

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACIÓN DE TECNÓLOGOS**

### **IMPLEMENTACIÓN DE UNA ESTRUCTURA Y UN SISTEMA FUNCIONAL DE UN DRON CUADRICÓPTERO PARA USO DIDÁCTICO EN LA ESFOT**

#### **TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA**

**Sebastian Joel Caza López**

sebastian.caza@epn.edu.ec

**Danny Alexander Villegas Villa**

danny.villegas@epn.edu.ec

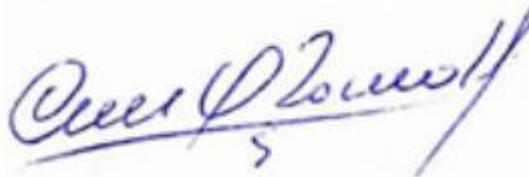
**DIRECTOR: ING. CARLOS ORLANDO ROMO HERRERA, MSC.**

carlos.romo@epn.edu.ec

**Quito, enero 2022**

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los Sres. Caza López Sebastian Joel y Villegas Villa Danny Alexander como requerimiento parcial a la obtención del título de TECNÓLOGO SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA, bajo mi supervisión:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carlos Orlando Romo Herrera', with a horizontal line drawn underneath it.

---

**Ing. Carlos Orlando Romo Herrera**  
**MSc**

DIRECTOR DEL PROYECTO

## DECLARACIÓN

Nosotros Caza López Sebastian Joel con CI: 1726725482 y Villegas Villa Danny Alexander con CI: 1726848482 declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Sin perjuicio de los derechos reconocidos en el primer párrafo del artículo 144 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación – COESC-, somos titulares de la obra en mención y otorgamos una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva de uso con fines académicos a la Escuela Politécnica Nacional.

Entregamos toda la información técnica pertinente, en caso de que hubiese una explotación comercial de la obra por parte de la EPN, se negociará los porcentajes de los beneficios conforme lo establece la normativa nacional vigente.



---

**Caza López Sebastian Joel**

CI: 1726725482

Teléfono: 0987882397

Correo: sebastian.caza@epn.edu.ec



---

**Villegas Villa Danny Alexander**

CI: 1726848482

Teléfono: 0968080325

Correo: danny.villegas@epn.edu.ec

## **DEDICATORIA**

A mi madre y a mi padre, por brindarme un apoyo incondicional y siempre llevarme por el buen camino.

A mis compañeros que siempre estuvieron presente y supieron brindarme de su ayuda durante mi carrera Universitaria.

**Caza Sebastian**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia por inculcarme una actitud llena de valores y principios, además de aconsejarme a seguir adelante a pesar de todas las dificultades.

A los docentes por brindarme parte de su conocimiento y preparación para una vida profesional.

A mis compañeros Danny y Saúl por el apoyo brindado durante la carrera universitaria.

A mi tutor por haberme guiado, apoyado, corregido y motivado en el presente trabajo de titulación.

A la Escuela de formación de tecnólogos por su dedicación a los estudiantes.

**Caza Sebastian**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación lo dedico a mi madre Rosa y a mis hermanos Guido, Mónica, Cristian y Kevin, por su apoyo incondicional en todos mis estudios y educarme con los principios y valores que los demostrare en toda mi vida.

**Danny Villegas**

## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre por su apoyo, cariño y enseñarme que todo en la vida se logra por el esfuerzo propio.

A mi hermana Mónica que es mi mayor influencia.

A mis hermanos que me brindan sus consejos y me apoyan constantemente.

A mis amigos y compañeros Sebastian y Saúl, por su apoyo en cada momento de la carrera universitaria.

A mis Docentes que supieron enseñarme y prepararme para poder ser un gran profesional.

**Danny Villegas**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	Introducción .....	14
1.1	Objetivo general .....	15
1.2	Objetivos específicos.....	15
1.3	Fundamentos.....	15
	Vehículos aéreos no tripulados (UAV) .....	15
	Sistema de comunicación .....	16
	Sistema de control .....	16
	Sistema de alimentación .....	17
	Sistema de propulsión .....	17
	Estación terrena.....	17
	Carga de pago.....	18
	Marco o Estructura .....	18
	Tipos de UAV .....	18
	Dron cuadricóptero .....	19
2	Metodología.....	22
2.1	Descripción de la metodología usada .....	22
3	Resultados y Discusión.....	23
3.1	Requerimientos para la implementación estructural y funcional de un dron ..	23
	Estructura comercial .....	23
	Selección de los materiales .....	25
	Requerimientos del sistema funcional.....	28
3.2	Esquema 3D de la estructura .....	34
3.3	Ensamble del dron cuadricóptero .....	36
	Presupuestos.....	36
	Ensamble Vista Estructural.....	38
	Configuración general de los dispositivos. ....	40
	Conexiones de los sistemas funcionales.....	44

Montaje de los sistemas funcionales.....	48
3.4 Pruebas y Análisis de Resultados.....	53
Prueba de comparación de peso estructural.....	53
Prueba de continuidad.....	54
Prueba de alimentación.....	55
Prueba de vuelo.....	57
3.5 Manual de Uso y Mantenimiento.....	58
4 Conclusiones y Recomendaciones.....	59
4.1 Conclusiones.....	59
4.2 Recomendaciones.....	60
5 Referencias Bibliográficas.....	62
ANEXOS.....	65
Anexo 1: Certificado de Funcionamiento.....	i
Anexo 2: Planos y Esquemas.....	iii

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Sistemas de un Dron.....	16
<b>Figura 1.2</b> Clasificación de los drones según la sustentación .....	19
<b>Figura 1.3</b> Configuración en equis .....	20
<b>Figura 1.4</b> Configuración en cruz .....	20
<b>Figura 1.5</b> Movimientos de un dron de ala rotatoria .....	21
<b>Figura 3.1</b> Partes del dron comercial FPVKing 500-X4 .....	24
<b>Figura 3.2.</b> Radio control FlySky FS-i6x .....	29
<b>Figura 3.3.</b> Receptor FS-IS6B .....	29
<b>Figura 3.4</b> Controlador de vuelo Pixhawk .....	30
<b>Figura 3.5</b> Batería LiPo 3s 2600 (mAh) .....	31
<b>Figura 3.6.</b> Módulo de poder .....	32
<b>Figura 3.7</b> Motores 2212 920 KV .....	32
<b>Figura 3.8</b> Controlador de velocidad (ESC) .....	33
<b>Figura 3.9</b> Hélices 1045 .....	34
<b>Figura 3.10</b> Diseño del prototipo implementado. ....	35
<b>Figura 3.11</b> Acople del brazo con las placas centrales.....	38
<b>Figura 3.12</b> Acople de placa de montaje de motor con brazo.....	39
<b>Figura 3.13</b> Acople del tren de aterrizaje al brazo de la estructura.....	39
<b>Figura 3.14</b> Estructura del dron cuadricóptero implementado. ....	40
<b>Figura 3.15</b> Diagrama de flujo de las configuraciones principales del dron .....	40
<b>Figura 3.16</b> Botones del radio control usados para la configuración.....	41
<b>Figura 3.17</b> Puerto B/VCC y PPM del receptor.....	41
<b>Figura 3.18</b> Enlace inicial .....	41
<b>Figura 3.19</b> Enlace establecido .....	41
<b>Figura 3.20</b> Enlace final .....	42
<b>Figura 3.21</b> Elementos fijos utilizados para la calibración de los ESCs .....	43
<b>Figura 3.22</b> Palanca y botón usado para la calibración de los ESCs.....	44
<b>Figura 3.23</b> Código QR de la configuración del sistema funcional.....	44
<b>Figura 3.24</b> Conexión motor CW.....	45
<b>Figura 3.25</b> Conexión motor CCW. ....	45
<b>Figura 3.26</b> Propelas para motores CW Y CCW. ....	45
<b>Figura 3.27</b> Conexión sistema de alimentación y sistema de propulsión.....	46
<b>Figura 3.28</b> Conexión sistema de control y sistema de alimentación.....	46

<b>Figura 3.29</b>	Conexión Sistema de Propulsión al Sistema de Control.....	47
<b>Figura 3.30</b>	Configuración dron cuadricóptero Quad +.....	47
<b>Figura 3.31</b>	Conexión receptor al controlador de vuelo. ....	48
<b>Figura 3.32</b>	Acople de la placa de fibra de vidrio a la placa central de la estructura. ...	48
<b>Figura 3.33</b>	Acople de la controladora de vuelo y el switch. ....	49
<b>Figura 3.34</b>	Acople del receptor y módulo de poder a la placa central inferior.....	49
<b>Figura 3.35</b>	Conexiones a la controladora de vuelo.....	50
<b>Figura 3.36</b>	Acople de los 3 primeros brazos. ....	50
<b>Figura 3.37</b>	Conexión de los ESC a la controladora de vuelo.....	51
<b>Figura 3.38</b>	Montaje completo de los brazos del dron. ....	51
<b>Figura 3.39</b>	Acople del motor a la placa de montaje de motor.....	51
<b>Figura 3.40</b>	Conexión de los motores al ESC.....	52
<b>Figura 3.41</b>	Acople de los motores a la estructura ....	52
<b>Figura 3.42</b>	Acople de la batería a la estructura ....	53
<b>Figura 3.43</b>	Dron cuadricóptero implementado con todos los sistemas funcionales ...	53
<b>Figura 3.44</b>	Medición del peso total de la estructura implementada ....	54
<b>Figura 3.45</b>	Prueba de vuelo del dron cuadricóptero implementado.....	57
<b>Figura 3.46</b>	Código QR del manual de uso del equipo ....	58
<b>Figura 3.47</b>	Código QR del manual de mantenimiento del equipo.....	58

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1</b>	Características principales del modelo comercial FPVKing 500-X4	24
<b>Tabla 3.2</b>	Características de las partes del modelo FPVKing 500-X4	25
<b>Tabla 3.3</b>	Características tubo cuadrado normalizado	25
<b>Tabla 3.4</b>	Especificaciones del material aluminio 6063 T5	26
<b>Tabla 3.5</b>	Dimensiones del tubo PVC circular normalizado	26
<b>Tabla 3.6</b>	Especificaciones del material PVC	26
<b>Tabla 3.7</b>	Especificación del material acrílico	27
<b>Tabla 3.8</b>	Dimensiones principales del tornillo M3	27
<b>Tabla 3.9.</b>	Dimensiones principales de tuercas M3	28
<b>Tabla 3.10.</b>	Dimensiones principales de arandela Grower	28
<b>Tabla 3.11</b>	Especificaciones del radio control	29
<b>Tabla 3.12</b>	Especificaciones del receptor	30
<b>Tabla 3.13</b>	Especificaciones del Pixhawk PX4	30
<b>Tabla 3.14</b>	Especificaciones de la batería LiPo	31
<b>Tabla 3.15</b>	Especificaciones del módulo de poder	32
<b>Tabla 3.16</b>	Especificaciones de los motores	33
<b>Tabla 3.17</b>	Especificaciones de los ESC.	33
<b>Tabla 3.18</b>	Especificaciones de las hélices	34
<b>Tabla 3.19</b>	Características de las partes del prototipo implementado.	35
<b>Tabla 3.20</b>	Materiales adquiridos.	36
<b>Tabla 3.21</b>	Elementos y dispositivos para los sistemas funcionales.	37
<b>Tabla 3.22</b>	Comprobación de la configuración de la controladora de vuelo	42
<b>Tabla 3.23</b>	Especificaciones del conector XT60	46
<b>Tabla 3.24</b>	Comparación del peso estructural	54
<b>Tabla 3.25</b>	Prueba de continuidad	55
<b>Tabla 3.26</b>	Mediciones de alimentación principales del dron	56

