}{s}$ , considerando un promedio de los valores de velocidad y carga de otros tipos de vehículos aéreos no tripulados.

Como resultado de los cálculos se obtuvo la velocidad inducida final:

$$\frac{v_i}{v_{i0}} = -\frac{1}{2} \left( \frac{5}{v_{i0}} \right) + \sqrt{\frac{1}{4} \left( \frac{5}{v_{i0}} \right)^2 + 1}$$

$$v_i = 3.25 \frac{m}{s}$$

Luego se empleó la ecuación 2.8 para determinar finalmente la potencia requerida para ejecutar el ascenso del hexacóptero.

$$P_i = T * (v_c + v_i) \quad (2.8)$$

$$P_i = 14.40 * (3 + 3.25)$$

$$P_i = 90 \text{ W}$$

### 2.6.1.5 Potencia de vuelo en descenso

Para este caso se consideró una velocidad inducida en vuelo axial descendente de  $v_c = -3 \frac{m}{s}$ . Luego, se determinó la relación entre esta velocidad y la velocidad inducida inicial del aire con la ecuación 2.9

$$\frac{v_c}{v_{i0}} \quad (2.9)$$

$$\frac{v_c}{v_{i0}} = \frac{-3}{5.18}$$

$$\frac{v_c}{v_{i0}} = -0.58$$

Según [26], el resultado obtenido debe encontrarse dentro de los siguientes casos:

- Normal  $\frac{v_c}{v_{i0}} \geq 0$
- Anillos de vórtices  $-1 \leq \frac{v_c}{v_{i0}} < 0$
- Estela turbulenta  $-2 \leq \frac{v_c}{v_{i0}} < -1$
- Molinete frenante  $\frac{v_c}{v_{i0}} < -2$

Este resultado corresponde al segundo caso de los anillos de vórtices por lo que se debe realizar un ajuste lineal, empleando la ecuación 2.10

$$\frac{v_i}{v_{i0}} = k - \frac{v_c}{v_{i0}} \quad ; \quad -1.5 \leq \frac{v_c}{v_{i0}} < 0 \quad (2.10)$$

Donde el valor de k es 1.15 en hélices reales.

Desarrollando la ecuación 2.10 se obtiene:

$$\frac{v_i}{v_{i0}} = 1.15 - (-0.58)$$

$$v_i = 8.96 \frac{m}{s}$$

Finalmente, se obtiene la potencia de vuelo en descenso con la ecuación 2.8

$$P_{id} = 14.40 * (-3 + 8.96)$$

$$P_{id} = 85.82 \text{ W}$$

### **2.6.1.6 Potencia de vuelo en avance**

A partir de las ecuaciones 2.11 y 2.12 se determinó la velocidad del hexacóptero cuando este se desplaza de manera horizontal.

Para estos cálculos se consideró un ángulo de ataque  $\alpha_r = 20^\circ$  y un factor de mérito  $FM = 0.85$ , el cual permite corregir los resultados obtenidos con la Teoría de la cantidad de movimiento con respecto a la Teoría del elemento de pala [26].

$$P * FM = 2\rho A v_i \sqrt{(v_a \cos \alpha_r)^2 + (v_a \sin \alpha_r + v_i)^2} (v_a \sin \alpha_r + v_i) \quad (2.11)$$

$$v_i = v_{i0} \sqrt{\frac{1}{2} \left[ \sqrt{4 + \left( \frac{v_a \cos \alpha_r}{v_{i0}} \right)^4} - \left( \frac{v_a \cos \alpha_r}{v_{i0}} \right)^2 \right]} \quad (2.12)$$

Realizando los cálculos respectivos se determinó la velocidad de avance del dron  $v_a = 1.4 \frac{m}{s}$ , resultado que fue empleado dentro de la ecuación 2.13 para calcular la potencia de vuelo en avance horizontal.

$$P_a = T(v_a \sin \alpha_r + v_i) \quad (2.13)$$

$$P_a = 14.40(1.4 \sin(20^\circ) + 7.50)$$

$$P_a = 114.9 \text{ W}$$

### 2.6.1.7 Potencia del motor

Luego de haber obtenido las diferentes potencias que presenta un vehículo aéreo no tripulado de seis rotores, se seleccionó la potencia máxima entre las calculadas para determinar la potencia necesaria por cada motor del hexacóptero para cumplir su fase de vuelo.

Se empleó la ecuación 2.14, considerando un factor de corrección de 0.8.

$$P_n = \frac{P_{max}}{FC} \quad (2.14)$$

$$P_n = \frac{114.9}{0.8}$$

$$P_n = 143.63 \text{ W}$$

Finalmente, se utilizó la ecuación 2.15 para determinar la potencia del motor, donde se consideró un factor de servicio de  $f_s = 1.2$  con el fin de que el motor

pueda manejar sobrecargas intermitentes, así como también ser capaz de operar en ambientes por encima de 40 °C [29].

$$P_{motor} = f_s * P_n \quad (2.15)$$

$$P_{motor} = 1.2 * 143.63$$

$$P_{motor} = 172.36 \text{ W}$$

## 2.6.2 Tiempo de Vuelo

En este cálculo se consideró un conjunto de 6 baterías de polímero de Litio (LiPo) modelo TB47S seleccionada en la sección 2.3, la cual brinda una tensión nominal de 22.2 V con una capacidad de 4500 mAh.

Se empleó la ecuación 2.16 para determinar la potencia máxima que consume el motor, verificando las especificaciones técnicas, donde se indica que la corriente máxima es de 15 A y la tensión nominal de la batería LiPo, obteniendo los siguientes resultados:

$$P = I * V \quad (2.16)$$

$$P = (15)(22.2)$$

$$P = 333 \text{ W}$$

Para este caso se debe considerar que se utilizarán 6 motores, por lo que la potencia total consumida por todos los motores es 1998 W.

Además, se determinó que la capacidad brindada por el conjunto de 6 baterías LiPo es 27 Ah.

Finalmente, se calculó el tiempo de vuelo aproximado con esta selección de baterías, empleando la ecuación 2.17

$$T = \frac{E}{P} \quad (2.17)$$

$$T = \frac{27Ah * 22.2V}{1998}$$

$$T = 0.3 h$$

$$T = 18 min$$

## 2.7 Software de detección de objetos

El principal objetivo de emplear un vehículo aéreo no tripulado dentro de fase previa del procedimiento de inspección y abordaje que realiza el Comando de Guardacostas en sus operaciones es visualizar la embarcación y su tripulación para tener un panorama que les permita conocer la situación a la cual se enfrentarán.

Por esta razón, se propone utilizar un software de detección de objetos capaz de discriminar personas, armas, animales y sustancias sujetas a fiscalización a partir de las imágenes y videos obtenidos con la cámara del hexacóptero.

Para el desarrollo de este programa, se utilizó el repositorio YOLOv5 creado por la empresa Ultralytics, la cual ha trabajado en proyectos de inteligencia artificial desde 2014 empleando diferentes técnicas de “Machine Learning” [30].

YOLOv5 es una familia de arquitectura y modelos que permite la detección de objetos previamente entrenados gracias a un conjunto de datos [31]. Sin embargo, solo se emplearon sus técnicas de entrenamiento para que el programa discrimine 4 tipos de objetos o clases, dado que esto permitirá cumplir de la mejor manera con el objetivo principal del vehículo aéreo no tripulado.

Además, se empleó la biblioteca gratuita Pytorch desarrollada en 2016, la cual permite el desarrollo de aplicaciones enfocadas a la inteligencia artificial por medio del aprendizaje automático de la máquina [32].

Finalmente, se emplearon diferentes plataformas en línea como Google Colab y Weights & Biases con el objetivo de entrenar al programa y reconocer los principales objetos que intervienen en una inspección y abordaje.

### **2.7.1 Aprendizaje automático**

El desarrollo de este tipo de programa requiere el entrenamiento de la máquina empleando una gran cantidad de imágenes relacionadas a los objetos que se detectaran para obtener los mejores resultados.

Se emplearon un total de 2617 imágenes, obtenidas de distintas colecciones de datos descargadas de la web, así como imágenes provistas por miembros de la Armada del Ecuador para lograr el aprendizaje automático del programa.

Es importante agregar que la detección de objetos solo se enfocó en 4 clases: personas, armas, animales y sustancias sujetas a fiscalización, sin embargo, se puede agregar muchas más clases en caso de que se requieran.

#### **2.7.1.1 Etiquetado de imágenes**

El etiquetado de las imágenes es uno de los procesos más importantes para lograr que el programa ejecute una detección de objetos exitosa. Este método requiere crear un recuadro delimitador en cada imagen sobre los diferentes objetos que se desean discriminar, datos que serán almacenados en un archivo “.txt” para cada imagen que sea analizada.

En este tipo de archivo se almacenan los diferentes tipos de objetos que se presentan en la imagen y las coordenadas de los recuadros delimitadores.

Cada línea representa un objeto etiquetado, el cual consta de 5 parámetros: el número inicial que representa el número de la clase de objeto en la imagen; las coordenadas en “x” y “y” desde el centro del recuadro; el ancho y la altura del recuadro delimitador. Esto se puede observar en la figura 2.11.



```

Z32 - Notepad
File Edit Format View Help
0 0.3941666666666667 0.13692579505300354 0.04833333333333333 0.10777385159010601
0 0.525 0.12809187279151943 0.04666666666666667 0.11130742049469965
0 0.67 0.12897526501766785 0.05166666666666667 0.12367491166077739
0 0.85375 0.1333922261484099 0.02416666666666667 0.07597173144876325
2 0.21583333333333332 0.5026501766784452 0.10833333333333334 0.25265017667844525
1 0.67 0.303886925795053 0.10833333333333334 0.1872791519434629
3 0.2891666666666667 0.8630742049469965 0.13 0.21731448763250882
3 0.43 0.8736749116607774 0.14333333333333334 0.196113074204947
3 0.58875 0.8780918727915195 0.14583333333333334 0.21554770318021202
3 0.7616666666666667 0.8621908127208481 0.16 0.20848056537102475
  
```

**Figura 2.11 Etiquetado de imágenes y almacenamiento de coordenadas**

Este proceso se realizó para cada una de las imágenes seleccionadas y posteriormente se cargó el conjunto de datos a la nube con fin de entrenar al programa.

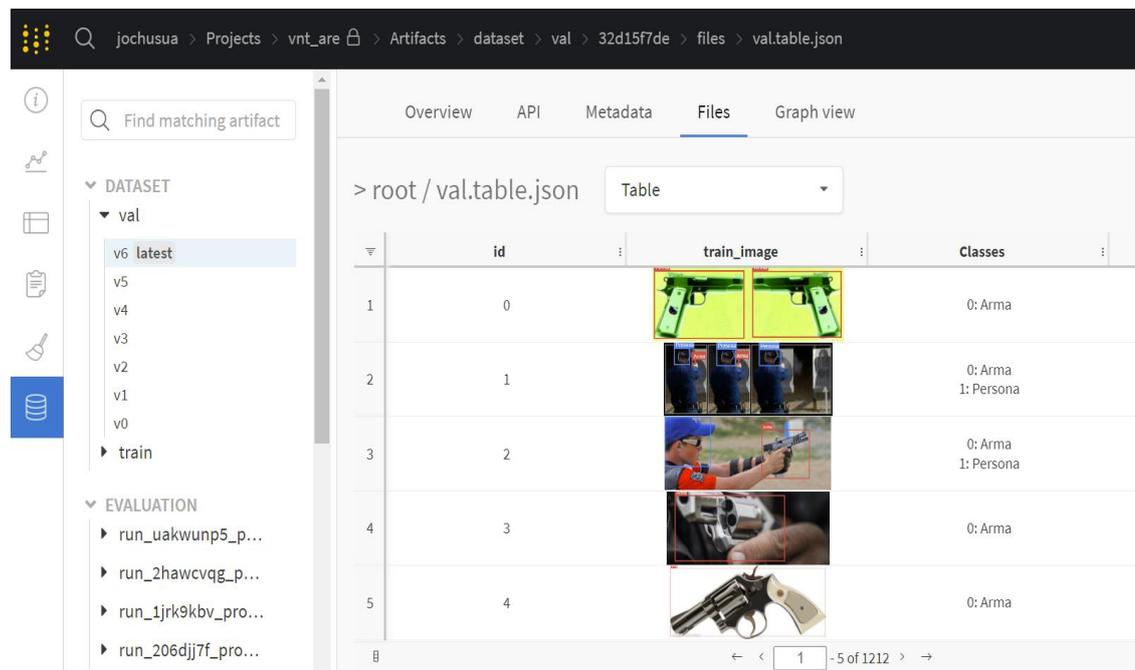
### **2.7.1.2 Carga del conjunto de datos a la nube**

Para ejecutar este proceso se empleó la plataforma en línea Weights & Biases. Esta plataforma permite que los equipos de aprendizaje automático sean capaces de crear modelos de una forma más rápida.

Además, gracias a su interfaz permite depurar, comparar y reproducir los modelos de aprendizaje automático en tiempo real, obteniendo gráficos estadísticos sobre la arquitectura, el uso de la unidad de procesamiento gráfico, conjunto de datos y predicciones [33].

El realizar la carga del conjunto de datos a la plataforma en línea, permitió obtener diferentes versiones sobre el modelo de aprendizaje automático sobre el cual se trabajó. De igual manera, este proceso facilita el acceso al conjunto de datos y el entrenamiento del modelo desde cualquier máquina que se desee emplear.

En la figura 2.12 se muestra la interfaz de la plataforma Weights & Biases donde se puede acceder a las diferentes versiones que se ha creado del modelo de detección de objetos y al conjunto de imágenes con su respectivo etiquetado.