## RESUMEN

En el presente proyecto de titulación se implementó una estructura de dron cuadricóptero fabricada con materiales de fácil acceso, bajo costo, piezas de diseño simple y de fácil montaje, para lo cual se consideró como referencia una estructura comercial para el modelado de las piezas y se trabajó con perfiles de aluminio, láminas de acrílico y tubos PVC, de igual forma se implementó un hardware de control en código abierto para realizar modificaciones o adecuaciones a futuro. Además, la estructura fabricada servirá de manera didáctica en la Escuela de Formación de Tecnólogos (ESFOT) para motivar la incursión en temas relacionados con los UAV dado que es una tecnología con un gran crecimiento en la actualidad. El documento se divide en cinco capítulos detallados a continuación:

En el capítulo uno se explica las razones por las cuales se desarrolló este proyecto junto a la problemática que se busca solventar, el objetivo general, objetivos específicos y, además, los fundamentos necesarios para una mayor comprensión del documento.

En el capítulo dos se encuentra la metodología utilizada para cumplir con cada uno de los objetivos planteados.

En el capítulo tres detalla los resultados obtenidos para el diseño e implementación del proyecto cumpliendo con los objetivos específicos propuestos.

El capítulo cuatro expone las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

Finalmente, el capítulo cinco contiene las referencias bibliográficas utilizadas y anexos generados de este proyecto.

**PALABRAS CLAVE:** UAV, Dron, Cuadricóptero, Autopiloto, Batería, Hélice

## **ABSTRACT**

In the present degree project, a quadcopter drone structure was implemented, manufactured with materials that are easy to access, low cost, pieces of simple design and easy assembly, for which a commercial structure was considered as a reference for the modeling of the pieces and worked with aluminum profiles, acrylic sheets and PVC tubes, in the same way, open source control hardware has been implemented for future modifications or adjustments. In addition, the manufactured structure will serve as a didactic in the Technologists Training School (ESFOT) to motivate the incursion into UAV-related topics, given that it is a technology with great growth today. The document is divided into five chapters detailed below:

Chapter one explains the reasons why this project was developed together with the problem to be solved, the general objective, specific objectives and, in addition, the necessary foundations for a better understanding of the document.

In chapter two you will find the methodology used to meet each of the proposed objectives.

In chapter three, he details the results obtained for the design and implementation of the project, complying with the specific objectives proposed.

Chapter four presents the conclusions and recommendations of this work.

Finally, chapter five contains the bibliographic references used and annexes generated from this project.

**KEYWORDS:** UAV, Drone, Quadcopter, Autopilot, Battery, Propeller

# 1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los vehículos aéreos no tripulados (UAV) tienen una gran acogida por su diseño compacto y fácil movilidad aérea, siendo útiles en aplicaciones civiles como: agricultura de precisión, geología, cartografía, vigilancia, levantamientos topográficos, etc [1]. Debido a su amplio uso en diferentes tipos de áreas, existen varias empresas a nivel mundial que se han dedicado a desarrollar esta tecnología [2]. Sin embargo, en Ecuador existe muy poco desarrollo y casi no se cuenta con empresas orientadas a estas tecnologías, por lo cual esto genera una dependencia tecnológica tanto en la parte funcional y estructural [3].

Con las condiciones geográficas y meteorológicas variantes del país, las plataformas se ven afectadas en su rendimiento [4], por lo que estos equipos requieren de mejoras o modificaciones, siendo esto un problema, ya que en general las plataformas comerciales son de tecnología cerrada.

Las plataformas aéreas son propensas a sufrir fallos tanto en la parte eléctrica, como en la mecánica, por ejemplo, si durante la operación el equipo se estrella, hay gran afectación en su parte estructural y en ocasiones su parte funcional, requiriendo un cambio de piezas para volver a la operación. Al depender de la tecnología de fabricantes extranjeros y en muchos casos de tecnología cerrada, existe una necesidad de importar las piezas del fabricante, lo cual toma tiempo para los procesos de importación, generando problemas de tiempo, sobre todo en proyectos los cuales quedan en espera.

En la ESFOT no se tiene dentro del pensum de estudio temas relacionados con los UAV a pesar de su relevancia en distintas áreas [5]. Por lo cual se ve la necesidad de dar a conocer estos temas en la carrera de Tecnología Superior en Electromecánica.

El presente proyecto se centró en la implementación de una estructura de un cuadricóptero cuyas piezas sean reemplazables en el caso de que exista un daño estructural, fabricadas con materiales de fácil acceso en el país, y que permitan un sencillo ensamble de la estructura, esto permite deslindarse de la dependencia de las estructuras comerciales extranjeras. A esta estructura se le incluyó un sistema funcional de tal manera que sirva con fines académicos y tenga un uso didáctico en la ESFOT.

En el anexo 1 se encuentra el certificado de funcionamiento el cual aprueba que el presente proyecto cumplió con los parámetros establecidos dentro de los objetivos planteados.

## **1.1 Objetivo general**

Implementar estructura y sistema funcional de un dron cuadricóptero para uso didáctico en la ESFOT.

## **1.2 Objetivos específicos**

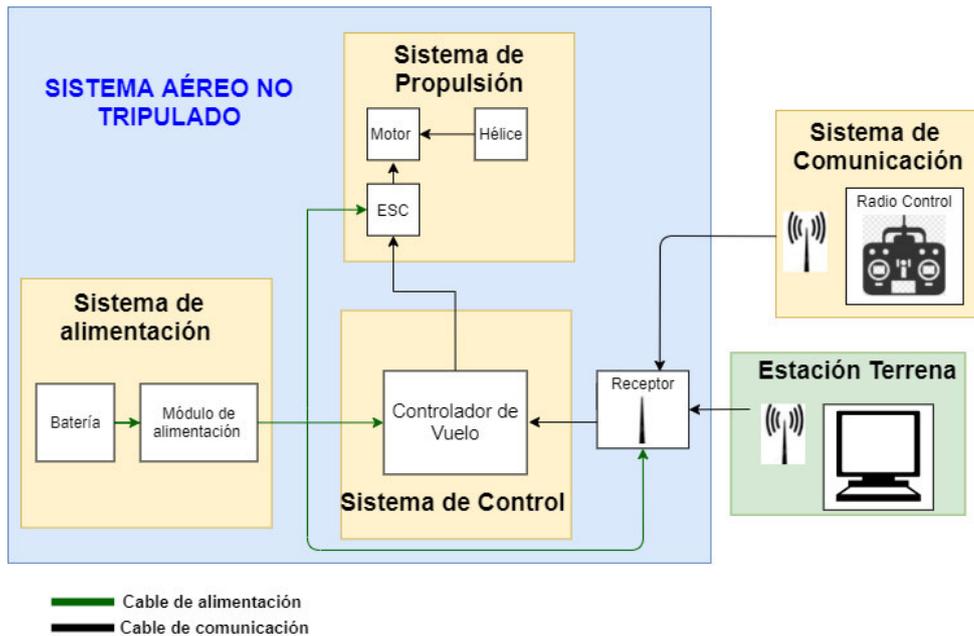
- Definir requerimientos para la implementación estructural y funcional de un dron.
- Diseñar un esquema 3D de la estructura a implementar mediante el Software CAD SolidWorks.
- Aplicar conceptos mecánicos, eléctricos-electrónicos para el ensamble de la estructura y control de un dron cuadricóptero.
- Comprobar el funcionamiento de los diseños establecidos mediante pruebas.
- Realizar un manual de usuario y mantenimiento.

## **1.3 Fundamentos**

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

Los UAV han tenido una evolución constante en el mundo desde mediados del siglo XIX con propósitos militares. Estos UAV se utilizaban en tareas de inspección, reconocimiento y ataque aéreo de una forma más segura ya que no requería un piloto en el mismo [6]. De esta manera, se buscó seguir mejorando estas aeronaves para que sean más aerodinámicas, compactas y que tengan una fácil movilidad aérea conforme al rol que cumplen.

En la actualidad, estos UAV han acoplado más funciones con el propósito de aumentar su utilidad en distintas aplicaciones que involucren medición y adquisición de datos térmicos, ópticos, ubicación, altitud, entre otros, en tiempo real. En general, los drones indistintamente de la configuración establecida están constituidos básicamente por el sistema comunicación, sistema de control, sistema de alimentación, sistema de propulsión y estación terrena, los cuales se observan en la Figura 1.1.



**Figura 1.1** Sistemas de un Dron.

### Sistema de comunicación

Este sistema está conformado por componentes que permitirán la comunicación entre el piloto y el dron, conformado por los siguientes elementos:

#### ➤ Emisora o Transmisor

Es el elemento manejado por el usuario, el cual realiza los movimientos del dron siendo enviados por una señal inalámbrica por sus 4 canales básicos. Además, posee canales adicionales para añadir más funciones, por ejemplo: el cambio de modo de vuelo, tomar foto, realizar video, etc.

#### ➤ Receptor

Recoge la señal que emite la emisora para posteriormente enviarla a la controladora de vuelo la cual tomará las acciones correctas para el control de los motores.

### Sistema de control

Está conformado por la controladora de vuelo el cual es un sistema microprocesador que permite estabilizar el vuelo del dron con la posibilidad de realizar vuelos autónomos. Además, procesa la información recibida del radio transmisor para poder controlar los movimientos del dron.

## **Sistema de alimentación**

Este sistema se encarga de dar la alimentación eléctrica correcta al dron, el cual está conformado por los siguientes elementos:

### ➤ **Batería**

Generalmente utilizadas para alimentar los componentes que se encuentran dentro del sistema aéreo no tripulado, que son: los motores, ESCs, controladoras de vuelo y receptores. Actualmente, se utilizan las baterías tipo LIPO debido a su alta capacidad de descarga, almacenan una gran capacidad de carga y son de un tamaño reducido.

### ➤ **Módulo de poder**

Permite adaptar el voltaje de la batería para alimentar a los diferentes componentes electrónicos y sistemas funcionales del dron, además, ayuda a obtener un voltaje más estable, garantizando una correcta alimentación.

## **Sistema de propulsión**

Este sistema se encarga de generar la sustentación del dron, el cual está compuesto los siguientes elementos:

### ➤ **Motores**

Generan la fuerza de rotación para el movimiento de las hélices que generarán la fuerza de sustentación, dependen del factor de “kV” que indica las revoluciones por minuto que gira el motor por cada Voltio que se aplica.

### ➤ **Aspa, Hélice o Propela**

De este componente depende la fuerza de empuje, siendo caracterizados por la longitud entre las puntas de la hélice (a mayor tamaño tiene mayor empuje) y el paso de hélice (capacidad de la hélice para mover el aire).

### ➤ **Controlador de velocidad (ESC)**

Es un circuito electrónico encargado de controlar y regular la velocidad, aceleración y desaceleración de los motores de los drones por medio de señales enviadas de la controladora de vuelo.

## **Estación terrena**

Permite controlar los sistemas funcionales del dron en tierra y, a su vez, monitoriza en tiempo real las condiciones en vuelo, las cuales son: altura, velocidad, ubicación, alimentación etc.

## **Carga de pago**

La carga de pago o carga útil en drones hace referencia a todos los elementos de los UAV que no son necesarios para volar, pero que ayudan a cumplir las diferentes aplicaciones como, por ejemplo: cámaras electroópticas, cámaras de infrarrojo, radares, etc [7]. Los drones están diseñados en base a un tipo de carga útil, pero algunos casos se los diseñan para diferentes cargas útiles teniendo la posibilidad que el dron pueda cumplir diferentes misiones con la adaptación de diferentes piezas para cada una.

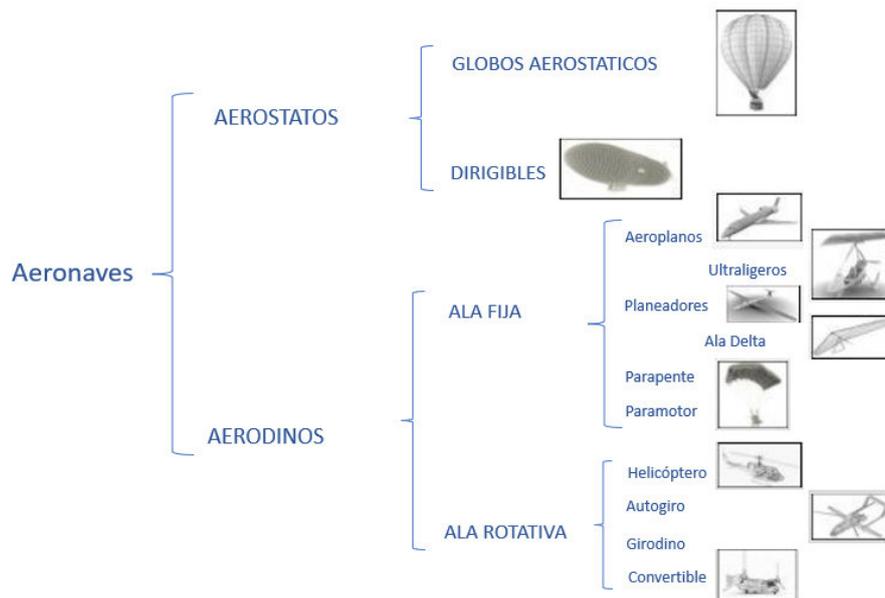
## **Marco o Estructura**

Es un soporte mecánico que permite albergar y proteger los sistemas funcionales del dron. Por otra parte, para la forma estructural se debe de tomar en cuenta el peso que soporta la estructura, la rigidez de la forma y las características aerodinámicas que ayudan a reducir la resistencia del aire generada sobre el dron.

En la actualidad, estas estructuras están hechas de materiales compuestos como son la fibra de carbono, fibra de vidrio y plástico, los cuales permiten aumentar la resistencia de la misma, reducir el peso y generar mayor tiempo de vuelo. Además, para aumentar su rigidez se realizan refuerzos en las zonas críticas con Kevlar o fibra de carbono.

## **Tipos de UAV**

Por lo regular, los UAV son clasificados por su tamaño, peso, forma de sustentación o utilidad siendo las más generales, pudiendo tener más características que van acorde a la necesidad requerida [8]. La sustentación es la característica principal en los UAV ya que conlleva ciertos beneficios o limitaciones para cada tipo. La Figura 1.2 muestra los distintos tipos UAV existentes según su sustentación, siendo los aerodinos los que poseen mayores aplicaciones en las diferentes áreas.



**Figura 1.2** Clasificación de los drones según la sustentación [8]

Los UAV de ala fija poseen un perfil alar lo que le permite mantenerse en el aire con una gran autonomía siendo ideales para el mapeo de grandes superficies de terreno. La desventaja de este tipo de dron es su movilidad aérea siendo incapaz de hacer maniobras rápidas o tener un vuelo fijo a una altura determinada [9].

Por otra parte, los UAV de ala rotatoria generan la sustentación en el aire a través de la fuerza que desarrollan los rotores de las hélices siendo más fáciles de maniobrar lo que ayuda a realizar tareas que requieran estabilidad aérea y gran precisión. La principal desventaja que posee este tipo de dron es su autonomía, ya que posee un elevado consumo energético debido al funcionamiento sin cesar de todos sus rotores, siendo necesario el uso de varias baterías para un uso más prolongado.

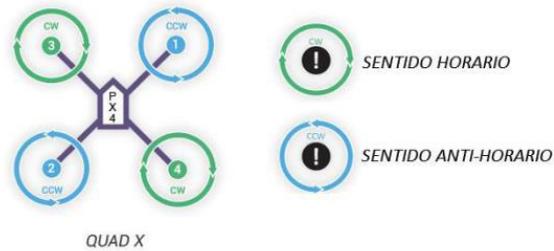
Al identificar las distintas cualidades que posee cada tipo de dron aerodino, el presente proyecto se centró en un dron de ala rotatoria cuadricóptero, ya que cuenta con una estructura sencilla, fácil manipulación de los sistemas electrónicos y posee características que en un futuro permitan usar sensores para estudios en varias áreas aplicativas.

### **Dron cuadricóptero**

Este dron está compuesto de cuatro motores eléctricos sin escobillas ubicados en los extremos de los brazos con una separación entre ellos de 90°, los cuales impulsan a las hélices con el aumento y reducción de las revoluciones de los motores [10]. Este tipo de dron posee dos motores que giran en sentido antihorario y dos en sentido horario como se observan en la Figura 1.3 y la Figura 1.4 pudiéndolo configurar de dos maneras:

➤ **Configuración en equis “x”**

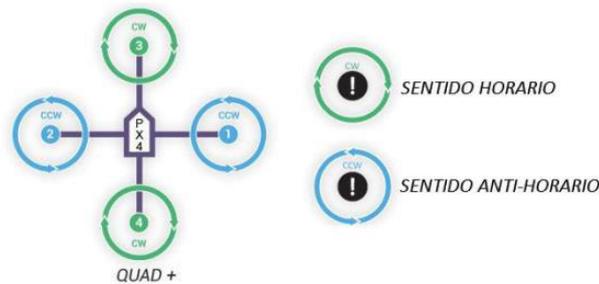
Consiste en colocar los motores en forma de equis, de tal manera que, en cada cara del dron estén presente dos motores como se visualiza en la Figura 1.3. El beneficio que tiene esta configuración es que su distribución de potencia crea una menor carga para los motores, puesto que para un movimiento “adelante/atrás” e “izquierda/derecha” se reparte la carga en dos de ellos [11].



**Figura 1.3** Configuración en equis [11]

➤ **Configuración en cruz “+”**

Consiste en colocar los motores de manera ortogonal “adelante/atrás” e “izquierda/derecha”, teniendo la presencia de un motor en cada cara como se lo visualiza en la Figura 1.4. El beneficio que posee este dron es su configuración más simple, pero la carga de los motores para la inclinación está en uno solo.



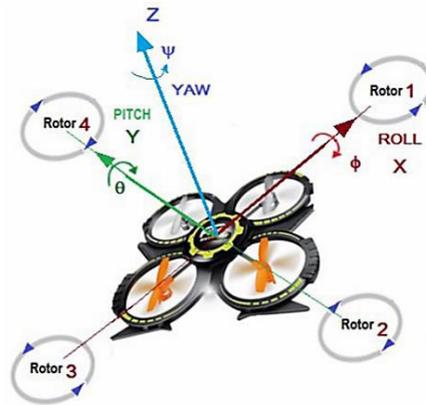
**Figura 1.4** Configuración en cruz [11]

Por lo tanto, en este proyecto se ha utilizado la configuración en cruz por ser más simple de configurar los sistemas funcionales que se utilizaron y permitir realizar el cambio de dirección “adelante”, “atrás”, “derecha” o “izquierda” con mayor facilidad al desarrollar el movimiento con un solo motor.

➤ **Cinemática del dron**

Hace referencia a los movimientos básicos de un dron de ala rotatoria como: izquierda, derecha, adelante, atrás y giro en su propio eje. El desarrollo de estos movimientos se

produce por el aumento o disminución de giro de los motores, obteniendo los movimientos de la Figura 1.5.



**Figura 1.5** Movimientos de un dron de ala rotatoria [12]

- **Movimiento de Alabeo (*Roll*):** Permite realizar un movimiento de izquierda y derecha.
- **Movimiento de cabeceo (*Pitch*):** Permite realizar un movimiento de adelante y atrás.
- **Movimiento de Guiñada (*Yaw*):** Permite realizar el giro en su propio eje.

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1 Descripción de la metodología usada**

La metodología que se usó en el desarrollo del presente proyecto tiene base en la ciencia del diseño propuesta por Bruce Archer [13]. La cual se fundamentó en establecer requerimientos de selección para satisfacer las necesidades de la implementación de una estructura de dron cuadricóptero con fines didácticos.

Se partió del establecimiento de los requerimientos para la implementación considerando lo siguiente: selección de materiales de fácil acceso, buena resistencia y bajo costo de adquisición dentro del país. Además, las piezas fabricadas deben ser de fácil montaje y replicables, con el objetivo de que puedan ser reemplazadas en caso de daños estructurales.

Se identificó una estructura comercial FPVKing 500-X4 como referencia para el diseño de la estructura del prototipo, para lo cual se consideraron las dimensiones, materiales y peso estructural, esto con el fin de hacer comparaciones. Además, se consideró que la plataforma comercial sea modular y basada en código abierto, con el fin de usar los mismos sistemas funcionales para el prototipo, tales como: motores, hélices, ESCs, batería, sistema de comunicación y controladora de vuelo a utilizar.

Posteriormente, se realizó el esquema 3D de la estructura prototipo de este proyecto, para lo cual se tomaron en cuenta las dimensiones y formas del modelo comercial previamente seleccionado.

A partir del esquema 3D del prototipo se generaron los planos que permitieron la fabricación e implementación de la estructura de dron cuadricóptero, ya que ayudó a realizar una lista de los materiales necesarios para la construcción de la estructura.