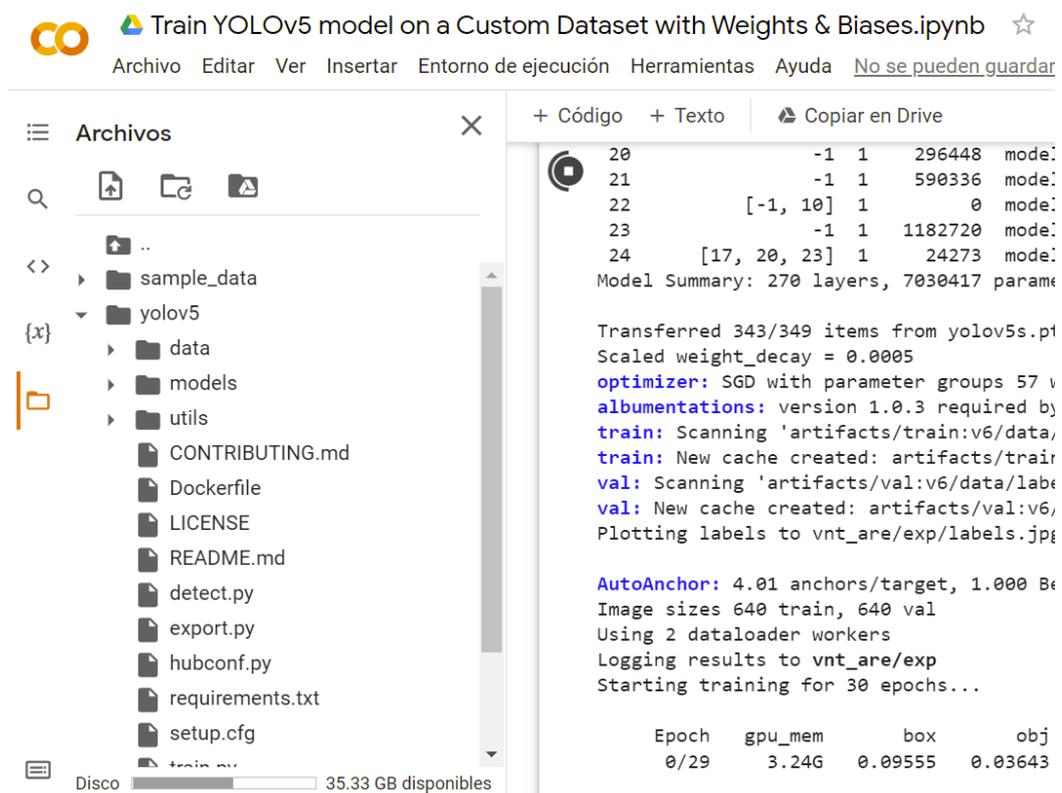


**Figura 2.12 Interfaz de la plataforma Weights & Biases**

### 2.7.1.3 Entrenamiento del modelo

El objetivo de esta etapa del proceso de desarrollo del programa de detección de objetos es entrenar el modelo YOLOv5 modificado a partir del conjunto de datos que se ha recopilado.

Para esta etapa se empleó la librería Pytorch y se entrenó el modelo en la plataforma en línea Google Colab como se muestra en la figura 2.13, la cual permite ejecutar y programar en Python desde el navegador obteniendo acceso gratuito al uso de unidades de procesamiento gráfico [34].



The screenshot shows the Google Colab interface for a notebook titled "Train YOLOv5 model on a Custom Dataset with Weights & Biases.ipynb". The left sidebar displays a file explorer with a directory structure including "sample\_data", "yolov5" (containing "data", "models", "utils"), and various files like "CONTRIBUTING.md", "LICENSE", "README.md", "detect.py", "export.py", "hubconf.py", "requirements.txt", "setup.cfg", and "train.py". The main area shows code execution output with a table of metrics for epochs 20-24 and a model summary. Below the table, there are logs for data transfer, optimizer settings, and training progress.

Epoch	gpu_mem	box	obj
20	-1	1	296448
21	-1	1	590336
22	[-1, 10]	1	0
23	-1	1	1182720
24	[17, 20, 23]	1	24273

Model Summary: 270 layers, 7030417 param

Transferred 343/349 items from yolov5s.pt  
Scaled weight\_decay = 0.0005  
optimizer: SGD with parameter groups 57 v  
alumentations: version 1.0.3 required by  
train: Scanning 'artifacts/train:v6/data,  
train: New cache created: artifacts/train:  
val: Scanning 'artifacts/val:v6/data/label  
val: New cache created: artifacts/val:v6,  
Plotting labels to vnt\_are/exp/labels.jp

AutoAnchor: 4.01 anchors/target, 1.000 B  
Image sizes 640 train, 640 val  
Using 2 dataloader workers  
Logging results to vnt\_are/exp  
Starting training for 30 epochs...

Figura 2.13 Entrenamiento del programa de detección en Google Colab

Finalmente, luego de haber recopilado la información necesaria y de entrenar al modelo de detección, se ejecutó el programa de forma local en el sistema operativo Windows, cuyos resultados se presentan en el capítulo 3.

## **2.8 Estación de control**

Para llevar el vuelo y navegación del hexacóptero se propone una estación de control en la lancha guardacostas que se mantendrá a una distancia 3 millas de la embarcación a inspeccionar y abordar, en la cual se combina hardware y software que permitirá controlar el vehículo no tripulado de forma remota.

La estación de control lancha-dron se divide en dos componentes: hardware y software. [35]

### **2.8.1 Hardware**

Esta parte de la estación de control combina diferentes dispositivos electrónicos que permiten controlar las entradas, estableciendo la comunicación entre el hexacóptero y la lancha guardacostas.

A continuación, se presentan los diferentes equipos que conforman el hardware:

#### **2.8.1.1 Unidad central de procesamiento (CPU)**

Constituye la parte central de la estación en su unidad de hardware, cumpliendo la función de enlace entre los demás componentes y el software. Se propone el empleo de una unidad central de procesamiento (CPU), con la cual ya cuenta el Comando de Guardacostas por lo que no se necesitaría su adquisición, para la comunicación bajo los protocolos serial.

Para la comunicación con el software de control del hexacóptero y el enlace de telemetría se emplearían dos de sus puertos seriales.

La unidad central de procesamiento se conectará al dispositivo de entrada que permitirá al piloto enviar órdenes al hexacóptero a través del software de la estación de control.

Para realizar la detección de objetos, se adquiere los datos de imagen y video enviados por hexacóptero en tiempo real y se ejecutará el software de detección de objetos sobre el conjunto de datos recibidos directamente en el CPU, evitando

ocupar memoria y velocidad de procesamiento dentro de los componentes del vehículo aéreo no tripulado.

### **2.8.1.2 Sistema de entradas de control**

El principal sistema de entrada de control que se emplea dentro de la estación es el joystick, que envía al hexacóptero las órdenes dadas por el operador o piloto a través de un transmisor de radio.

Además, se establecería un sistema de diferentes componentes electrónicos para el control de aceleración, cabeceo, guiñada, balanceo y rotación de la cámara del vehículo no tripulado.

El joystick y los interruptores de control del dron se conectan con el microcontrolador, el cual convierte el voltaje analógico en una señal de modulación por posición de pulsos. Esta señal es enviada a un transmisor de radio, el cual envía los datos de la señal PPM al hexacóptero por radio transmisión.

Estos datos se envían a un software de navegación del hexacóptero para mostrar al piloto u operador que las órdenes dadas al dron sean las correctas.

### **2.8.1.3 Módulo de telemetría**

Es un transceptor cuya función principal es recibir y enviar datos de telemetría al vehículo aéreo no tripulado.

Se utilizan dos módulos de radiofrecuencia de 433 Mhz, que emplean el protocolo de comunicación MavLink, el cual es muy ligero permitiendo una comunicación segura entre la estación a bordo de la lancha guardacostas y el hexacóptero. Además, posee métodos para la detección de paquetes caídos, corrupción y autenticación de paquetes. [36]

#### **2.8.1.4 Unidad de sensores**

Para conducir el vehículo aéreo no tripulado y obtener los resultados esperados durante una misión de inspección y abordaje, es importante conocer los datos meteorológicos en el área donde el dron llevará a cabo su vuelo.

Por esta razón se propone una unidad de sensores en la estación de control lancha – hexacóptero, donde el sistema estaría conformado por diversos sensores de temperatura, humedad y anemómetro, el cual permite conocer la velocidad y dirección del viento, un factor importante que puede limitar la maniobrabilidad del dron.

Dado que las lanchas guardacostas de la Armada del Ecuador cuentan con este tipo de sensores a bordo, se puede recopilar esta información directamente de los sensores ya existentes evitando costos adicionales.

#### **2.8.1.5 Antenas**

La función de una antena es permitir que las señales electromagnéticas viaje con eficiencia al espacio y pueda enviar estas señales a un receptor. La ganancia de una antena es la relación entre la intensidad de campo irradiado por la antena en la dirección de máxima radiación [30].

En este caso será de 3,5 dBi a 2450 MHz. Este parámetro es el más importante de una antena, en especial en este proyecto ya que se requiere focalizar las señales electromagnéticas entre el hexacóptero y el buque con la finalidad de tener la mejor señal posible para seguridad del vehículo no tripulado y la calidad del video, también es importante conocer que el buque mientras realiza la inspección y vehículo no tripulado está en el aire no tiene una dirección determinada y cambiará constantemente por lo cual se necesitan antenas omnidireccionales tanto en el buque como en el hexacóptero.

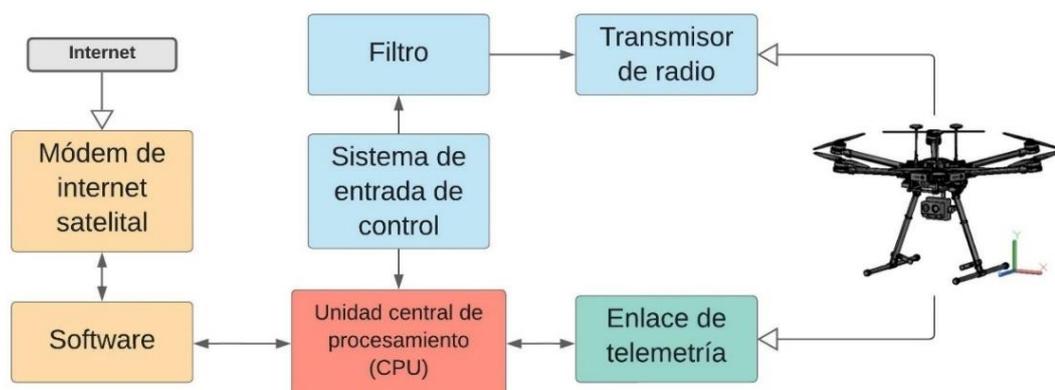
## 2.8.2 Software

El software que se adapta a los materiales seleccionados como el controlador de vuelo, el soporte de la cámara y la cámara térmica seleccionada es el DJI “assistant” el cual opera con el sistema operativo Windows. Este programa permite cargar datos de vuelo, resolver situaciones de emergencia, tener visión de video en tiempo real, y control de porcentaje de carga.

Las características más importantes de este programa se detallan a continuación.  
[30]

- Actualización de firmware.
- Carga de datos.
- Caja Negra.
- Calibración.
- Simulador.
- Configuración WiFi.
- Restaurar los valores predeterminados de fábrica.
- Política de privacidad del DJI y condiciones de uso de la aplicación DJI Assistant 2.

Finalmente, se muestra el diagrama de componentes de la estación de control.



**Figura 2.14 Diagrama de componentes de la estación de control**

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestra el análisis de los resultados de la investigación y la metodología utilizada, para lo cual se utilizó un software para obtener simulaciones que comprueben que los resultados son correctos. Se realizaron los planos con el programa informático AutoCAD en donde se diseñaron los brazos de los rotores, estructura principal y carcasa de protección, así mismo se realizó el análisis de elementos finitos con el programa Inventor de Autodesk para comprobar que el material con las cargas no tengan fallas en su operación.

Se realizó el diseño de la consola de control del hexacóptero lo que evitará que exista la protección de la información recopilada, y que el operador del vuelo pueda realizarla de forma segura y ergonómica. Finalmente se realizó la prueba del software de detección de objetos con la finalidad de comprobar que se cumplan con todos los requerimientos del cliente, realizando un análisis de costo de los equipos y estructuras, adecuándolo al presupuesto de la Armada del Ecuador.

### 3.1 Diseño mecánico

Para el diseño mecánico de la estructura y los componentes se determinó el material y el tamaño de algunos componentes claves, como el sistema de propulsión y el controlador de vuelo, además de verificar que el soporte de la cámara se adapte fácilmente, también se consideró que debe ser un equipo portátil que entre en una unidad guardacostas menor. En la tabla 3.1 se puede considerar los tamaños más representativos del vehículo no tripulado.

**Tabla 3.1 Medidas de estructura de hexacóptero**

Medidas de Estructura	
<b>Estructura central</b>	401 x 410 x 49 mm
<b>Brazos soporte de motor y hélice</b>	405 x 28 mm
<b>Soporte vertical de aterrizaje</b>	461 x 25 mm

En la figura 3.1 del presente documento se puede visualizar el diseño del hexacóptero, cuyos planos se encuentran en el apéndice C.

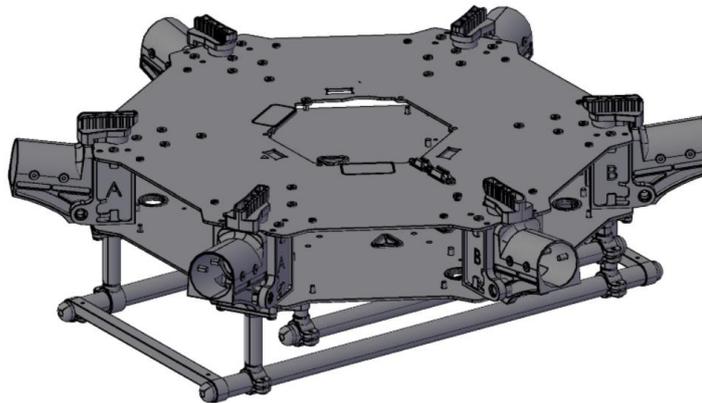
Para este modelo se determinó que la estructura debe fabricarse con el material aluminio 7075, el cual tiene características para trabajos en agua de mar, también es resistente y de poco peso, existiendo disponibilidad en el país con lo cual se excluye la idea de importar materiales del exterior.



**Figura 3.1 Modelo del hexacóptero en AutoCAD**

### **3.1.1 Diseño de la estructura principal**

En la estructura se va a colocar los componentes electrónicos del controlador de vuelo que se detalló en la sección 2.3.3, además de las antenas GPS y los sensores, se realizaron pequeñas bases para colocar el pack de baterías con lo cual se va a alimentar todos los componentes del vehículo no tripulado, también tendrá la base de los brazos del sistema de propulsión, el soporte de la cámara y el tren de aterrizaje.



**Figura 3.2 Estructura Principal**

Para el soporte de baterías se utilizaron cuatro pernos Allen hexagonales M3 los cuales tienen las siguientes dimensiones, 3 x 6 mm y son de acero inoxidable. Este perno se puede apreciar en la figura 3.3, encontrándose dos en la parte superior y dos en la parte inferior.

Para la base del brazo del rotor se utilizan seis pernos Allen hexagonales M3, los cuales se ubican tres en la parte superior y tres en la parte inferior, estas uniones sirven para compactar los dos espejos de la estructura principal. El espejo inferior tiene orificios seis orificios de 14 mm de diámetro por el cual pasarán los cables que se conectan a los motores y el control de velocidad. Las antenas se sujetan con el espejo superior con dos pernos Allen M3.

Para la parte inferior de la estructura se ha colocado un soporte que servirá para montar el tren de aterrizaje y el soporte de la cámara el cual contiene tubos ocho tubos de aluminio, con lo cual se asegura un aterrizaje seguro para el hexacóptero, sin exponer los sistemas electrónicos y protegiendo a la cámara de un posible golpe. En la tabla 3.2 está detallado la cantidad de pernos utilizados.



**Figura 3.3 Pernos Allen M3**

**Tabla 3.2 Detalle de pernos estructura principal**

<b>Estructura</b>	<b>Modelo Perno</b>	<b>Cantidad Individual</b>	<b>Cantidad Total</b>
<b>Soporte de baterías</b>	Tornillo Allen, Cabeza Cilíndrica, Hueco Hexagonal, Acero. M3.	4	24
<b>Base de los brazos del rotor</b>	Tornillo Allen, Cabeza Cilíndrica, Hueco Hexagonal, Acero. M3.	6	36
<b>Base de antena</b>	Tornillo Allen, Cabeza Cilíndrica, Hueco Hexagonal, Acero. M3.	2	6
<b>Base del soporte de cámara</b>	Tornillo Allen, Cabeza Cilíndrica, Hueco Hexagonal, Acero. M3.	3	12
<b>Base del soporte de tren de aterrizaje</b>	Tornillo Allen, Cabeza Cilíndrica, Hueco Hexagonal, Acero. M3.	2	4
<b>TOTAL</b>			<b>82</b>

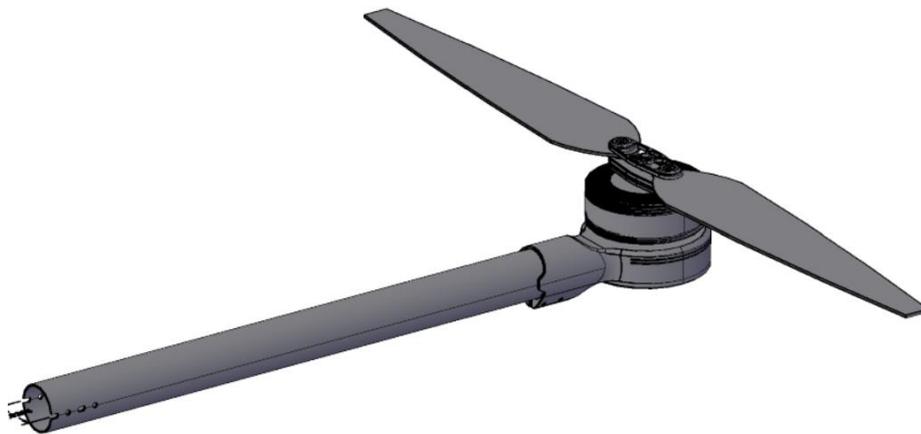
### 3.1.2 Brazos de hexacóptero

Los brazos donde descansa el rotor, los ESC y las hélices están diseñados en aluminio 7075 estos son desmontables para dar mantenimiento al sistema de propulsión en caso de ser requeridos. Están unidos a la estructura principal con cuatro pernos Allen M3 según la tabla 3.3.

En la figura 3.4 se puede evidenciar que los brazos del hexacóptero son montables en la estructura principal y por el interior pasarían los cables eléctricos con los que se puede conectar el motor seleccionado.

**Tabla 3.3 Detalle de pernos brazos hexacóptero**

Estructura	Modelo Perno	Cantidad Individual	Cantidad Total
Brazos del rotor	Tornillo Allen, Cabeza Cilíndrica, Hueco Hexagonal, Acero. M3.	4	24
<b>TOTAL</b>			24



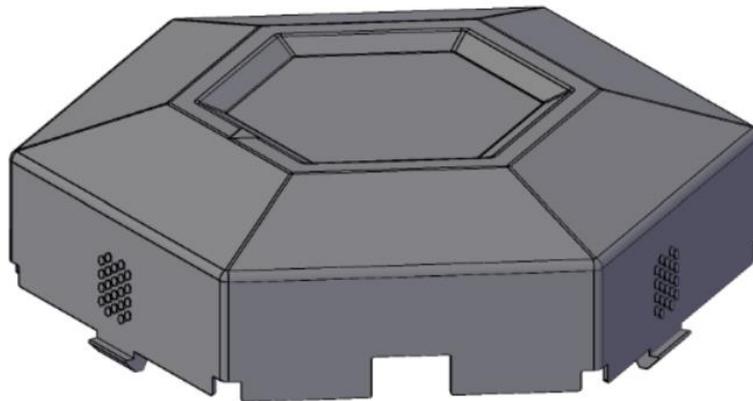
**Figura 3.4 Brazos del hexacóptero.**

### 3.1.3 Estructura protectora

Esta estructura fue diseñada para evitar que el controlador de vuelo y los componentes electrónicos que se encuentran entre los espejos del hexacóptero estén expuestos a la intemperie.

En la figura 3.5 se puede visualizar el modelo. Dado que el mar es un ambiente salino, es primordial que esta parte sea completamente hermética para evitar el daño y la oxidación de los equipos.

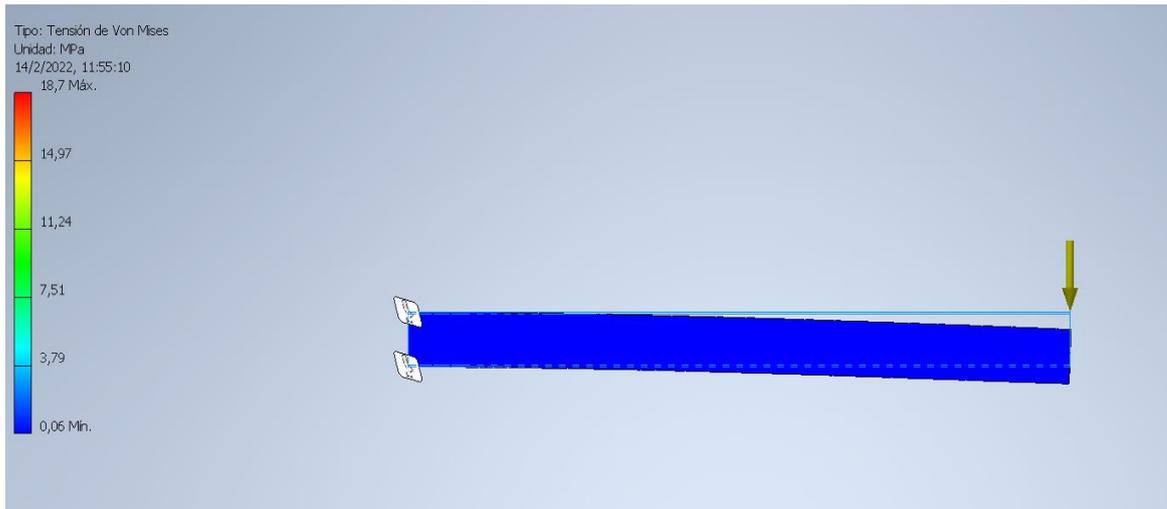
La unión de esta estructura con la principal es por medio de presión la cual esta sujeta a 3 puntos con los cual se facilita el acceso para los mantenimientos preventivos, además de evitar el óxido de una unión con pernos.



**Figura 3.5 Estructura protectora**

### 3.1.4 Análisis de elementos finitos

La validación del diseño mecánico se realizó con el análisis de elementos finitos con el programa informático Autodesk Inventor, la pieza de mayor interés es el brazo del rotor el cual tendrá que soportar el peso de la hélice y el motor. En las figuras 3.6 y 3.7 se puede evidenciar la tensión máxima de Von Mises 18 MPa, esta pieza al ser de aluminio significa que el diseño el esta correcto ya que no va a superar la tensión del límite elástico, evitando que la pieza falle en su propósito.

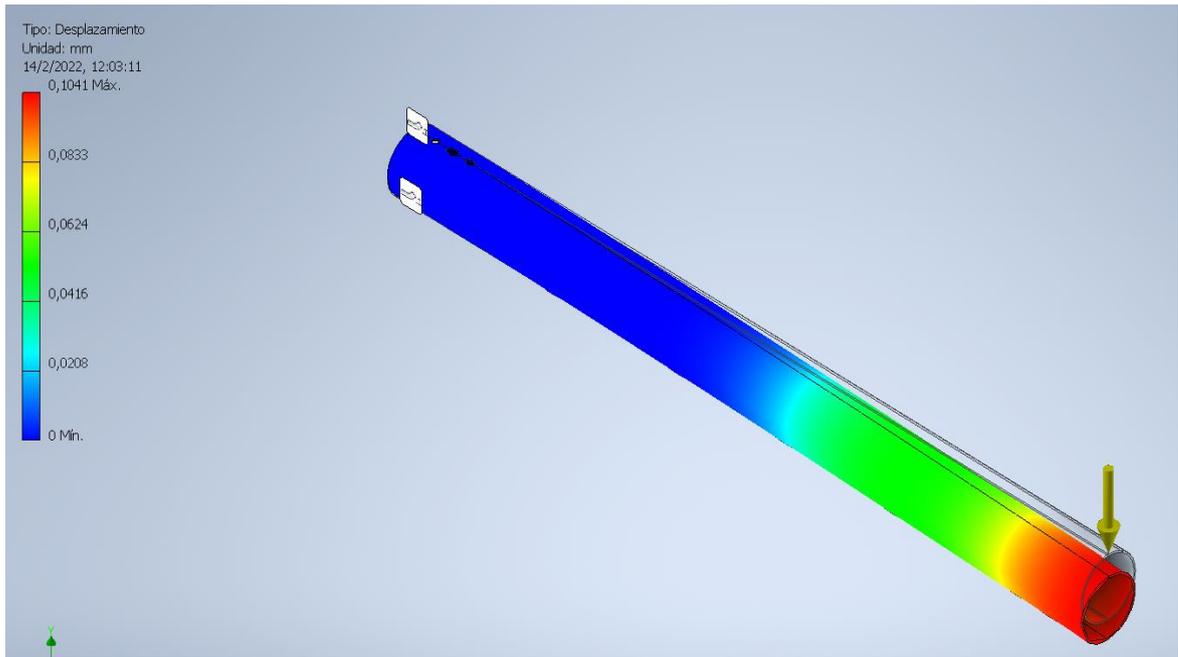


**Figura 3.6 Análisis de elementos finitos del brazo del rotor desplazamiento de Von Mises**



**Figura 3.7 Análisis de elementos finitos del brazo del rotor desplazamiento de Von Mises**

También se puede comprobar en la figura 3.8 que el desplazamiento de la pieza con la carga proporcionada por el sistema de propulsión es mínimo, evitando que el vuelo del hexacóptero se vea afectado, el máximo según el programa es de 0.08 mm esto garantiza que el brazo del rotor permanecera estático durante las operaciones navales.



**Figura 3.8** Análisis de elementos finitos tensión de desplazamiento

### 3.2 Diseño de la consola de control

Para el control del vehículo no tripulado se consideró el diseño de una consola comando, para la seguridad del operador y el correcto almacenamiento de la información recopilada. Esta consola esta realizada con acero, mismo material de las consolas ya internas en los buques de la Armada del Ecuador.

Tiene un computador interno donde se va a almacenar la información de la cámara del hexacóptero y con dos monitores donde se van a mostrar la información de vuelo y la captado por la cámara, logrando que el operador tenga acceso a todos los datos relevantes de la operación, sin poner en riesgo su integridad, previniendo caídas o golpes con las estructuras del buque. En la figura 3.9 se puede evidenciar el modelo de la consola de control.



**Figura 3.9 Consola de control**

### 3.3 Identificación mediante el software de detección de objetos

Para el desarrollo del software de detección finalmente se emplearon 2617 imágenes obtenidas de diversas fuentes, entre las cuales se encuentran armas, paquetes de droga, animales, personas y 50 imágenes térmicas con el objetivo de entrenar al modelo en caso de requerir este tipo de reconocimiento durante operaciones nocturnas.

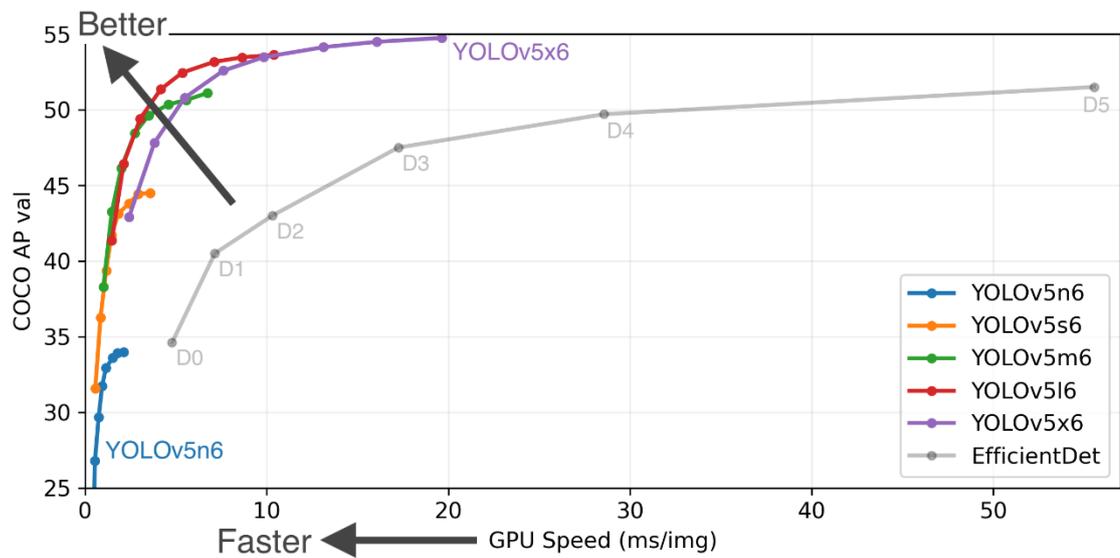
Además, se programó una interfaz gráfica empleando las librerías CV2 y Tkinter que permite al usuario la interacción con el software de detección, como se observa en la figura 3.10.