Por otra parte, se realizaron varias pruebas tales como: comparación del peso estructural en base al modelo comercial, verificación de la continuidad y alimentación de los sistemas funcionales, comprobación de la configuración del sistema de control de vuelo, sistema de comunicación y sistema de propulsión. Además, se realizó la prueba de vuelo a una altura aproximada de 8 metros.

Finalmente, se realizaron tres videos correspondientes a la configuración del sistema funcional, manual de mantenimiento y manual de usuario.

### **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este proyecto se realizó la implementación de una estructura de dron cuadricóptero, la cual está basada en las dimensiones y forma estructural de un modelo comercial. En el prototipo se realizaron modificaciones respecto al modelo comercial con la finalidad de cumplir los requerimientos establecidos. Por otra parte, se realizó la configuración de los sistemas funcionales, mismos que fueron verificados en las pruebas de vuelo, en las cuales el dron logró estabilizarse y mantenerse en vuelo.

#### **3.1 Requerimientos para la implementación estructural y funcional de un dron**

En el presente proyecto se ha procurado generar una plataforma de un dron cuadricóptero (UAV), la cual sea de fácil implementación y reparación, así mismo, que sea configurable a distintas necesidades aplicativas, sobre todo porque esta plataforma permitirá ser utilizada con fines didácticos para introducir a los estudiantes de la ESFOT a temas relacionados en esta área.

Por esta razón, en base a lo mencionado se han establecido los siguientes requerimientos:

- Fabricación de la estructura con materiales de fácil acceso y de bajo costo de adquisición.
- Simpleza en las piezas, de tal forma que se puedan replicar y reemplazar en el caso de daños por caídas.
- Fácil montaje de piezas de la estructura.
- Cuento con un sistema funcional en código abierto con la finalidad de permitir realizar adecuaciones o modificaciones en una situación específica.

#### **Estructura comercial**

Se ha seleccionado una plataforma comercial la cual sirvió como referencia para el diseño de la estructura prototipo de este proyecto, buscando cumplir con los requerimientos previamente establecidos, del mismo modo la plataforma comercial servirá como punto de comparación con respecto a la plataforma implementada en relación a dimensiones, peso y materiales. Adicionalmente, la selección de la estructura comercial sirvió para garantizar el correcto funcionamiento de la plataforma implementada, ya que el fabricante de la estructura comercial especifica todos los sistemas funcionales, de tal forma que se usó los mismos sistemas de control, comunicación, alimentación y propulsión para evitar el dimensionamiento de estos.

La estructura de dron cuadricóptero de referencia es un modelo FPVKing 500-X4, la cual se observa en la Figura 3.1. Este modelo posee una estructura no muy compleja, lo que facilitó replicar su forma para el diseño del prototipo en este proyecto.



**Figura 3.1** Partes del dron comercial FPVKing 500-X4 [14]

En la Tabla 3.1 se visualizan las características principales dadas por el fabricante.

**Tabla 3.1** Características principales del modelo comercial FPVKing 500-X4 [14]

<b>Peso</b>	2.16 (lbs)
<b>Distancia entre ejes</b>	500 (mm)
<b>Controladora de vuelo</b>	Pixhawk 4 autopiloto
<b>Motores</b>	2212 - 2216 / desde 800 (KV)
<b>Controlador de velocidad</b>	30 (A)
<b>Hélice</b>	1045-1047
<b>Batería</b>	3s – 11.1 (V) – 25 a 30 (C) – 5300 (mAh)
<b>Carga útil máxima</b>	2.1 (kg)

En la Tabla 3.2, se muestran las características físicas de las partes del modelo comercial seleccionado.

**Tabla 3.2** Características de las partes del modelo FPVKing 500-X4 [14]

Partes	Medidas referenciales	Material	Peso total de la estructura.
Brazos (Tubo circular)	Diámetro interior: 1.4 (cm)	Fibra de carbono	1.05 (lbs)
	Diámetro exterior: 1.6 (cm)		
	Largo: 20 (cm)		
Tren de aterrizaje (Tubo circular)	Diámetro interior: 1.4 (cm)	Fibra de carbono	
	Diámetro exterior: 1.6 (cm)		
	Largo: 20 (cm)		
Placas centrales	Grosor: 0.14 (cm)	Fibra de carbono	
Placas de montaje de motores	Grosor: 0.20 (cm)	Fibra de carbono	
Ajustables	Pernos M3	Nylon	

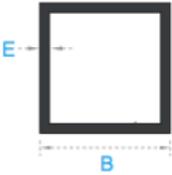
### Selección de los materiales

Para la selección de los materiales se tomaron en cuenta las partes de la plataforma comercial y los requerimientos previamente descritos, para lo cual se procedió al siguiente análisis.

#### ➤ Brazos

La estructura comercial utiliza tubos circulares de fibra de carbono con soportes que ayudan al acople con las demás partes. Para los brazos de la estructura implementada se optó por perfiles de aluminio tipo tubo cuadrangular cuyas características se muestran en la Tabla 3.3, al ser un perfil cuadrado permite omitir soportes, de tal manera que el acople con la estructura central sea más sencillo. El material de los perfiles utilizados es el aluminio 6063 T5 con sus características en la Tabla 3.4.

**Tabla 3.3** Características tubo cuadrado normalizado [15]

Modelo referencial	Código Referencia	Lado (B)	Espesor (E)	Peso
	2036	25.9 (mm)	1.10 (mm)	0.29 (kg/m)

**Tabla 3.4** Especificaciones del material aluminio 6063 T5 [16]

Aluminio 6063 T5	
Propiedad Eléctrica	Conductor
Peso específico	2.70 (gr/cm <sup>3</sup> )
Intervalo de fusión	615 – 655 (°C)
Resistencia a la corrosión	Muy buena
Larga vida útil	

➤ **Tren de aterrizaje**

La estructura comercial utiliza tubos circulares de fibra de carbono con acoples en T o en ángulo que permiten la unión con las placas centrales. Para el proyecto se colocó un tren de aterrizaje desmontable y para que no incremente el peso de la estructura se utilizó tubo PVC (sus dimensiones se visualizan en la Tabla 3.5) debido a su ligereza, fácil manipulación y ablandamiento tal como se especifica en la Tabla 3.6.

**Tabla 3.5** Dimensiones del tubo PVC circular normalizado [17]

Modelo referencial	Lado (D)	Espesor (E)
	17.98 (mm)	1.00 (mm)

**Tabla 3.6** Especificaciones del material PVC [18]

PVC ( Policloruro de Vinilo)	
Propiedad Eléctrica	Aislante
Peso específico	1.36 - 1.40 (gr/cm <sup>3</sup> )
Resistencia Térmica	Temperatura máxima 50 a 75 (°C)
	Temperatura mínima -30 (°C)
Temperatura de Ablandamiento	140 – 205 (°C)
Vida útil	15 – 100 años

➤ **Placas centrales y placas de montaje de motores.**

En la estructura comercial se utiliza fibra de carbono para estas partes, con orificios diseñados para el acople de los sistemas funcionales. Debido a que en el país las piezas personalizadas de fibra de carbono tienen un alto costo y son de difícil fabricación, en este proyecto se utilizó el material de acrílico negro para las placas, ya que se consideró la opción más económica y que sea fácil de trabajar, las características del material usado se muestran en la Tabla 3.7.

**Tabla 3.7** Especificación del material acrílico [19]

Acrílico	
Dureza	Comparable a los materiales de cobre y latón.
Propiedad Eléctrica	Aislante, tiene una resistencia superficial más alta que los plásticos normales.
Peso específico	1.2 (gr/cm <sup>3</sup> )
Resistencias a sustancias químicas	Resistente al agua y distintos hidrocarburos, ácidos y óxidos.
Resistencia Térmica	Temperatura máxima 65 a 90 (°C)
	Temperatura mínima -40 (°C)
Larga vida útil	

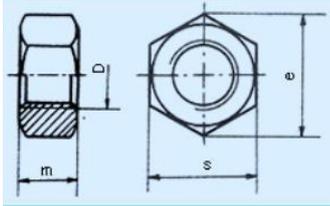
➤ **Ajustables**

Los ajustables ocupados en la estructura comercial son tornillos y tuercas de nylon M3 los cuales poseen un alto costo, pero un bajo peso. Para el prototipo implementado los ajustables de nylon tuvieron una difícil adquisición, alto costo y una única longitud, por esta razón se optó por utilizar tornillos y tuercas de aluminio gracias a la fácil adquisición con diferentes longitudes disponibles en el mercado, teniendo sus características dimensionales en la Tabla 3.8 y Tabla 3.9.

**Tabla 3.8** Dimensiones principales del tornillo M3 [20]

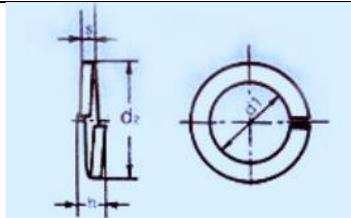
Tornillo M3 DIN-7985			
Espesor de cabeza (mm)	Paso p (mm)	Diámetro de rosca (mm)	Diámetro de cabeza (mm)
2.4	0.25	2.75	6

**Tabla 3.9.** Dimensiones principales de tuercas M3 [20]

Tuerca Hexagonal M3 DIN-934				
Paso (mm)	m (mm)	s (mm)	e (mm)	Referencia
0.25	2.4	5.5	6.1	

Además, debido a las vibraciones ocasionadas por los motores durante el vuelo, se utilizaron arandelas tipo Grower para generar sujeciones más efectivas y uniformes, para que no exista la posibilidad de que la estructura se desacople durante el vuelo. Estas arandelas tienen las dimensiones mostradas en la Tabla 3.10.

**Tabla 3.10.** Dimensiones principales de arandela Grower [20]

Arandela Grower M3 DIN-127				
D1 (mm)	D2 (mm)	h (mm)	s (mm)	Referencia
3.4	6.2	1.9	0.8	

### Requerimientos del sistema funcional

En base al modelo comercial de referencia, el fabricante especifica los siguientes sistemas funcionales:

- **Sistema de comunicación**
  - Radio control (emisor): Este elemento permitirá el control de los movimientos del dron de manera inalámbrica, para lo cual se utilizó el radio control FlySky FS-i6x visualizado en la Figura 3.2, con sus especificaciones en la Tabla 3.11.



**Figura 3.2.** Radio control FlySky FS-i6x [21].

**Tabla 3.11** Especificaciones del radio control [21]

Radio control FS-i6x	
Canales	6
Longitud de antena	4.17 (in)
Corriente nominal	80 - 120 (mAh)
Frecuencia de banda	2400 - 2483.5 (MHz)
Voltaje de funcionamiento	4 baterías AA de 1.5
Pantalla de resolución	128 x 64
Alerta de bajo voltaje	<4.6 (V)

- Receptor: Este elemento recibirá las señales del radio control y consecutivamente las enviará al autopiloto para que tome las acciones correspondientes, para lo cual se utilizó el modelo FS-IA6B visualizado en la Figura 3.3, con sus especificaciones en la Tabla 3.12.