Figura 3.10 Interfaz del programa de detección de objetos

Cabe mencionar que se realizó la transferencia de aprendizaje a este modelo empleando uno de los modelos pre-entrenados de YOLOv5 de menor tamaño, el cual fue el yolov5s para obtener resultados con mayor rapidez, sin embargo, haber empleado uno de mayor tamaño brindaría mejores resultados en cuanto a

precisión pero hubiese requerido un mayor poder computacional. En la figura 3.11 se observan los diferentes modelos pre entrenados para la transferencia de aprendizaje.



**Figura 3.11 Modelos pre-entrenados de YOLOv5 [24]**

Finalmente, es importante agregar que el programa desarrollado permite la detección en vivo, para lo cual se empleó la cámara frontal del computador para ejecutar pruebas en tiempo real y de igual manera permite ejecutar el software de detección sobre imágenes y videos pregrabados como se observa en las figuras 3.12 - 3.15.

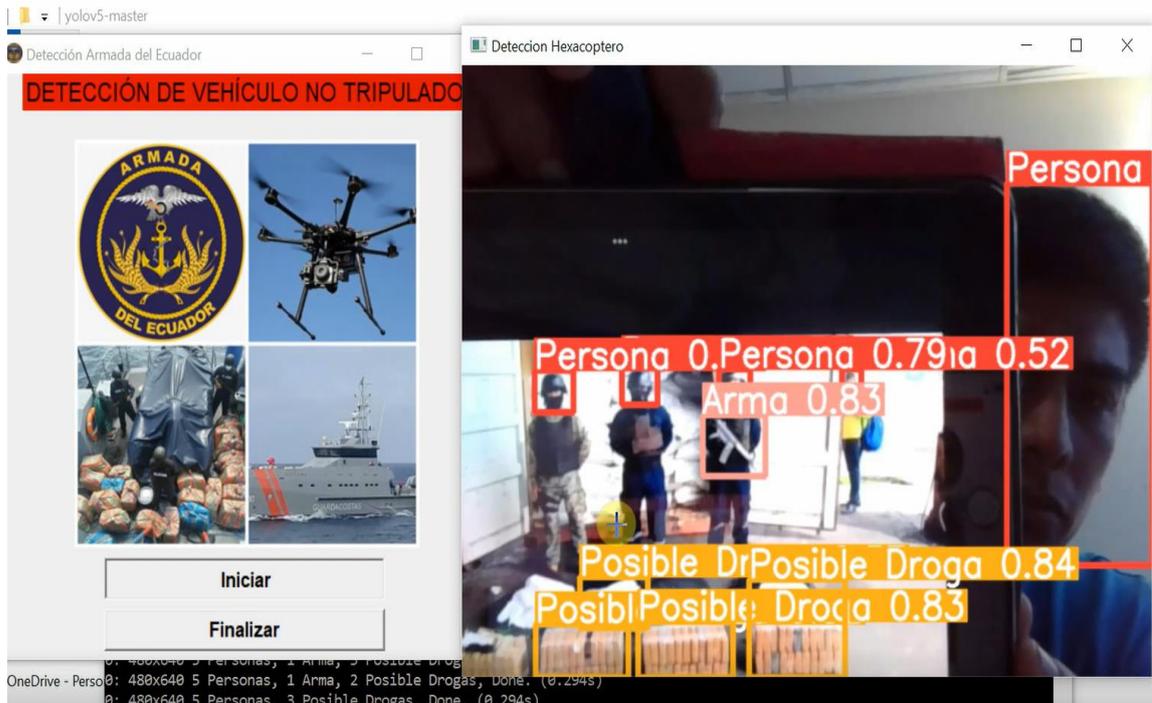


Figura 3.12 Ejecución en tiempo real del software de detección



Figura 3.13 Resultado #1 obtenido del programa de detección



Figura 3.14 Resultado #2 obtenido del programa de detección

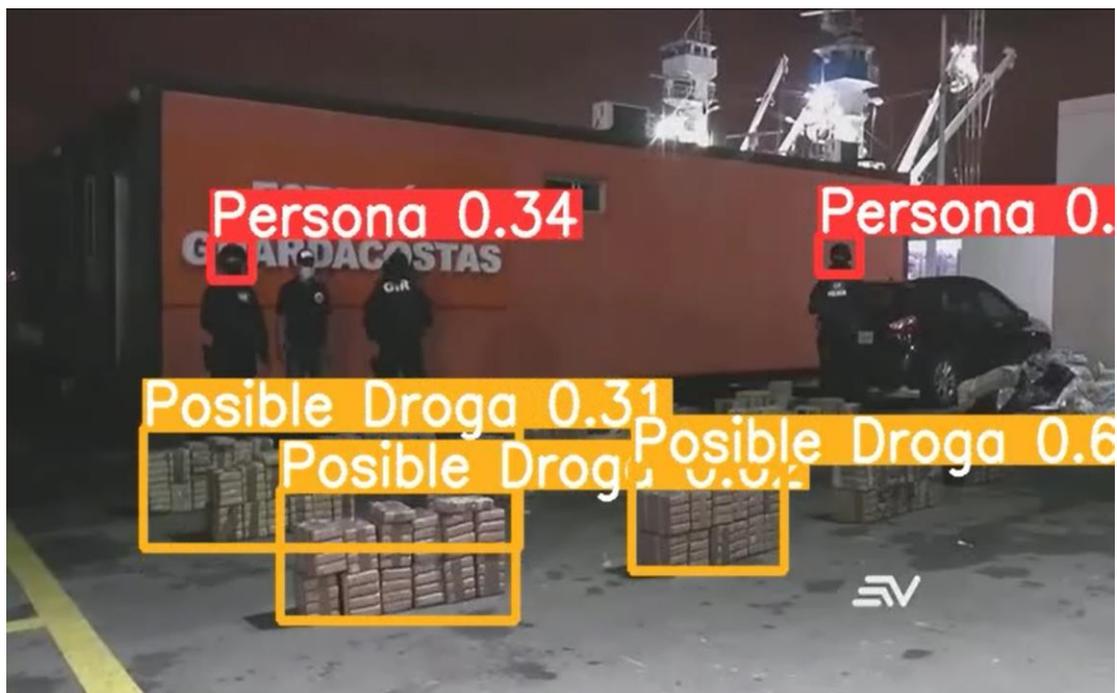


Figura 3.15 Ejecución del software de detección sobre video

### **3.4 Análisis de costos**

Luego de realizar el análisis de costos se logró determinar con el cliente que el presupuesto del proyecto está dentro de lo establecido por la institución, en especial por el costo-beneficio que tiene la solución a la problemática actual. El diseño del hexacóptero tiene materiales con estándares militares, con lo cual el mantenimiento preventivo disminuye el costo considerablemente, además que el ambiente salino y corrosivo al que estará expuesto los componentes no pueden ser de baja calidad.

La consola de control tiene materiales que se adapten a los equipos propios del buque, ya que colocar materiales no adecuados provocarían daños y complicaciones con los equipos de navegación y la estructura del buque.

El software de detección de objetos tiene la importancia de ser creado y diseñado con la capacidad de cargar mucha más información para que aprenda de manera constante y tenga más precisión, no requiere mantenimiento, pero al ser diseño del autor provoca que los posibles problemas sean solucionados de manera inmediata.

En la tabla 3.4 se encuentra detallado los costos del proyecto.

**Tabla 3.4 Costos del proyecto**

<b>COMPONENTE / SISTEMA</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>SUBTOTAL</b>
<b>Motor 6010</b>	6	\$280	\$1680
<b>ESC</b>	6	\$80	\$480
<b>Par de hélices</b>	6	\$70	\$420
<b>Baterías</b>	12	\$200	\$2400
<b>Controlador de vuelo</b>	1	\$900	\$900
<b>Cámara</b>	1	\$200	\$200
<b>Soporte de cámara</b>	1	\$1200	\$1200
<b>Pernos Allen M3</b>	200	\$0.25	\$50
<b>Estructuras</b>	1	\$ 3000	\$ 3000
<b>Ssoftware de detección de objetos</b>	1	\$500	\$500
<b>Monitor</b>	2	\$400	\$800
<b>CPU</b>	1	\$600	\$600
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 12230</b>	

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados ofrecidos a la Armada del Ecuador como cliente final fue el diseño de un vehículo aéreo no tripulado con seis rotores, propuesta realizada con materiales aptos para ambientes salinos y con un tiempo de vuelo adecuado para el cumplimiento de los requerimientos del cliente.

Además, posee componentes de seguridad que permiten mantener el equipo de regreso al buque de la Armada en caso de presentar fallas considerables.

El control del vuelo y de la cámara es realizada desde el interior del buque de la Armada del Ecuador, logrando darle seguridad al personal de operadores y almacenando la información de manera más segura y confiable. Este diseño se realizó considerando las especificaciones de tamaño en el puente de gobierno, además de considerar que los materiales utilizados no interfieran en el trabajo habitual de los equipos de navegación.

El software de detención de objetos desarrollado es único de acuerdo con sus características ya que está diseñado exclusivamente para el cliente, el cual requiere identificar personas, armas, animales y posibles sustancias sujetas a fiscalización, este programa se realizó aplicando programación basada en Python, aplicando técnicas de aprendizaje automático en diferentes plataformas en línea, y es importante mencionar que tiene la capacidad de seguir aprendiendo al ejecutar el modelo de entrenamiento con nueva información proporcionada.

## 4.1 Conclusiones

- El proceso de investigación en complemento con los conocimientos adquiridos durante la carrera de Ingeniería Mecatrónica permitió el desarrollo de tres propuestas de solución: un vehículo aéreo no tripulado diseñado específicamente para el apoyo en la fase previa a los abordajes de inspección, el diseño de una estación de control que permita operar el hexacóptero desde el interior de la embarcación y la implementación de un software de detección de objetos; productos que contribuirán al aumento de la seguridad del personal militar y la eficiencia de las operaciones marítimas.
- El análisis de los requerimientos del cliente y las diferentes alternativas de solución permitió diseñar un vehículo aéreo no tripulado de seis rotores apropiado para ambientes salinos, con un tiempo de vuelo de 18 minutos que permitirá sobrevolar las embarcaciones a inspeccionar en la fase previa al abordaje, proporcionando un panorama visual completo de la situación que brindará seguridad a la dotación de la lancha guardacostas.
- El empleo de herramientas de aprendizaje automático y programación permitió el desarrollo de un software de detección de objetos único y específico para este tipo de situaciones, obteniendo excelentes resultados cuya implementación facilita a los miembros de la Armada del Ecuador la identificación correcta de objetos como armas, animales, sustancias sujetas a fiscalización y personas, contribuyendo a la obtención de evidencia visual en caso de que exista una aprehensión de los tripulantes del buque inspeccionado.
- El análisis de elementos finitos realizado por el software Inventor de Autodesk evidenció que la tensión de Von Mises obtenida en los brazos del rotor con las cargas del sistema de propulsión es adecuada ya que no existirá falla en el material, también el desplazamiento de la pieza es mínimo manteniendo sin alteraciones el vuelo del hexacóptero.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar la implementación del proyecto con la finalidad de brindar a la Armada del Ecuador una herramienta muy importante para la protección del territorio marítimo, logrando almacenar información de las inspecciones que servirán en los procesos judiciales, así como también mantener la seguridad de la partida de abordaje en todo momento, precautelando la vida del militar que cumple con su deber.
- Para la implementación del software de detección de objetos se recomienda emplear el modelo pre entrenado de mayor tamaño para la transferencia de aprendizaje, lo cual permitirá obtener una mejor precisión en cuanto a la identificación de objetos, así como también se debe emplear una mayor cantidad de imágenes de inspecciones reales, que contribuirán al entrenamiento y validación del software de detección.
- Es importante recordar que los cálculos de potencia y tiempo de vuelo se realizaron para el peso total de la estructura y componentes seleccionados, considerando una carga útil de 1 Kg que corresponde a los sensores o equipos que se deseen instalar en un futuro, sin embargo, durante su fabricación se recomienda establecer inicialmente todos los componentes o equipos adicionales que se agregarán al hexacóptero para determinar un tiempo de vuelo aproximado a un modelo real.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] CONVEMAR, «Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho al Mar Convemar,» Guayaquil, 2017.
- [2] PlanV, «Plan V,» [En línea]. Available: <https://www.planv.com.ec/historias/sociedad/parar-la-sobreexplotacion-del-mar-el-gran-desafio-del-ecuador>. [Último acceso: 25 12 2021].
- [3] MAPONE, «Manual de procedimientos operativos normales y de emergencia,» Guayaquil, 2017.
- [4] F. Armada, «Foro Armada,» [En línea]. Available: <https://base.mforos.com/1139583/5292349-armada-de-ecuador/?pag=20>. [Último acceso: 25 11 2021].
- [5] Armada del Ecuador, «Armada del Ecuador: Misión,» [En línea]. Available: [https://www.armada.mil.ec/?page\\_id=39095](https://www.armada.mil.ec/?page_id=39095).
- [6] Eltelegrafo, «Eltelegrafo,» [En línea]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/judicial/12/armadas-guardacostas>. [Último acceso: 25 11 2021].
- [7] MALEBO, «Manual legal de bolsillo guardacostas,» Guayaquil, 2017.
- [8] G. Castanheira, M. Monteiro y V. Lobo, «UNMANNED AERIAL VEHICLES IN THE NAVY: ITS BENEFITS,» "Mircea cel Batran" Naval Academy Press, Constanta, 2015.
- [9] E. Balestrieri, P. Daponte, L. De Vito y F. Lamonaca, «Sensors and Measurements for Unmanned Systems: An Overview,» MDPI, Basel, 2021.
- [10] BBC Mundo, «Así será el primer auto no tripulado de Google,» 22 Diciembre 2014. [En línea]. Available: [https://www.bbc.com/mundo/ultimas\\_noticias/2014/12/141222\\_ultnot\\_google\\_auto\\_no\\_tripulado\\_prototipo\\_jg](https://www.bbc.com/mundo/ultimas_noticias/2014/12/141222_ultnot_google_auto_no_tripulado_prototipo_jg). [Último acceso: 20 Noviembre 2021].
- [11] M. G. Rodríguez, «Diseño de un sistema de control remoto para drones industriales,» Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, 2020.

- [12] V. Becerra, «Autonomous Control of Unmanned Aerial Vehicles,» MDPI, Portmsouth, 2019.
- [13] Synopsys, «The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained,» [En línea]. Available: <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>. [Último acceso: 01 Noviembre 2021].
- [14] B. Pearson, «Journal of Petroleum Technology,» 02 Noviembre 2021. [En línea]. Available: Tech Director's Column: Thoughts About Unmanned Vehicles, Drones, and Robots. [Último acceso: 07 Noviembre 2021].
- [15] L. Chang-won, «Aja Businnes Daily: Hanwha Defense upgrades multi-purpose unmanned ground vehicle for overseas sales,» 31 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.ajudaily.com/view/20210331095546560>. [Último acceso: 20 Noviembre 2021].
- [16] Embention, «USV (Unmanned Surface Vehicle), aplicaciones y ventajas,» 18 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.embention.com/es/news/usv-sus-aplicaciones-y-ventajas/>.
- [17] Army Technology, «Army Technology,» 2 11 2021. [En línea]. Available: <https://www.army-technology.com/projects/rq-11-raven/>.
- [18] F. Ortiz , A. Guerrero, F. Sánchez-Ledesma, F. García-Córdova, D. Alonso y J. Gilabert, «Diseño del software de control de un UUV para monitorización oceanográfica usando un modelo de componentes y framework con despliegue flexible,» ScienceDirect, Cartagena, 2015.
- [19] Naval Technology, «Naval Technology: REMUS 300 Unmanned Underwater Vehicle (UUV),» 2021. [En línea]. Available: <https://www.naval-technology.com/projects/remus-300-unmanned-underwater-vehicle-uuv/>. [Último acceso: 20 Noviembre 201].
- [20] Aviación Online, «Aviacion Online,» 02 11 2021. [En línea]. Available: <https://www.aviaciononline.com/2021/04/el-ejercito-argentino-licita-la-compra-de-drones-tacticos/>.
- [21] Info Defensa, «Info Defensa,» 2 11 2021. [En línea]. Available: <https://www.infodefensa.com/texto-diario/mostrar/3166028/navantia-pone-prueba-usv-vendaval-unas-maniobras-otan-portugal>.

- [22] Guiadrones, «Guiadrones,» [En línea]. Available: <https://guiadrones.com/base-de-conocimiento/como-funcionan-los-motores-de-drones/#:~:text=Los%20cuadric%C3%B3pteros%20utilizan%20la%20velocidad,a%20trav%C3%A9s%20de%20las%20h%C3%A9lices..> [Último acceso: 01 12 2021].
- [23] M. Ingenieros, «Motor Brushless».
- [24] V. Rangel, «Modelado y Control de un Hexarotor,» México, 2017.
- [25] E. Koslosky, M. Wehrmeister, J. Fabro y A. De Oliveira, «Designing with Computational Intelligence,» Springer, Cham, 2016.
- [26] P. Dávila, J. Orna, A. Rosales y E. Ávalos, «Diseño, construcción de la estructura mecánica y pruebas de vuelo de un hexacóptero de monitoreo para aplicaciones militares,» Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, 2017.
- [27] Bilogistik S.A, «Tipos de buque según su tamaño,» 22 Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.bilogistik.com/blog/tipos-buque-segun-tamano/>. [Último acceso: 26 Noviembre 2021].
- [28] Greenlane, «Conocer la densidad del aire en condiciones normales,» 24 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://www.greelane.com/es/ciencia-tecnolog%C3%ADa-matem%C3%A1ticas/ciencia/density-of-air-at-stp-607546/>. [Último acceso: 26 Noviembre 2021].
- [29] Crushtymks, «Factor de servicio del motor (SF) definido por NEMA,» [En línea]. Available: <https://crushtymks.com/es/electric-motor/252-motor-service-factor-sf-defined-by-nema.html>. [Último acceso: 28 Noviembre 2021].
- [30] Ultralytics, «Ultralytics: About us,» 2021. [En línea]. Available: Ultralytics. [Último acceso: 01 Diciembre 2021].
- [31] G. Jocher, «Github: Ultralytics - YOLOv5,» [En línea]. Available: <https://github.com/ultralytics/yolov5>. [Último acceso: 01 Diciembre 2021].
- [32] Pytorch, «Pytorch,» [En línea]. Available: <https://pytorch.org/>. [Último acceso: 01 Diciembre 2021].
- [33] Weight & Biases, «Weight & Biases,» 2021. [En línea]. Available: <https://wandb.ai/site>. [Último acceso: 02 Diciembre 2021].

- [34] Google, «Google Colab: ¿Qué es Colaboratory?,» [En línea]. Available: <https://colab.research.google.com/notebooks/welcome.ipynb?hl=es>. [Último acceso: 05 Diciembre 2021].
- [35] Z. Akhlak Uz y R. Razwanul, «Drone Ground Control Station with Enhanced Safety Features,» 2nd International Conference for Convergence in Technology, Bangladesh, 2017.
- [36] MAVLink, «MAVLink Developer Guide,» 2021. [En línea]. Available: <https://mavlink.io/en/>. [Último acceso: 14 Diciembre 2021].
- [37] Convertronic Electrónica Profesional Española, «INFORMÁTICA INDUSTRIAL: Hexacóptero H520 para entornos profesionales,» 2021. [En línea]. Available: <https://convertronic.net/mas-sistemas/informatica-industrial/6586-hexacoptero-h520-para-entornos-profesionales.html>. [Último acceso: 07 Noviembre 2021].
- [38] A. d. Ecuador, «Armada del Ecuador,» [En línea]. Available: [https://www.armada.mil.ec/?page\\_id=39122](https://www.armada.mil.ec/?page_id=39122). [Último acceso: 25 11 2021].

# APÉNDICES

# APÉNDICE A

## Modelo matemático

### Cinemática

La ecuación A.1 define un vector de estados traslacionales que permite describir la posición del sistema de referencia del cuerpo con relación al sistema de referencia de la tierra, los cuales son relativos al centro de masa del UAV de seis rotores. [24]

$$\xi = (x, y, z) \in R^3 \quad (\text{A.1})$$

Mientras que la ecuación A.2, define la orientación y comportamiento mediante el vector de estados rotacionales relativos a los ángulos de Euler.

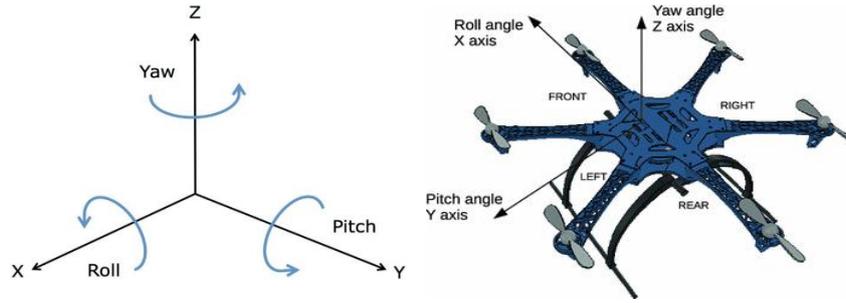
$$\eta = (\varphi, \theta, \psi) \in R^3 \quad (\text{A.2})$$

Luego se obtiene el vector de estados principales  $q$  como se observa en la ecuación A.3

$$q = (x, y, z, \varphi, \theta, \psi) \quad (\text{A.3})$$

### Matrices de rotación

El UAV de 6 rotores presenta los mismos movimientos básicos que otro tipo de aeronave, los cuales son: *Roll*, *Pitch* y *Yaw*. [24]



**Figura A.1 Movimientos básicos de un dron [25]**

A partir de estos movimientos se definen las respectivas matrices con la finalidad de transformar las cantidades lineales del sistema de referencia de la tierra al sistema de referencia del hexacóptero.

A continuación, se presentan las matrices de rotación para los movimientos básicos del vehículo no tripulado; *roll* ( $\varphi$ ), *pitch* ( $\theta$ ), *yaw* ( $\psi$ ):

$$R(x, \varphi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\varphi & \sin\varphi \\ 0 & -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (\text{A.4})$$

$$R(y, \theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (\text{A.5})$$

$$R(z, \psi) = \begin{bmatrix} \cos\psi & \sin\psi & 0 \\ -\sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{A.6})$$

Finalmente, se obtiene la matriz de rotación total del hexacóptero, la cual permitirá transformar cualquier cantidad desde el sistema de referencia de la tierra al sistema de referencia del UAV.

Esta matriz se obtiene multiplicando cada una de las matrices de rotación de los 3 movimientos  $R(x, \varphi)$ ,  $R(y, \theta)$  y  $R(z, \psi)$ .

$$R = R_{x,\varphi} R_{y,\theta} R_{z,\psi}$$

$$R(\varphi, \theta, \psi) = \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & \sin\psi\cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta\cos\psi - \sin\psi\cos\varphi & \sin\theta\sin\psi\sin\varphi + \cos\psi\cos\varphi & \cos\theta\sin\varphi \\ \sin\theta\cos\psi\cos\varphi + \sin\psi\sin\varphi & \sin\theta\cos\varphi\sin\psi - \cos\psi\sin\varphi & \cos\theta\cos\varphi \end{bmatrix} \quad (\text{A.7})$$

## Dinámica

Con el objetivo de estudiar la dinámica del vehículo aéreo no tripulado de 6 rotores, se separó este análisis en dos partes: dinámica traslacional, que describe el movimiento de traslación del hexacóptero sobre los 3 ejes, y dinámica rotacional, donde se representó el movimiento de rotación de los 3 movimientos básicos del UAV (roll, pitch y yaw). [24]

### *Dinámica Traslacional*

Considerando la aplicación del método Euler-Lagrange, se obtuvo la dinámica traslacional del dron.

En primer lugar, se obtuvo el lagrangiano de acuerdo con la ecuación A.8. Donde  $T$  es la energía cinética y  $U$  es la energía potencial del sistema.

$$L = T - U \quad (\text{A.8})$$

Reemplazando con el vector de posición angular ( $\xi$ ), la masa ( $m$ ), la gravedad ( $g$ ) y la altura representada por el eje  $z$  ( $z$ ), se obtiene la siguiente ecuación:

$$L = \frac{1}{2}m\dot{\xi}^T\dot{\xi} - mgz \quad (\text{A.9})$$

Empleando las siguientes ecuaciones, se obtiene la dinámica del hexacóptero mediante una función de fuerzas generalizadas [24]:

$$\frac{d}{dt} \frac{\delta L}{\delta \dot{\xi}} - \frac{\delta L}{\delta \xi} = F_{\xi} \quad (\text{A.10})$$

$$F_{\xi} = F_R R \quad (\text{A.11})$$

$$F_R = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ u \end{bmatrix} \quad (\text{A.12})$$

Reemplazando las ecuaciones A.7 y A.12 en A.11 se obtiene:

$$F_\xi = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & \sin\psi\cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta\cos\psi - \sin\psi\cos\varphi & \sin\theta\sin\psi\sin\varphi + \cos\psi\cos\varphi & \cos\theta\sin\varphi \\ \sin\theta\cos\psi\cos\varphi + \sin\psi\sin\varphi & \sin\theta\cos\varphi\sin\psi - \cos\psi\sin\varphi & \cos\theta\cos\varphi \end{bmatrix}$$

Al resolver el álgebra lineal:

$$F_\xi = u \begin{bmatrix} -\sin\theta \\ \cos\theta\sin\varphi \\ \cos\theta\cos\varphi \end{bmatrix}$$

Se sustituyó la ecuación A.9 en A.10 y se resolvió la ecuación:

$$m\ddot{\xi} + mg = F_\xi$$

$$m \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \\ \ddot{z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{bmatrix} = u \begin{bmatrix} -\sin\theta \\ \cos\theta\sin\varphi \\ \cos\theta\cos\varphi \end{bmatrix}$$

Finalmente, se obtienen las siguientes ecuaciones que representan el movimiento traslacional del hexacóptero:

$$\ddot{x} = -\frac{1}{m}\sin\theta u \quad (\text{A.13})$$

$$\ddot{y} = \frac{1}{m}\cos\theta\sin\varphi u \quad (\text{A.14})$$

$$\ddot{z} = -g + \frac{1}{m}\cos\theta\cos\varphi u \quad (\text{A.15})$$

## ***Dinámica Rotacional***

Para obtener la dinámica rotacional del vehículo aéreo no tripulado de 6 rotores se empleó el método de Newton-Euler, de acuerdo con la ecuación base que se muestra a continuación: [24]

$$J\ddot{\eta} = -\dot{\eta} \times J\dot{\eta} + F_{ext} \quad (\text{A.16})$$

La ecuación A.16 describe el producto vectorial entre el vector de estados rotacionales  $y = (\varphi, \theta, \psi)$  y la matriz diagonal de inercia, donde  $I_x, I_y, I_z$  son los momentos de inercia del hexacóptero.

$$J = \text{diag} [I_x, I_y, I_z] \quad (\text{A.17})$$

A continuación, se muestra la matriz de fuerzas externas que se presentan en el movimiento rotacional del vehículo aéreo no tripulado.

$$F_{ext} = \begin{bmatrix} -J_p \Omega \\ J_p \Omega \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l\tau_\varphi \\ l\tau_\theta \\ l\tau_\psi \end{bmatrix} \quad (\text{A.18})$$

Donde:

$J_p$  = Inercia del rotor propulsor

$\Omega$  = Perturbaciones de entrada causadas por los torques

$l$  = Longitud

$\tau_\varphi$  = Torque en roll

$\tau_\theta$  = Torque en pitch

$\tau_\psi$  = Torque en yaw

Al sustituir las ecuaciones A.17 y A.18 en A.16 se obtiene cada uno de los torques de control correspondientes a los 3 movimientos básicos del UAV.