**Figura 3.3.** Receptor FS-IS6B [21]

**Tabla 3.12** Especificaciones del receptor [21]

Receptor FS-IA6B	
Canales	6
Salida de señal	PPM/PWM/S-BUS
Longitud de antena	7.87 (in)
Voltaje de funcionamiento	2.4 (GHz): 4-8.4 (V)
Distancia de control	600 (m)
Fuente de alimentación	4.6 -10 (VCC)
Corriente de trabajo	30 (mA)
Resolución de canal	4096

- **Sistema de control**

- Para el control de vuelo y estabilización del dron se utilizó un Pixhawk PX4, el cual se observa en la Figura 3.4 y sus especificaciones en la Tabla 3.13.



**Figura 3.4** Controlador de vuelo Pixhawk [22].

**Tabla 3.13** Especificaciones del Pixhawk PX4 [22].

Pixhawk PX4	
Marca	ReadytoSky
Microprocesador	
Frecuencia	168 (MHz), 256 (K) de RAM
Copia de seguridad MacBook	32 STM32F103
Sensor	
Giroscopio digital	3 ejes L3GD20 16
Magnetómetro	Acelerómetro de 6 ejes (MPU6000)
Barómetro de precisión	MS5607

Pixhawk PX4	
Interfaz	
Alto voltaje compatible	UART 1, 2 con control de flujo de hardware
Latas	2
Entrada de receptor de satélite Spektrum compatible	DSM / DSM2 / DSM-X
Entradas y salidas compatible	Futaba SBUS
Entrada de señal	PWM o voltaje
Entrada	7.12C 8.SPI 9.3.3 y 6.6 (VADC)
Interfaz	Micro USB externa

- **Sistema de alimentación.**

- **Batería:** Se ha utilizado una batería tipo LiPo 3s para la alimentación de los componentes del dron colocado en la Figura 3.5, con sus especificaciones en la Tabla 3.14.



**Figura 3.5** Batería LiPo 3s 2600 (mAh) [23]

**Tabla 3.14** Especificaciones de la batería LiPo [23]

Batería LiPo	
Marca	Tcbworth
Cantidad de celdas	3
Voltaje	11.1 (V)
Taza de descarga	25-30 (C)
Capacidad de corriente	2600 (mAh)

- **Módulo de poder:** Con el fin de regular y proveer un voltaje estable a los sistemas funcionales se ha utilizado un módulo de poder visualizado en la Figura 3.6, con sus especificaciones en la Tabla 3.15.



**Figura 3.6.** Módulo de poder [24]

**Tabla 3.15** Especificaciones del módulo de poder [24]

Módulo de poder	
Marca	Elechawk
Voltaje máximo de entrada	28 (V)
Corriente de entrada máxima	90 (A)
Voltaje de salida BEC	5,3 (V)
Máxima corriente continua de salida BEC	2,25 (A)
Conector de cable principal	XT60

- **Sistema de Propulsión**

- **Motores:** Estos elementos se encargarán de dar la fuerza de rotación para el movimiento de las hélices, para lo cual se utilizaron motores sin escobilla 2212 920 KV visualizados en la Figura 3.7, con sus especificaciones en la Tabla 3.16.



**Figura 3.7** Motores 2212 920 KV [25]

**Tabla 3.16** Especificaciones de los motores [25]

Motores	
Marca	ReadytoSky
Diámetro de estator	22 (mm)
Altura de estator	12 (mm)
Revoluciones por Volt	920 (KV)
Voltaje	7-12 (VAC)
Dirección de rotación	Banda de rodadura izquierda/derecha

- Controlador de velocidad: Este elemento permitirá generar la señal para controlar el motor, para esto se utilizó un ESC colocado en la Figura 3.8 con sus especificaciones en la Tabla 3.17.



**Figura 3.8** Controlador de velocidad (ESC) [26]

**Tabla 3.17** Especificaciones de los ESC.

ESC	
Marca	ReadytoSky
Corriente de alimentación	30 (A)
Corriente máxima de alimentación	40 (A)
Tipo de batería compatible	LiPo de 2 a 6 celdas

- Hélices: Para estos elementos se utilizaron el modelo 1045 visualizado en la Figura 3.9, con sus especificaciones en la Tabla 3.18.



**Figura 3.9** Hélices 1045 [27]

**Tabla 3.18** Especificaciones de las hélices [27]

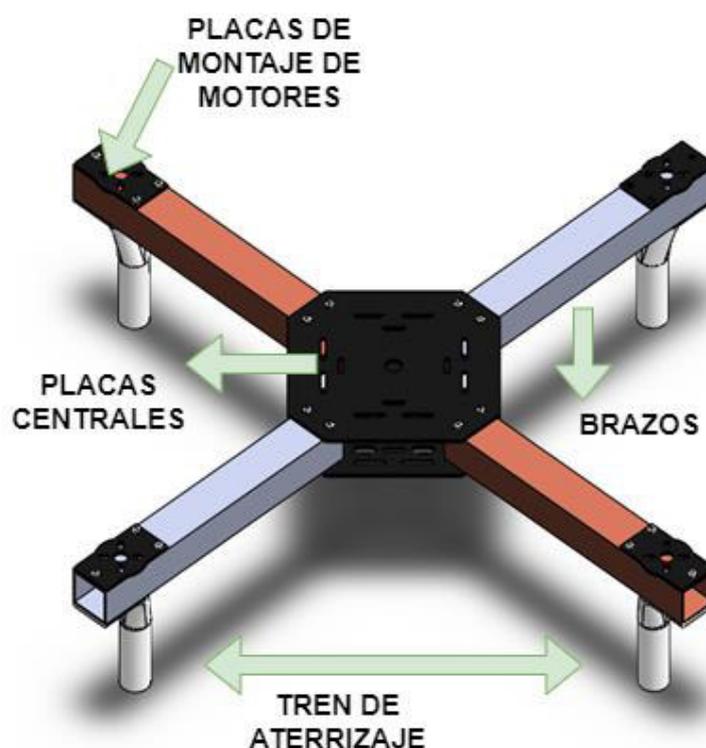
Hélices	
Marca	ReadytoSky
Largo de punta a punta	10 (in)
Grados de inclinación	45°
Material	ABS
Diámetro del eje	0.236 (in)
Espesor del centro	0.354 (in)
KV de motores compatibles	800 – 1100 (KV)

### 3.2 Esquema 3D de la estructura

Para el esquema 3D se consideró lo siguiente:

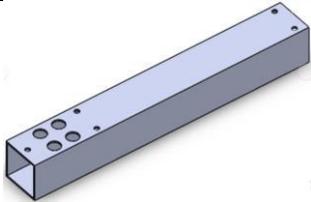
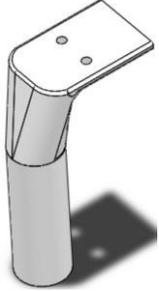
- Para el diseño de los brazos, se tomó en cuenta las dimensiones de los perfiles de aluminio, de tal manera que se logre el acople correcto con las placas centrales.
- Para el diseño de las placas de los motores inicialmente se tomó en cuenta las medidas de ejes de los pernos acoplados a los motores 2212, después se modificó a una medida más general de tal forma que cuente con una un rango más amplio de acople.
- Para el diseño de las placas centrales se tomó en cuenta, que logre contener la controladora de vuelo junto a los cables de alimentación y señales de los ESC. A su vez se realizó los diferentes orificios de tal manera que reduzca el peso y sirva como puntos de amarre para el sistema de alimentación y control.
- Para el diseño del tren de aterrizaje se tomó en cuenta uno fijo el cual soporte la estructura y permita un fácil cambio en caso de daños.

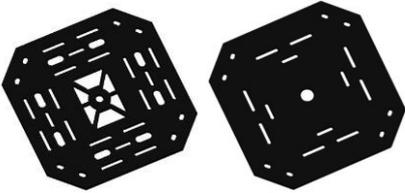
En base a lo considerado, los requerimientos y a los materiales previamente seleccionados se ha realizado el diseño estructural del prototipo tal como se muestra en la Figura 3.10. Además, las dimensiones de cada parte con su respectivo material se encuentran en la Tabla 3.19.



**Figura 3.10** Diseño del prototipo implementado

**Tabla 3.19** Características de las partes del prototipo implementado

Partes	Medidas referenciales	Material	Referencia
Brazos (Tubo cuadrangular)	Longitud (lado): 25.9 (mm)	Aluminio	
	Espesor: 1.10 (mm)		
	Largo: 190 (mm)		
Tren de aterrizaje (Tubo circular)	Diámetro exterior: 17.98 (mm)	PVC	
	Espesor: 1.00 (mm)		
	Largo: 100 (mm)		

Partes	Medidas referenciales	Material	Referencia
Placas centrales	Grosor: 2 (mm)	Acrílico	
Placas de montaje de motores	Grosor: 2 (mm)	Acrílico	
Ajustables (Tornillos, tuercas, arandelas)	Tornillos M3 de 6 (mm) y 30 (mm) de longitud, Tuerca M3 y arandela M3	Aluminio	

Para más detalles de la estructura diseñada y medidas de cada pieza, los planos correspondientes se muestran en el Anexo 2.

### 3.3 Ensamble del dron cuadricóptero

#### Presupuestos

En base a los requerimientos posteriormente establecidos y a los planos generados, se realizó una lista de los materiales, cantidad y presupuesto necesario para la adquisición e implementación, ver Tabla 3.20.

**Tabla 3.20** Materiales adquiridos

MATERIALES ADQUIRIDOS	PRECIO (unitario)	Cantidad	Total
<b>Metro tubo cuadrado de aluminio</b>	\$ 2,50	1	\$ 2,50
<b>Impresión láser en placa de acrílico</b> Incluye:			
• 1 Placa central superior	\$ 2,50	1	\$ 2,50
• 1 Placa central inferior			
• 4 Placas de montaje de motores			
<b>Metro tubo PVC</b>	\$ 1,25	1	\$ 1,25

<b>MATERIALES ADQUIRIDOS</b>	<b>PRECIO (unitario)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
<b>Puntas de caucho negras (4 Piezas)</b>	\$ 1,58	1	\$ 1,58
<b>Pernos M3 (3,2cm)</b>	\$ 0,10	8	\$ 0,80
<b>Pernos M3 (1cm)</b>	\$ 0,05	20	\$ 1,00
<b>Tuercas M3</b>	\$ 0,02	28	\$ 0,56
<b>Arandelas De Presión</b>	\$ 0,01	28	\$ 0,28
<b>Arandelas Planas</b>	\$ 0,01	28	\$ 0,28
<b>Pintura aislante Spray (aluminio y café)</b>	\$ 2,00	2	\$ 4,00
<b>Total</b>			\$ 14,75

Además, se realizó una lista de los elementos, dispositivos, cantidades y presupuestos necesarios para la implementación del sistema funcional en conjunto, tal como visualiza en la Tabla 3.21.

**Tabla 3.21** Elementos y dispositivos para los sistemas funcionales.

<b>ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS ADQUIRIDOS</b>	<b>PRECIO (unitario)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total</b>
<b>Motores sin escobillas 2212 920 (KV)</b>	\$ 19.50	4	\$ 78.00
<b>ESC 30 (A)</b>	\$ 19.98	4	\$ 78.32
<b>Kit de hélices 1045 (6 pares)</b>	\$ 31.98	1	\$ 31.98
<b>Pixhawk PX4 2.4.8</b> <b>Kit:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 carcasa original.</li> <li>• 1 botón de seguridad.</li> <li>• 1 zumbador.</li> <li>• 1 tarjeta TF de 16 (Gb) (el firmware IO ha escrito).</li> <li>• 1 x Pixhawk I2C divisor módulo de expansión</li> <li>• 1 cable servo.</li> <li>• 1 cable de 4 pines.</li> <li>• 1 línea DuPont de 3 pines.</li> </ul>	\$ 200	1	\$ 200.00

ELEMENTOS Y DISPOSITIVOS ADQUIRIDOS	PRECIO (unitario)	Cantidad	Total
<b>Pixhawk módulo de poder</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 5.3 (V) BEC XT60 conectores para APM 2.8 2.6</li> </ul>	\$ 19.99	1	\$ 19.99
<b>Placa PCB A4 fibra de vidrio</b>	\$ 6.00	1	\$ 6.00
<b>Par de conectores XT60 (conector hembra y macho)</b>	\$ 2	1	\$ 2.00
<b>Batería LiPo 3S 2600 (mAh)</b>	\$ 36.00	1	\$ 36.00
<b>Pernos nylon M3 (montaje motores)</b>	\$ 0.10	20	\$ 2.00
<b>Total</b>			\$ 454.23

### Ensamble Vista Estructural

- En primer lugar, para el ensamble se procedió al ajuste de los brazos con las placas centrales, es necesario hacer el uso de los ajustables (pernos M3 de 3.28 (cm), tuercas, arandelas planas y arandelas de presión), con la finalidad de tener un correcto acople, visualizado en la Figura 3.11.



**Figura 3.11** Acople del brazo con las placas centrales.

- A continuación, se posicionó las placas de montaje de motores con los brazos de la estructura, de la misma forma se debe de hacer el uso de los ajustables, visualizado en la Figura 3.12.



**Figura 3.12** Acople de placa de montaje de motor con brazo.

- Finalmente, se acopló el tren de aterrizaje a cada brazo de la estructura con los respectivos ajustables (pernos M3 de 1 (cm), tuercas y arandelas de presión), visualizado en la Figura 3.13. Además, para evitar el desgaste de la parte inferior del tren de aterrizaje se utilizaron puntas de caucho negras adecuadas para el diámetro del tubo, de tal manera que no se salgan durante vuelo.



**Figura 3.13** Acople del tren de aterrizaje al brazo de la estructura.

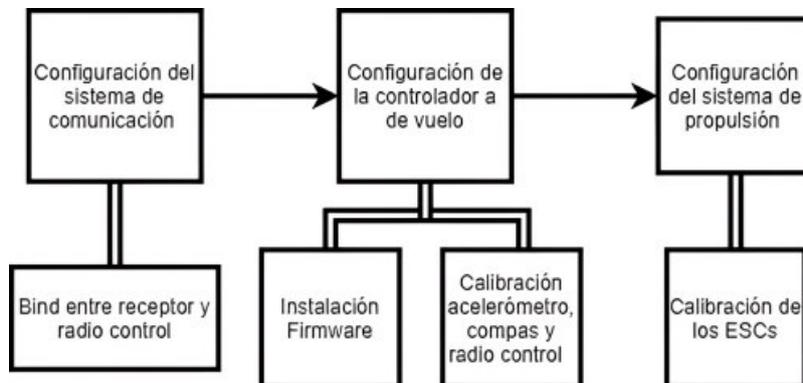
En la Figura 3.14 se visualiza la estructura completamente armada.



**Figura 3.14** Estructura del dron cuadricóptero implementado.

### Configuración general de los dispositivos.

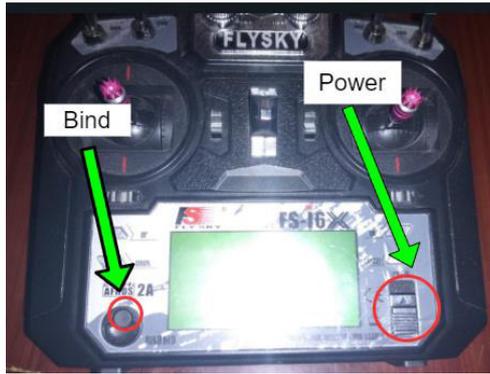
Dentro de la configuración general se tiene tres configuraciones principales las cuales se observan en el diagrama de flujo de la Figura 3.15 y se detallan a continuación.



**Figura 3.15** Diagrama de flujo de las configuraciones principales del dron

### Configuración sistema de comunicación

Esta configuración se realizó con la finalidad de enlazar el receptor con el radio control para que se pueda reconocer las señales enviadas de manera remota. Para ello se utilizaron los *power* y *bind key* del radio control, visualizado en la Figura 3.16, para lo cual fue necesario realizar un puente en el receptor con ayuda del cable puente en el puerto B/VCC (*bind*). Además, se debe de alimentar el receptor, por medio de la controladora de vuelo conectando al puerto PPM (canal1), visualizado en la Figura 3.17, o de manera externa.

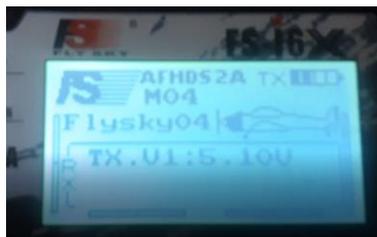


**Figura 3.16** Botones del radio control usados para la configuración

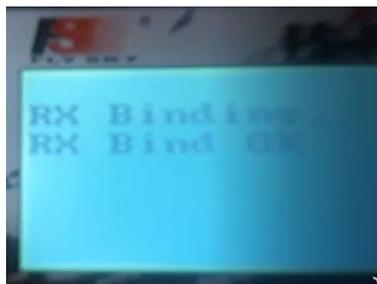


**Figura 3.17** Puerto B/VCC y PPM del receptor

El estado inicial del enlace se observa en la Figura 3.18, a continuación, el enlace de los dispositivos se visualiza en la Figura 3.19, y el estado final del enlace se observa en la Figura 3.20.



**Figura 3.18** Enlace inicial



**Figura 3.19** Enlace establecido

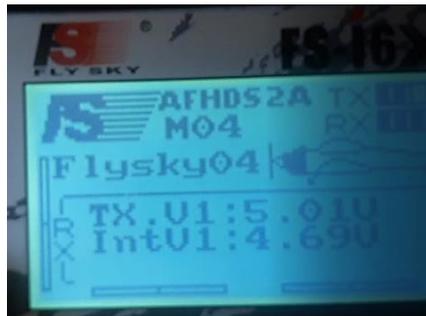


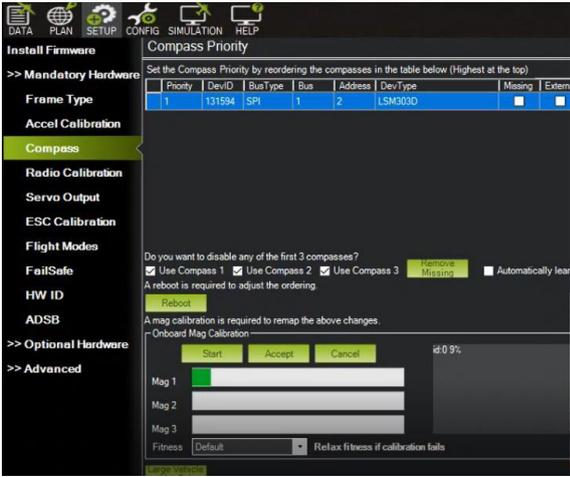
Figura 3.20 Enlace final

### Configuración sistema de control

Esta configuración pretende establecer el dron que se va a utilizar, así mismo requiere la instalación del firmware, la calibración del acelerómetro, compas y radio control, visualizados en la Tabla 3.22. Esta configuración se realizó a través del software libre Mission Planner (1.3.74).

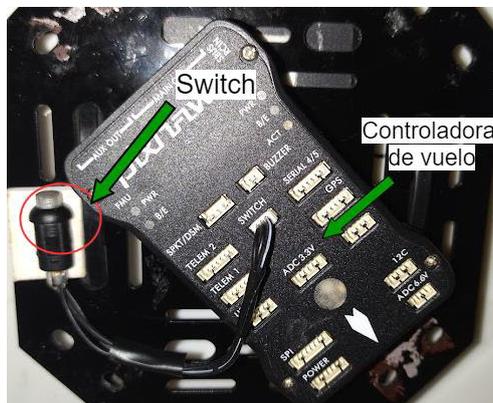
Tabla 3.22 Comprobación de la configuración de la controladora de vuelo

Tipo de Configuración	Referencias
<p>Instalación del Firmware</p>	
<p>Calibración del Acelerómetro</p>	

Tipo de Configuración	Referencias
<p style="text-align: center;">Calibración del Compás</p>	
<p style="text-align: center;">Calibración del Radio Control</p>	

### Configuración sistema de propulsión

Esta configuración se realizó con la finalidad de que la controladora de vuelo reconozca a los motores conectados a la misma. Para lo cual se realizó la calibración de los ESCs utilizando el elemento *switch* de la controladora de vuelo, visualizado en la Figura 3.21, y el radio control junto al botón de *power* y palanca de aceleración se muestra en la Figura 3.22.



**Figura 3.21** Elementos fijos utilizados para la calibración de los ESCs



**Figura 3.22** Palanca y botón usado para la calibración de los ESCs

Para más detalle de las pruebas realizadas se adjunta un video por medio del código QR en la Figura 3.23.



**Figura 3.23** Código QR de la configuración del sistema funcional

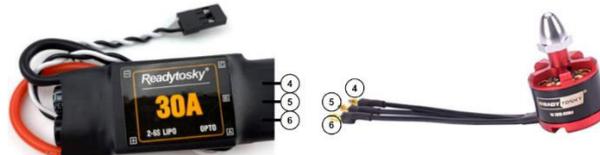
### **Conexiones de los sistemas funcionales**

Inicialmente, para las conexiones del sistema de propulsión se consideró que los motores con la perrilla de ajuste color negro sean de sentido horario (ajuste de la perrilla sentido antihorario) y los motores con la perrilla de ajuste color gris sean sentido antihorario (ajuste de la perrilla sentido horario), debido a que el ajuste hacía el sentido contrario de rotación evitará que las hélices acopladas se desajusten.