$$\begin{bmatrix} \ddot{\varphi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x & 0 & 0 \\ 0 & I_y & 0 \\ 0 & 0 & I_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -J_p \Omega \\ J_p \Omega \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} l \tau_\varphi \\ l \tau_\theta \\ l \tau_\psi \end{bmatrix} \quad (\text{A.19})$$

Finalmente, al desarrollar el álgebra lineal de la ecuación A.19 se obtiene las ecuaciones dinámicas de rotación:

$$\ddot{\varphi} = \dot{\theta} \dot{\psi} \frac{(I_y - I_z)}{I_x} - \frac{J_p}{I_x} \Omega + \frac{l}{I_x} \tau_\varphi \quad (\text{A.20})$$

$$\ddot{\theta} = \dot{\varphi} \dot{\psi} \frac{(I_x - I_z)}{I_y} + \frac{J_p}{I_y} \Omega + \frac{l}{I_y} \tau_\theta \quad (\text{A.21})$$

$$\ddot{\psi} = \dot{\theta} \dot{\varphi} \frac{(I_y - I_x)}{I_z} + \frac{l}{I_z} \tau_\psi \quad (\text{A.22})$$

## APÉNDICE B

### Código de ejecución software de detección de objetos

El siguiente código fue adaptado a las necesidades del proyecto de identificación de objetos como armas, personas, animales y sustancias sujetas a fiscalización, a partir del código fuente incluido por defecto en YOLOV5[31], se hicieron cambios y se agregó la interfaz para el empleo por parte del usuario final.

```
"""
Usage:
$ python path/to/detect.py --weights yolov5s.pt --source 0 # PRUEBAS EN TIEMPO
REAL POR MEDIO DEL EMPLEO DE WEBCAM
image.jpg # DETECCIÓN A PARTIR DE
IMÁGENES
video.mp4 # DETECCIÓN A PARTIR DE VIDEOS
path/ # DIRECTORIO DE ARCHIVOS
path/*.jpg # DIRECTORIO GLOBAL
'https://youtu.be/Zgi9g1ksQHc' # PRUEBAS DE
DETECCIÓN A PARTIR DE VIDEO DE YOUTUBE
'rtsp://example.com/media.mp4' # RTSP, RTMP,
HTTP STREAM
"""

import argparse
import os
import sys
from pathlib import Path

#LIBRERÍA TKINDER EMPLEADA EN EL FORMATO DE LA INTERFAZ GRÁFICA
from tkinter import *
import tkinter.font as font
from PIL import ImageTk, Image

#LIBRERÍA CV2 PARA EL EMPLEO DE IMÁGENES EN LA INTERFAZ
import cv2
import torch
import torch.backends.cudnn as cudnn

#RUTA DEL DIRECTORIO DEL MODELO ENTRENADO DE DETECCIÓN DE
OBJETOS
FILE = Path(__file__).resolve()
ROOT = FILE.parents[0] # YOLOv5 root directory
if str(ROOT) not in sys.path:
    sys.path.append(str(ROOT)) # add ROOT to PATH
```

```
ROOT = Path(os.path.relpath(ROOT, Path.cwd())) # relative
```

```
from models.common import DetectMultiBackend
from utils.datasets import IMG_FORMATS, VID_FORMATS, LoadImages, LoadStreams
from utils.general import (LOGGER, check_file, check_img_size, check_imshow,
                           check_requirements, colorstr,
                           increment_path, non_max_suppression, print_args, scale_coors,
                           strip_optimizer, xyxy2xywh)
from utils.plots import Annotator, colors, save_one_box
from utils.torch_utils import select_device, time_sync
```

### **#FUNCIÓN DE INICIO DEL PROGRAMA DE DETECCIÓN**

```
def iniciar():
    opt = parse_opt()
    main(opt)
```

### **#FUNCIÓN DE FINALIZACIÓN DEL PROGRAMA DE DETECCIÓN**

```
def finalizar():
    sys.exit("Programa finalizado")
```

```
@torch.no_grad()
```

### **#FUNCIÓN PARA LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DE DETECCIÓN PARÁMETROS Y CARACTERÍSTICAS**

```
def run(weights=ROOT / 'yolov5s.pt', # model.pt path(s)
        source=ROOT / 'data/images', # file/dir/URL/glob, 0 PARA WEBCAM
        imgsz=640, # TAMAÑO EN PÍXELES
        conf_thres=0.25, # UMBRAL DE CONFIANZA
        iou_thres=0.45, # NMS IOU LÍMITE
        max_det=1000, # DETECCIÓNES MÁXIMAS POR IMAGEN
        device="", # CUDA DEVICE, I.E. 0 OR 0,1,2,3 OR CPU
        view_img=False, # MOSTRAR RESULTADOS
        save_txt=False, # GUARDAR RESULTADOS EN *.TXT
        save_conf=False, # GUARDAR CONFIDENCIAS EN ETIQUETAS --SAVE-TXT
        save_crop=False, # GUARDAR CUADROS DE PREDICCIÓN RECORTADOS
        nosave=False, # NO GUARDAR IMÁGENES/VIDEOS
        classes=None, # filter by class: --class 0, or --class 0 2 3
        agnostic_nms=False, # class-agnostic NMS
        augment=False, # augmented inference
        visualize=False, # VISUALIZAR CARACTERÍSTICAS
        update=False, # ACTUALIZAR TODOS LOS MODELOS
        project=ROOT / 'runs/detect', # GUARDAR RESULTADOS EN
        PROYECTO/NOMBRE
        name='exp', # GUARDAR RESULTADOS EN PROYECTO/NOMBRE
        exist_ok=False, # PROYECTO/NOMBRE EXISTENTE OK, NO INCREMENTAR
        line_thickness=3, # Grosor del cuadro delimitador (píxeles)
        hide_labels=False, # OCULTAR ETIQUETAS
        hide_conf=False, # OCULTAR CONFIDENCIAS
        half=False, # UTILIZAR LA INFERENCIA DE PRECISIÓN MEDIA FP16
        dnn=False, # EMPLEO OPENCV DNN PARA LA INFERENCIA ONNX
    ):
```

```

source = str(source)
save_img = not nosave and not source.endswith('.txt') # GUARDAR IMÁGENES DE
INFERENCIA
is_file = Path(source).suffix[1:] in (IMG_FORMATS + VID_FORMATS)
is_url = source.lower().startswith(('rtsp://', 'rtmp://', 'http://', 'https://'))
webcam = source.isnumeric() or source.endswith('.txt') or (is_url and not is_file)
if is_url and is_file:
    source = check_file(source) # DESCARGA

# DIRECTORIOS
save_dir = increment_path(Path(project) / name, exist_ok=exist_ok) # EJECUCIÓN
DE INCREMENTO
(save_dir / 'labels' if save_txt else save_dir).mkdir(parents=True, exist_ok=True) #
REALIZAR DIRECTORIO

# CARGAR MODELO
device = select_device(device)
model = DetectMultiBackend(weights, device=device, dnn=dnn)
stride, names, pt, jit, onnx = model.stride, model.names, model.pt, model.jit,
model.onnx
imgsz = check_img_size(imgsz, s=stride) # COMPROBAR EL TAMAÑO DE LA
IMAGEN

# MITAD DE LA PRECISIÓN
half &= pt and device.type != 'cpu' # LA MITAD DE LA PRECISIÓN SOLO ES
COMPATIBLE CON PYTORCH EN CUDA
if pt:
    model.model.half() if half else model.model.float()

# CARGADOR DE DATOS
if webcam:
    view_img = check_imshow()
    cudnn.benchmark = True # ESTABLEZCA TRUE PARA ACELERAR LA
INFERENCIA DE TAMAÑO DE IMAGEN CONSTANTE
    dataset = LoadStreams(source, img_size=imgsz, stride=stride, auto=pt and not jit)
    bs = len(dataset) # TAMAÑO DEL LOTE
else:
    dataset = LoadImages(source, img_size=imgsz, stride=stride, auto=pt and not jit)
    bs = 1 # TAMAÑO DEL LOTE
vid_path, vid_writer = [None] * bs, [None] * bs

# EJECUTAR INFERENCIA
if pt and device.type != 'cpu':
    model(torch.zeros(1,
                                                                    3,
*imgsz).to(device).type_as(next(model.model.parameters()))))
    dt, seen = [0.0, 0.0, 0.0], 0
    for path, im, im0s, vid_cap, s in dataset:
        t1 = time_sync()
        im = torch.from_numpy(im).to(device)
        im = im.half() if half else im.float() # uint8 to fp16/32

```

```

im /= 255 # 0 - 255 to 0.0 - 1.0
if len(im.shape) == 3:
    im = im[None] # EXPANDIR PARA ATENUACIÓN POR LOTES
t2 = time_sync()
dt[0] += t2 - t1

# INFERENCIA
visualize = increment_path(save_dir / Path(path).stem, mkdir=True) if visualize else
False
pred = model(im, augment=augment, visualize=visualize)
t3 = time_sync()
dt[1] += t3 - t2

# NMS
pred = non_max_suppression(pred, conf_thres, iou_thres, classes, agnostic_nms,
max_det=max_det)
dt[2] += time_sync() - t3

# PROCESAR PREDICCIONES
for i, det in enumerate(pred): # POR IMAGEN
    seen += 1
    if webcam: # batch_size >= 1
        p, im0, frame = path[i], im0s[i].copy(), dataset.count
        s += f'{i}: '
    else:
        p, im0, frame = path, im0s.copy(), getattr(dataset, 'frame', 0)

    p = Path(p) # A la ruta
    save_path = str(save_dir / p.name) # IM.JPG
    txt_path = str(save_dir / 'labels' / p.stem) + (' if dataset.mode == 'image' else
f'_{frame}') # IM.TXT
    s += '%gx%g ' % im.shape[2:]
    gn = torch.tensor(im0.shape)[[1, 0, 1, 0]] # normalization gain whwh
    imc = im0.copy() if save_crop else im0 # for save_crop
    annotator = Annotator(im0, line_width=line_thickness, example=str(names))
    if len(det):
        # Rescale boxes from img_size to im0 size
        det[:, :4] = scale_coords(im.shape[2:], det[:, :4], im0.shape).round()

# MOSTRAR RESULTADOS
for c in det[:, -1].unique():
    n = (det[:, -1] == c).sum() # detections per class
    s += f"{n} {names[int(c)]}'s' * (n > 1)}, " # add to string

# ESCRIBIR RESULTADOS
for *xyxy, conf, cls in reversed(det):
    if save_txt: # Write to file
        xywh = (xyxy2xywh(torch.tensor(xyxy).view(1, 4)) / gn).view(-1).tolist()

```

```

line = (cls, *xywh, conf) if save_conf else (cls, *xywh) # FORMATO DE
ETIQUETA
with open(txt_path + '.txt', 'a') as f:
    f.write(('%g ' * len(line)).rstrip() % line + '\n')

if save_img or save_crop or view_img: # AGREGAR BBOX A LA IMAGEN
    c = int(cls) # CLASE INTEGER
    label = None if hide_labels else (names[c] if hide_conf else f'{names[c]}
{conf:.2f}')
    annotator.box_label(xyxy, label, color=colors(c, True))
    if save_crop:
        save_one_box(xyxy, imc, file=save_dir / 'crops' / names[c] /
f'{p.stem}.jpg', BGR=True)

# TIEMPO DE IMPRESIÓN (SOLO INFERENCIA)
LOGGER.info(f'{s}Done. ({t3 - t2:.3f}s)')

# TRANSMITIR RESULTADOS
im0 = annotator.result()
if view_img:
    cv2.imshow('Deteccion Hexacoptero', im0)
    cv2.waitKey(1) # 1 millisecond

# GUARDAR RESULTADOS (IMAGEN CON DETECCIONES)
if save_img:
    if dataset.mode == 'image':
        cv2.imwrite(save_path, im0)
    else: # 'video' or 'stream'
        if vid_path[i] != save_path: # NUEVO VIDEO
            vid_path[i] = save_path
            if isinstance(vid_writer[i], cv2.VideoWriter):
                vid_writer[i].release()
            if vid_cap: # VIDEO
                fps = vid_cap.get(cv2.CAP_PROP_FPS)
                w = int(vid_cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH))
                h = int(vid_cap.get(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT))
            else: # TRANSMISIÓN
                fps, w, h = 30, im0.shape[1], im0.shape[0]
            save_path += '.mp4'
            vid_writer[i] = cv2.VideoWriter(save_path,
cv2.VideoWriter_fourcc(*'mp4v'), fps, (w, h))
            vid_writer[i].write(im0)

# IMPRIMIR RESULTADOS
t = tuple(x / seen * 1E3 for x in dt) # VELOCIDAD POR IMAGEN
LOGGER.info(f'Speed: %.1fms pre-process, %.1fms inference, %.1fms NMS per
image at shape {(1, 3, *imgsz)}' % t)
if save_txt or save_img:
    s = f"\n{len(list(save_dir.glob('labels/*.txt')))} labels saved to {save_dir / 'labels'}" if
save_txt else ""

```

```
    LOGGER.info(f"Results saved to {colorstr('bold', save_dir)}{s}")
if update:
    strip_optimizer(weights) # MODELO DE ACTUALIZACIÓN
```

```
def parse_opt():
    parser = argparse.ArgumentParser()
    parser.add_argument('--weights', nargs='+', type=str, default=ROOT / 'yolov5s.pt',
help='model path(s)')
    parser.add_argument('--source', type=str, default=ROOT / 'data/images',
help='file/dir/URL/glob, 0 for webcam')
    parser.add_argument('--imgsz', '--img', '--img-size', nargs='+', type=int, default=[640],
help='inference size h,w')
    parser.add_argument('--conf-thres', type=float, default=0.25, help='confidence
threshold')
    parser.add_argument('--iou-thres', type=float, default=0.45, help='NMS IoU threshold')
    parser.add_argument('--max-det', type=int, default=1000, help='maximum detections
per image')
    parser.add_argument('--device', default="", help='cuda device, i.e. 0 or 0,1,2,3 or cpu')
    parser.add_argument('--view-img', action='store_true', help='show results')
    parser.add_argument('--save-txt', action='store_true', help='save results to *.txt')
    parser.add_argument('--save-conf', action='store_true', help='save confidences in --
save-txt labels')
    parser.add_argument('--save-crop', action='store_true', help='save cropped prediction
boxes')
    parser.add_argument('--nosave', action='store_true', help='do not save
images/videos')
    parser.add_argument('--classes', nargs='+', type=int, help='filter by class: --classes 0,
or --classes 0 2 3')
    parser.add_argument('--agnostic-nms', action='store_true', help='class-agnostic
NMS')
    parser.add_argument('--augment', action='store_true', help='augmented inference')
    parser.add_argument('--visualize', action='store_true', help='visualize features')
    parser.add_argument('--update', action='store_true', help='update all models')
    parser.add_argument('--project', default=ROOT / 'runs/detect', help='save results to
project/name')
    parser.add_argument('--name', default='exp', help='save results to project/name')
    parser.add_argument('--exist-ok', action='store_true', help='existing project/name ok,
do not increment')
    parser.add_argument('--line-thickness', default=3, type=int, help='bounding box
thickness (pixels)')
    parser.add_argument('--hide-labels', default=False, action='store_true', help='hide
labels')
    parser.add_argument('--hide-conf', default=False, action='store_true', help='hide
confidences')
    parser.add_argument('--half', action='store_true', help='use FP16 half-precision
inference')
    parser.add_argument('--dnn', action='store_true', help='use OpenCV DNN for ONNX
inference')
    opt = parser.parse_args()
```

```
opt.imgsz *= 2 if len(opt.imgsz) == 1 else 1 # expand
print_args(FILE.stem, opt)
return opt
```

## **#FUNCIÓN MAIN PARA LA EJECUCIÓN DEL PROGRAMA DE DETECCIÓN**

```
def main(opt):
    check_requirements(exclude=('tensorboard', 'thop'))
    run(**vars(opt))
```

```
if __name__ == "__main__":
    cap = None
```

## **#INTERFAZ EMPLEADA POR EL USUARIO FINAL**

```
ventana = Tk()
ventana.title('Detección Armada del Ecuador')
ventana.geometry('460x460')
myFont = font.Font(family='Helvetica', size=12, weight='bold')

lbl = Label(ventana, text="DETECCIÓN DE VEHÍCULO NO TRIPULADO", font=("Arial",
15))
lbl.config(bg = "red")
lbl.pack()
```

## **#LOGOTIPO ARMADA DEL ECUADOR**

```
ventana.iconbitmap(r'C:\Users\jochu\Desktop\yolov5-master\escudoarmada.ico')
```

## **# SE CREA LA IMAGEN Y SE ASIGNA CUALQUIER WIDGET O ELEMENTO DE TKINTER**

```
imagen = ImageTk.PhotoImage(Image.open(r'C:\Users\jochu\Desktop\yolov5-
master\interfaz.jpg').resize((320, 320)))
```

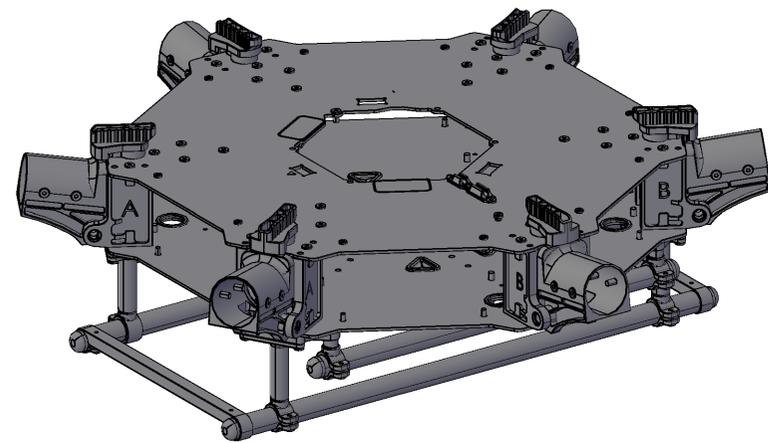
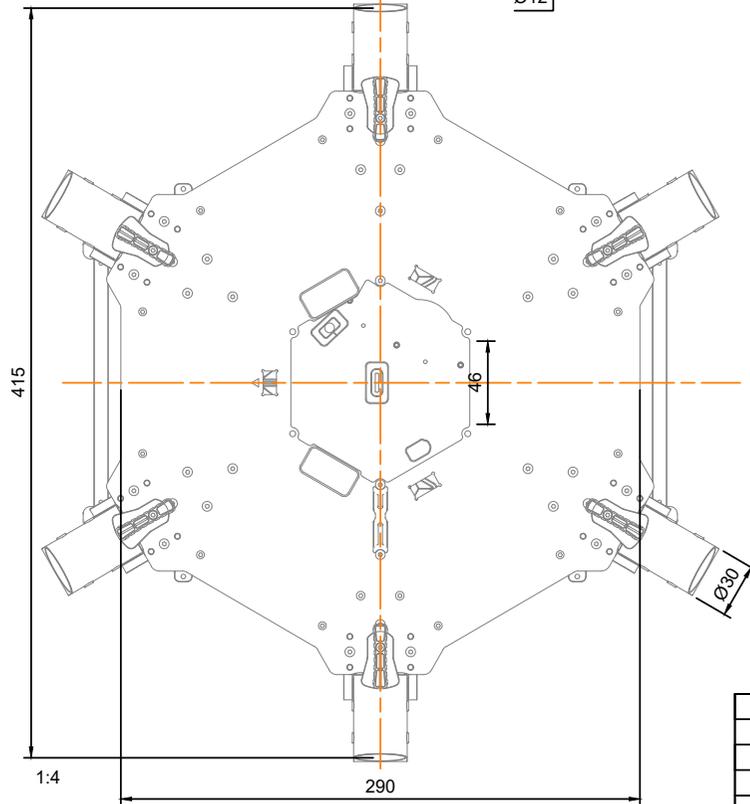
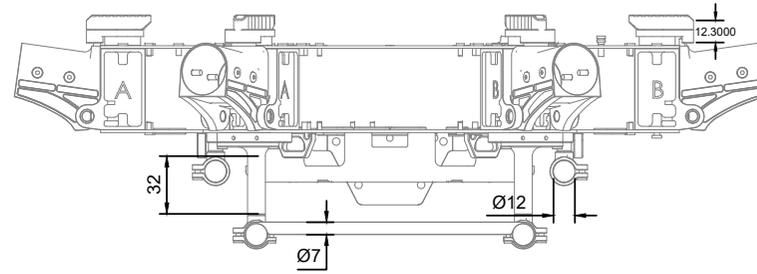
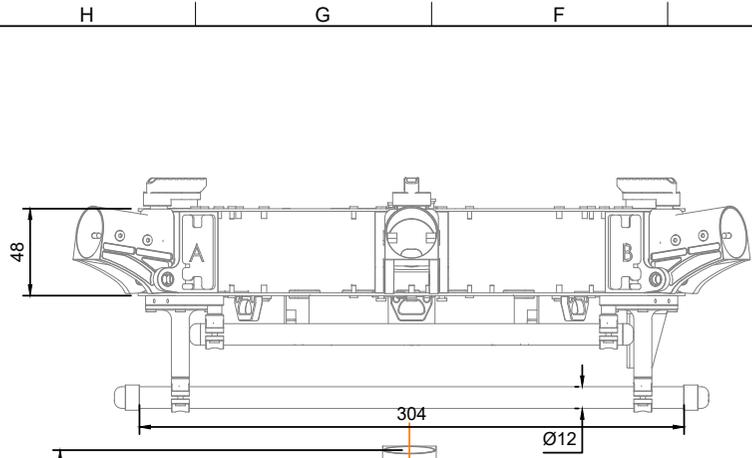
## **# PARÁMETROS DE LA INTERFAZ**

```
lblImagen=Label(ventana,image=imagen).place(x="70",y="50")
btnIniciar = Button(ventana, text="Iniciar", width=25, command=iniciar)
btnIniciar.place(x="100",y="380")
btnIniciar['font'] = myFont
```

```
btnFinalizar = Button(ventana, text="Finalizar", width=25, command=finalizar)
btnFinalizar.place(x="100",y="420")
btnFinalizar['font'] = myFont
```

```
ventana.mainloop()
```

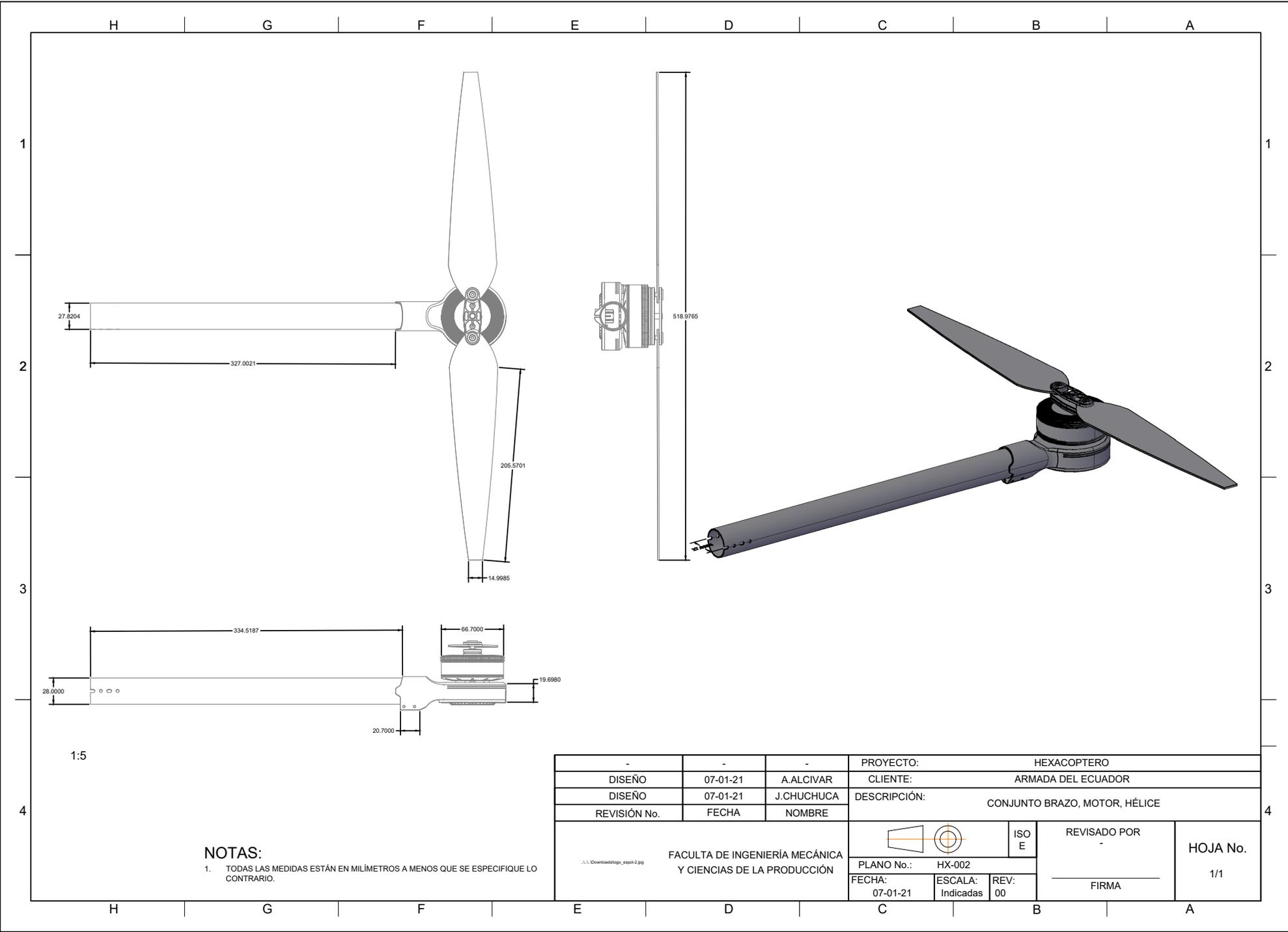
**APÉNDICE C**  
**Planos**



**NOTAS:**

1. TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN EN MILÍMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.

-	-	-	PROYECTO:	HEXACOPTERO			
DISEÑO	07-01-21	A.ALCIVAR	CLIENTE:	ARMADA DEL ECUADOR			
DISEÑO	07-01-21	J.CHUCHUCA	DESCRIPCIÓN:	ESTRUCTURA PRINCIPAL			
REVISIÓN No.	FECHA	NOMBRE					
FACULTA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN <small>...L...DownloadImage.aspx-2.jpg</small>					REVISADO POR	HOJA No.	
			PLANO No.:	HX-001	-		1/1
FECHA:	07-01-21	ESCALA:	Indicadas	REV:	00	FIRMA	



**NOTAS:**  
 1. TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN EN MILÍMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.