Posteriormente, se realizó una prueba de giro externa, en donde se conectaron batería, ESC, motor y se utilizaron la controladora de vuelo junto al receptor y radio control, esto con el fin de identificar los terminales a conectar entre ESCs y motores y así verificar que giren en los sentidos correspondientes. Los terminales identificados se observan en la en la Figura 3.24 y Figura 3.25.

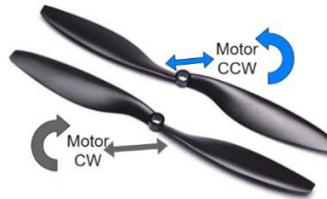


**Figura 3.24** Conexión motor CW



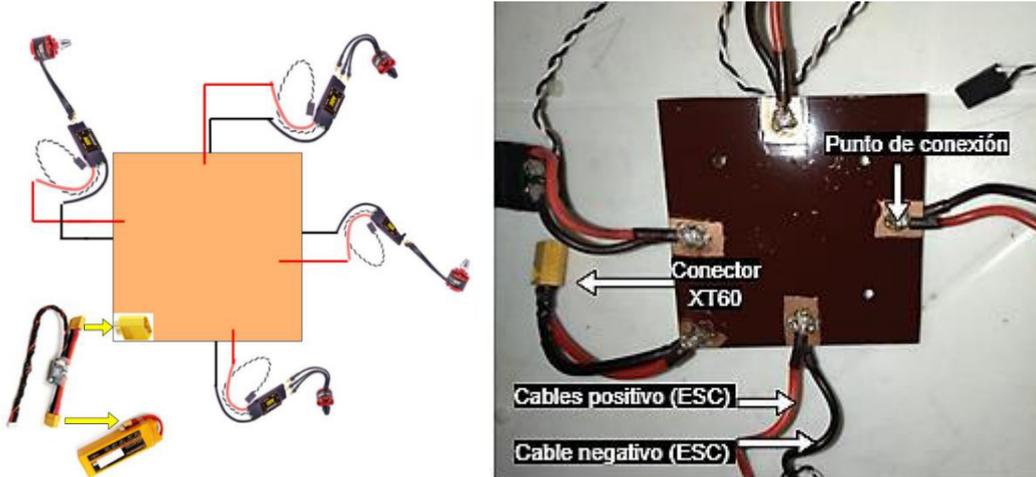
**Figura 3.25** Conexión motor CCW

De la misma forma, se identificaron las propelas con caída a la derecha para motores CCW y las propelas con caída a la izquierda para motores CW, visualizadas en la Figura 3.26.



**Figura 3.26** Propelas para motores CW Y CCW

Por otra parte, para la conexión eléctrica de los ESC se utilizó una placa de fibra de vidrio de doble cara, en donde se recubrió con pintura esmalte la placa (exceptuando los lugares para las conexiones) con el fin de tener un aislamiento eléctrico para realizar las conexiones respectivas del circuito de alimentación. Además, se utilizó un conector XT60 hembra para la conexión entre la placa de fibra de vidrio y el módulo de poder, con sus especificaciones en la Tabla 3.23. Luego se soldaron los cables positivos con la cara superior y los cables negativos con la cara inferior de los ESCs visualizados en la Figura 3.27.



**Figura 3.27** Conexión sistema de alimentación y sistema de propulsión

**Tabla 3.23** Especificaciones del conector XT60 [28].

Conector XT60	
Corriente de trabajo continuo	60 (A)
Picos de corriente	90 (A)
Longitud	32 (mm)
Ancho	16 (mm)

La conexión que involucra el sistema de alimentación y el sistema de control se observa en la Figura 3.28, donde se muestra la conexión del módulo de poder a la controladora de vuelo junto a la batería.



**Figura 3.28** Conexión sistema de control y sistema de alimentación

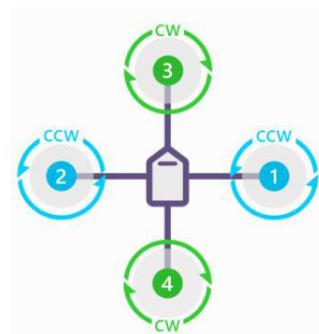
Para la conexión entre el sistema de propulsión y sistema de control, las conexiones dependen del tipo de dron a utilizar, al tratarse de un dron cuadricóptero se utilizaron los 4 primeros pines de la controladora de vuelo, usando los canales 1 y 2 para los motores en

sentido antihorario, y los canales 3 y 4 para los motores en sentido horario, como se presenta en la Figura 3.29.



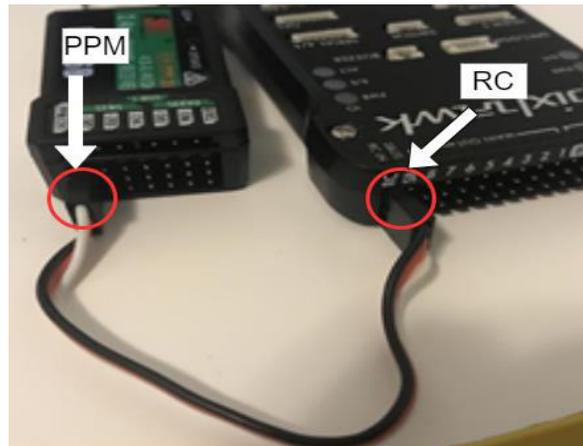
**Figura 3.29** Conexión Sistema de Propulsión al Sistema de Control

Para la configuración del dron se tomaron en cuenta las disposiciones de los motores, debido a que cada motor tiene un número, posición y dirección de rotación determinados para su correcta conexión a cada pin de la controladora de vuelo, la numeración establecida se muestra en la Figura 3.30. Además, es necesario tener en cuenta la ubicación de los motores en la estructura para no ocasionar ningún desbalance durante el vuelo.



**Figura 3.30** Configuración dron cuadricóptero Quad +

Por otra parte, se realizó la conexión entre el sistema de comunicación (receptor y el radio control) y el sistema de control (controladora de vuelo), en donde se conectó el canal 1/ PPM del receptor y el canal RC de la controladora de vuelo como se muestra en la Figura 3.31. Esta conexión permitirá la comunicación del radio control con el dron de forma inalámbrica.

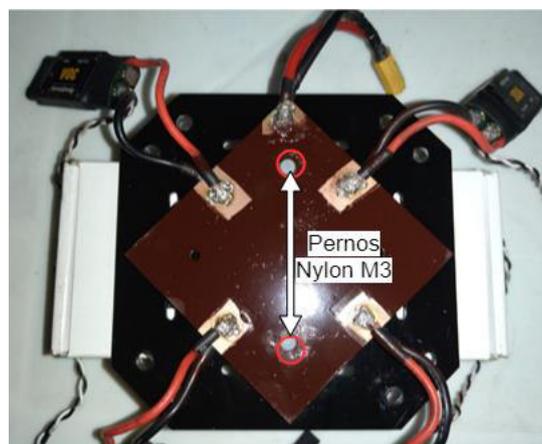


**Figura 3.31** Conexión receptor al controlador de vuelo

### **Montaje de los sistemas funcionales**

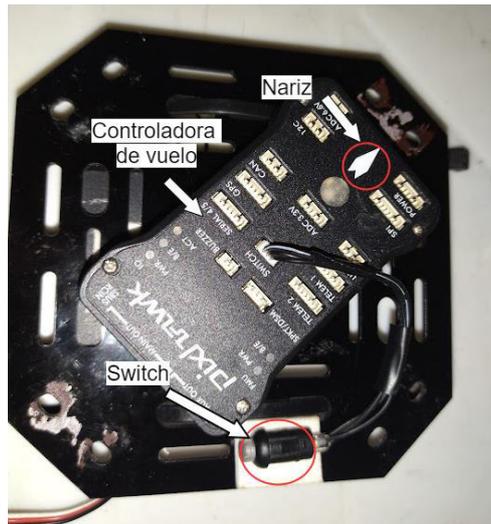
Inicialmente, se desmontó las placas centrales y los brazos de la estructura del prototipo, buscando una mayor facilidad durante el montaje de los dispositivos fijos.

A continuación, se procedió a realizar el montaje de la placa de alimentación con la ayuda de pernos nylon M3 de 1 (cm) en la placa superior central de la estructura como se observa en la Figura 3.32.



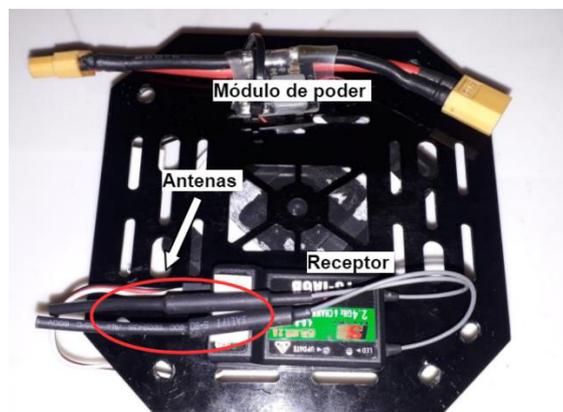
**Figura 3.32** Acople de la placa de fibra de vidrio a la placa central de la estructura

Luego, se realizaron los montajes de los dispositivos fijos en la placa inferior, comenzando por el acople de la controladora de vuelo y el elemento switch (botón de seguridad) mediante cinta doble faz en la parte inferior de los mismos, a su vez se debe de tomar en cuenta la dirección de la nariz de la controladora de vuelo durante el acople como se observa en la Figura 3.33.

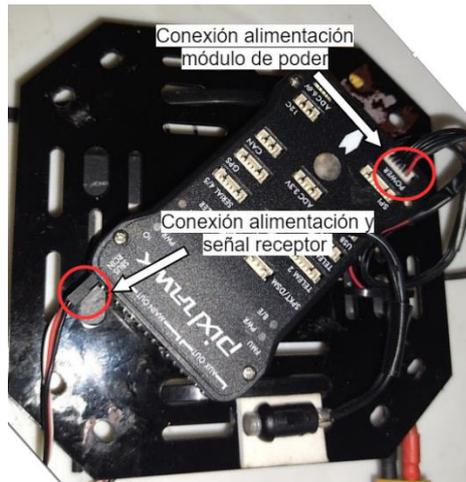


**Figura 3.33** Acople de la controladora de vuelo y el switch

Después, se procedió a colocar el receptor mediante cinta doble faz y el módulo de poder por medio de una amarra en la parte inferior de la misma placa central. Se debe de considerar que las antenas del receptor se deben de colocar en una superficie no conductora, ya que se mejora las señales de comunicación evitando atenuaciones, como se observa en la Figura 3.34. Luego, se realizaron las conexiones del receptor y el módulo de poder a la controladora de vuelo mostrado en la Figura 3.35.