-	-	-	PROYECTO:	HEXACOPTERO	
DISEÑO	07-01-21	A.ALCIVAR	CLIENTE:	ARMADA DEL ECUADOR	
DISEÑO	07-01-21	J.CHUCHUCA	DESCRIPCIÓN:	CONJUNTO BRAZO, MOTOR, HÉLICE	
REVISIÓN No.	FECHA	NOMBRE			
FACULTA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN <small>...L...DownloadImage_aspp01-2.jpg</small>				REVISADO POR	HOJA No.
			PLANO No.: HX-002	-	
FECHA:	ESCALA:	REV:			
07-01-21	Indicadas	00	1/1		

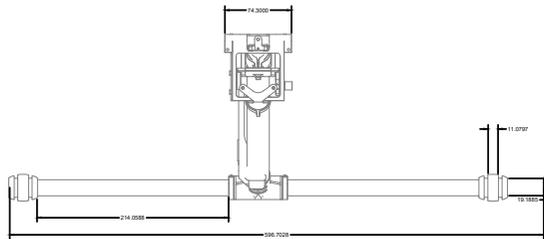
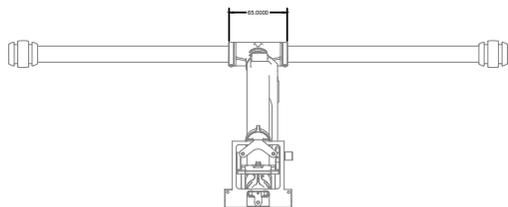
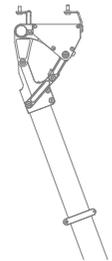
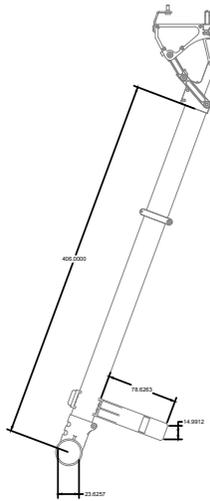
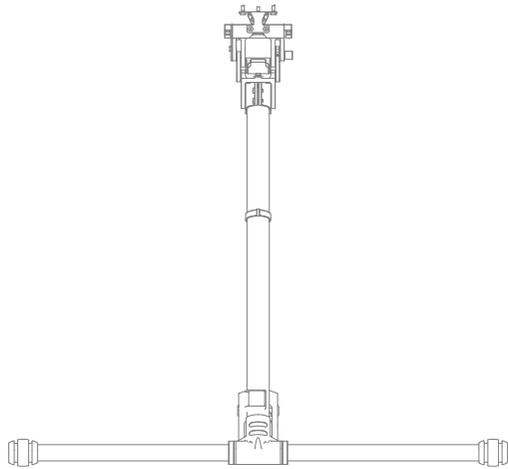
H G F E D C B A

1

2

3

4



1:8

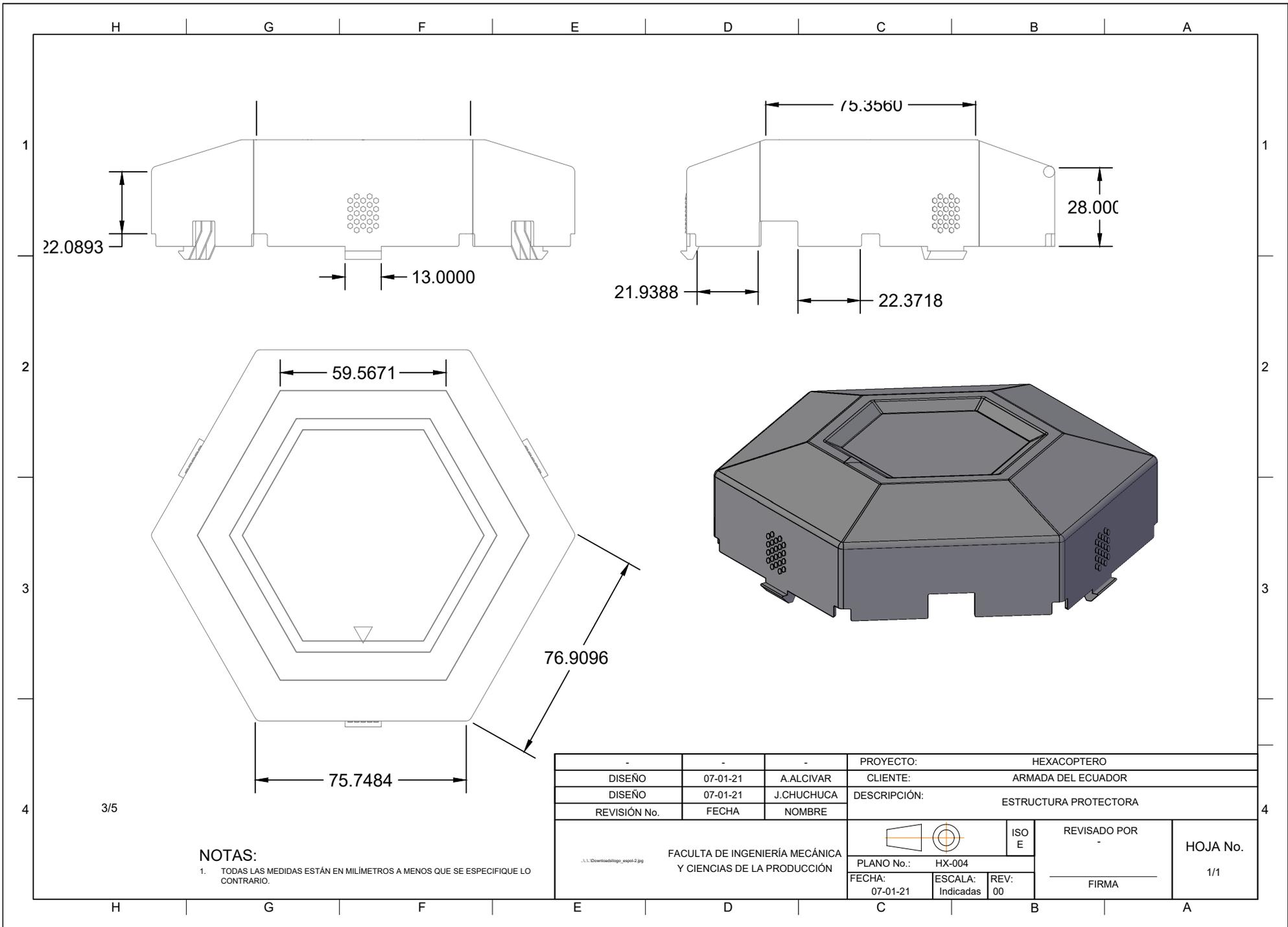
**NOTAS:**

1. TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN EN MILÍMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.



-	-	-	PROYECTO:	HEXACOPTERO	
DISEÑO	07-01-21	A.ALCIVAR	CLIENTE:	ARMADA DEL ECUADOR	
DISEÑO	07-01-21	J.CHUCHUCA	DESCRIPCIÓN:	TREN DE ATERRIZAJE	
REVISIÓN No.	FECHA	NOMBRE			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN <small>...L.L. Downloaded.jpg_aspp-2.jpg</small>			ISO E	REVISADO POR	HOJA No.
				FIRMA	
			PLANO No.:	HX-003	
			FECHA:	ESCALA:	REV:
			07-01-21	Indicadas	00

H G F E D C B A



3/5

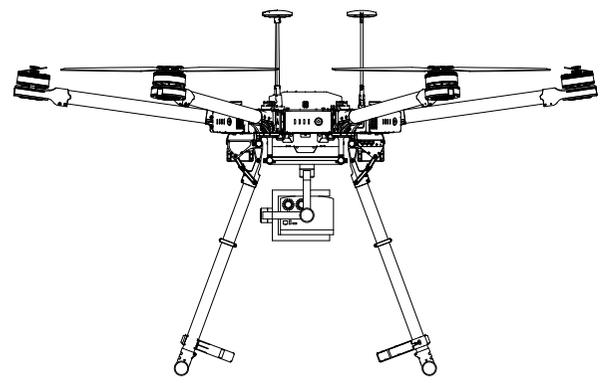
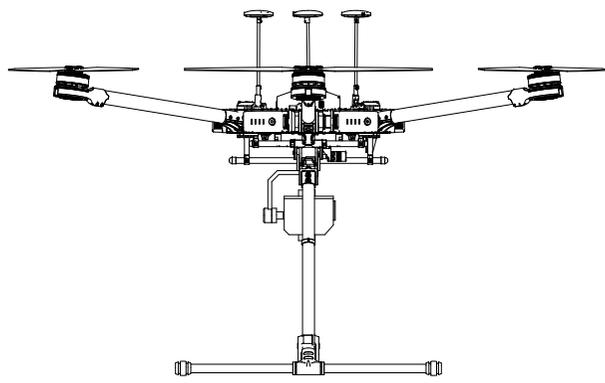
**NOTAS:**

1. TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN EN MILÍMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.

-	-	-	PROYECTO:	HEXACOPTERO	
DISEÑO	07-01-21	A.ALCIVAR	CLIENTE:	ARMADA DEL ECUADOR	
DISEÑO	07-01-21	J.CHUCHUCA	DESCRIPCIÓN:	ESTRUCTURA PROTECTORA	
REVISIÓN No.	FECHA	NOMBRE			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN				REVISADO POR	HOJA No.
			PLANO No.: HX-004	-	
FECHA:	ESCALA:	REV:	07-01-21	Indicadas	00
					1/1

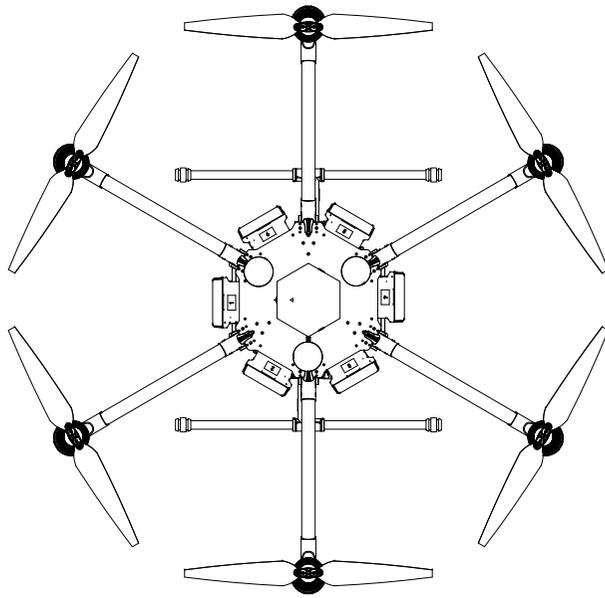
H G F E D C B A

1



1

2



2

3

3

4

1:15

**NOTAS:**  
 1. TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN EN MILÍMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.

-	-	-	PROYECTO:	HEXACOPTERO	
DISEÑO	07-01-21	A.ALCIVAR	CLIENTE:	ARMADA DEL ECUADOR	
DISEÑO	07-01-21	J.CHUCHUCA	DESCRIPCIÓN:	VISTA GENERAL	
REVISIÓN No.	FECHA	NOMBRE			
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			ISO E		REVISADO POR - _____ FIRMA
			PLANO No.: HX-005		
			FECHA: 07-01-21	ESCALA: Indicadas	REV: 00

H G F E D C B A

H

G

F

E

D

C

B

A

1

1

2

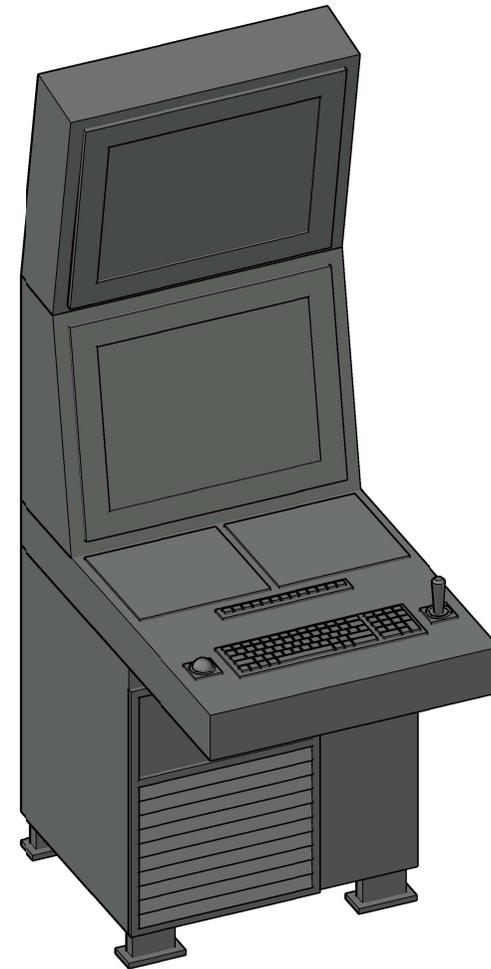
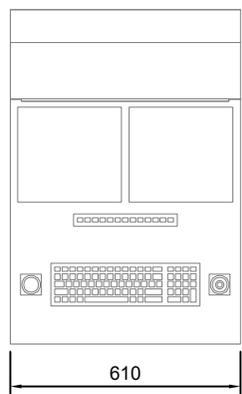
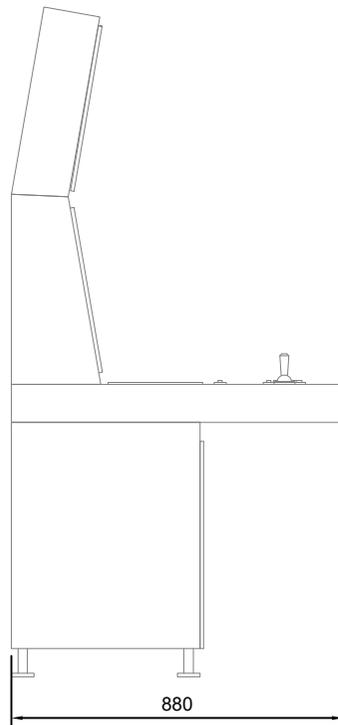
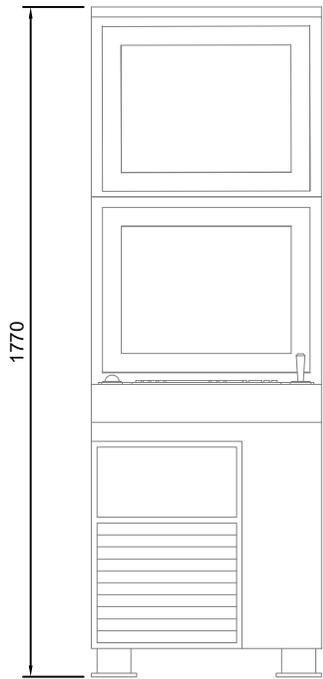
2

3

3

4

4



**NOTAS:**

1. TODAS LAS MEDIDAS ESTÁN EN MILÍMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO.

-	-	-	PROYECTO:	HEXACOPTERO		
DISEÑO	07-01-21	A.ALCIVAR	CLIENTE:	ARMADA DEL ECUADOR		
DISEÑO	07-01-21	J.CHUCHUCA	DESCRIPCIÓN:	CONSOLA DE CONTROL		
REVISIÓN No.	FECHA	NOMBRE				
 <b>espol</b> FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y CIENCIAS DE LA PRODUCCIÓN			 ISO E	REVISADO POR	HOJA No. 1/1	
				FIRMA		
PLANO No.: HX-006 FECHA: 07-01-21			ESCALA: Indicadas REV: 00			

H

G

F

E

D

C

B

A