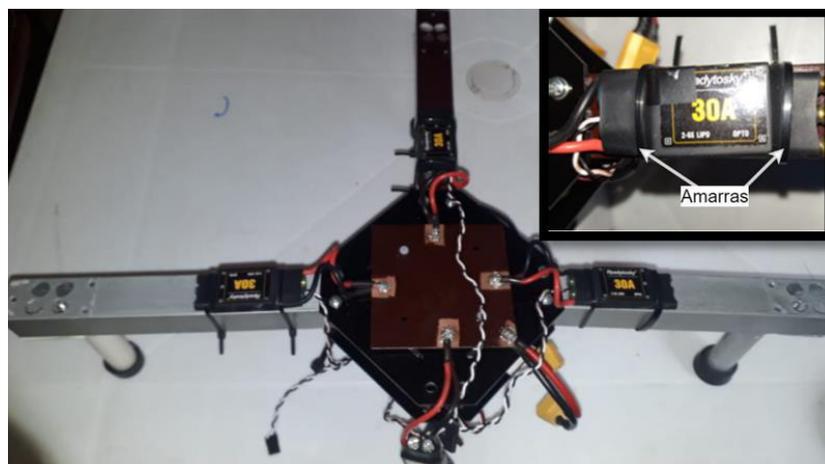


**Figura 3.34** Acople del receptor y módulo de poder a la placa central inferior



**Figura 3.35** Conexiones a la controladora de vuelo

Posteriormente, se realizaron los acoples entre las placas centrales (junto a los elementos fijos montados) y brazos. Se inició con los acoples de 3 brazos de la estructura y se colocaron los ESCs en su posición con la ayuda de amarras, como se observa en la Figura 3.36. El acople de 3 brazos tiene la finalidad de poder realizar las conexiones de los ESCs a la controladora de vuelo dentro de las placas centrales como se observa en la Figura 3.37, y una vez realizado lo que son las conexiones se procedió a colocar el último brazo visualizado en la Figura 3.38.



**Figura 3.36** Acople de los 3 primeros brazos



**Figura 3.37** Conexión de los ESC a la controladora de vuelo

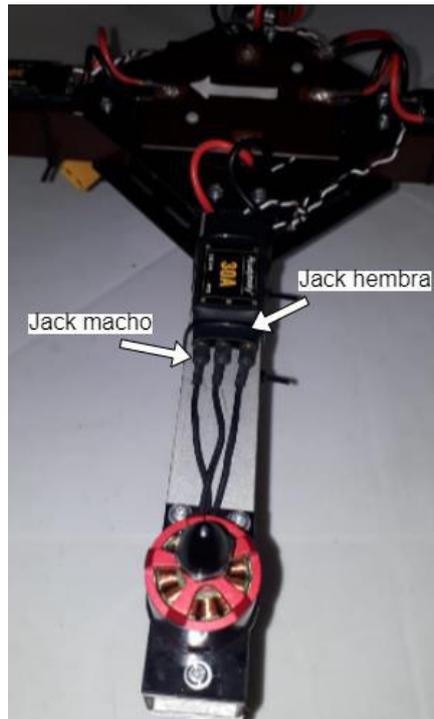


**Figura 3.38** Montaje completo de los brazos del dron

Después, se realizaron los acoples de los motores a las placas de montaje de motores con la ayuda de tornillo nylon M3 de 0.5 (cm) como se observa en la Figura 3.39, luego se realizó el acople al brazo mediante pernos de 1 (cm), tomando en cuenta la posición correspondiente a cada motor y se conectó por medio de conectores Jack hembra y macho, como se observa en la Figura 3.40 y Figura 3.41.



**Figura 3.39** Acople del motor a la placa de montaje de motor



**Figura 3.40** Conexión de los motores al ESC



**Figura 3.41** Acople de los motores a la estructura

Finalmente, se realizó el montaje del elemento móvil que en este caso es la batería con la ayuda de amarras, se debe de tomar en cuenta el peso de tal forma que se encuentre balanceado en la estructura como se muestra en la Figura 3.42, y la estructura final con el montaje de todos los elementos se observa en la Figura 3.43.



**Figura 3.42** Acople de la batería a la estructura



**Figura 3.43** Dron cuadricóptero implementado con todos los sistemas funcionales

### **3.4 Pruebas y Análisis de Resultados**

Entre las pruebas realizadas para este proyecto, se tiene las siguientes:

#### **Prueba de comparación de peso estructural**

Esta prueba se realizó con la finalidad de comparar el peso de la estructura del dron implementado con respecto al peso estructural del modelo de referencia comercial.

Una vez implementada la estructura, se procedió a tomar el peso total como se visualiza en la Figura 3.44. Para ello se consideró la estructura sin el montaje de los sistemas funcionales.



**Figura 3.44** Medición del peso total de la estructura implementada

En la Tabla 3.24 se observa el peso estructural del modelo comercial suministrado por el fabricante y el peso medido de la estructura implementada, con lo cual se concluye que se obtuvo un peso inferior con respecto a la estructura modelo comercial.

**Tabla 3.24** Comparación del peso estructural

Peso estructural modelo comercial (gr)	Peso estructural prototipo implementado (gr)
478	421

### Prueba de continuidad

Esta prueba se realizó con el objetivo de evitar cortocircuito durante la operación del equipo, para lo cual se utilizó el multímetro en la función continuidad y se verificó los puntos de conexión de la placa en cada cara (positiva y negativa) y que los dispositivos ESCs se encuentren correctamente conectados a sus polos positivos y negativos. Las medidas realizadas en dicha prueba se visualizan en la Tabla 3.25.

**Tabla 3.25** Prueba de continuidad

Pruebas	Referencia
Cable positivo ESC – Placa positiva	
Cable negativo ESC– Placa negativa	
Punto de conexión polo positivo – Placa aislada polo positivo	

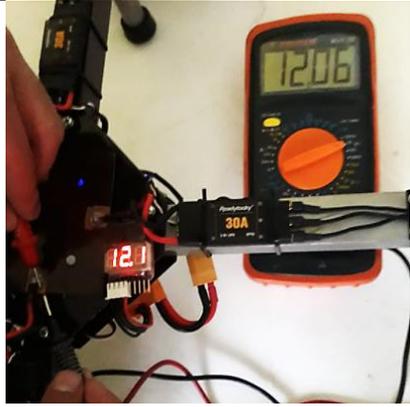
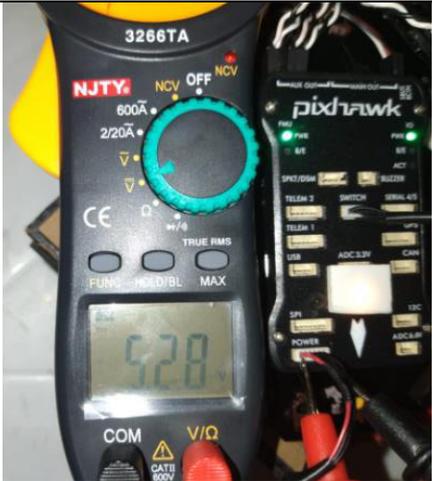
### Prueba de alimentación

Esta prueba se realizó con el fin de verificar que los voltajes suministrados a los diferentes sistemas funcionales, estén dentro del rango de trabajo especificado por el fabricante.

Inicialmente, se procedió a medir el voltaje de la batería LiPo, placa de alimentación y el voltaje de alimentación de la controladora de vuelo y receptor, para lo cual se utilizó un multímetro (TruperMUT-39) y una pinza amperimétrica (NJTY 3266TA) en la función voltaje

DC y se midió el positivo y negativo de dichos componentes. Estas mediciones se observan en la Tabla 3.26.

**Tabla 3.26** Mediciones de alimentación principales del dron

	Voltaje de trabajo (V)	Voltaje medido (V)	Referencia
Batería	11.1 - 12.7	12.1	
Placa PCB de alimentación	11.1-12.7	12.06	
Controladora de vuelo	4.9 - 5.5	5.28	
Receptor	4.6 – 10	4.75	

## Prueba de vuelo

Esta prueba se realizó con la finalidad de comprobar que la estructura trabaje con normalidad, no exista desajustes por vibraciones entre las diferentes partes acopladas y la configuración sea adecuada para que la plataforma trabaje sin problema.

- Como parte inicial, se procedió a seleccionar un lugar amplio, libre de operaciones aéreas, personas, bienes y fauna silvestre [29], tal como se indica en la normativa emitida por la DAC (Dirección de Aviación Civil) [30].
- Después, se realizó una lista de verificación (*Check list*), con la cual se quiere verificar la integridad de la estructura, es decir, que se encuentre en buenas condiciones, las conexiones estén conectadas correctamente y la alimentación sea la adecuada, esto se lo realiza con la finalidad de garantizar un vuelo seguro.
- A continuación, se procedió con el encendido del dron y radio control, luego se verificó el encendido (armado) de los motores y a su vez que las hélices colocadas sean las correctas según la dirección de los motores.
- Finalmente, mediante la prueba realizada se logró obtener un objetivo final de vuelo de aproximadamente 7 - 8 (m) de altura, con un tiempo de un minuto y treinta segundos (1m: 30s), además, se comprobó que la estructura se mantuvo estable, las piezas estuvieron correctamente acoplada durante el transcurso del vuelo, a su vez el tren de aterrizaje logro funcionar adecuadamente durante el descenso del dron como se observa en la Figura 3.45.



**Figura 3.45** Prueba de vuelo del dron cuadricóptero implementado

### 3.5 Manual de Uso y Mantenimiento

Para este proyecto se implementó un manual de uso, debido a que dentro del área de los drones es importante realizar un procedimiento adecuado previo a cualquier vuelo. Además, se realizó un manual de mantenimiento con la finalidad de mantener en óptimas condiciones a la plataforma implementada.

Estos manuales se visualizan en los códigos QR en la Figura 3.46 y la Figura 3.47 respectivamente.



**Figura 3.46** Código QR del manual de uso del equipo



**Figura 3.47** Código QR del manual de mantenimiento del equipo

## 4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- El contar con una estructura de un dron cuadricóptero de fácil fabricación e implementación ayuda a poder deslindarse de la dependencia tecnológica en la parte estructural, permitiendo la reparación del equipo en caso de caídas, mediante el reemplazo de cualquier pieza afectada.
- Para este proyecto se consideró que los elementos funcionales de la plataforma sean de código abierto, de esta manera se podrá realizar diferentes configuraciones en la plataforma, con el fin de adaptarse a las condiciones ambientales existentes en el país.
- Para el diseño del prototipo se partió desde la réplica de un modelo de referencia comercial FPVKing 500-X4, sin embargo, durante el proceso se realizaron modificaciones las cuales permitieron obtener una estructura más sencilla y fácil de replicar.
- El desarrollo de un modelo 3D permitió establecer las medidas de los orificios y cortes de las piezas con cierta exactitud, de tal forma que se evitó la manipulación previa de los materiales.
- Para la fabricación del prototipo estructural se utilizaron materiales de bajo costo y que sean de fácil acceso dentro del país, como son perfiles de aluminio, tubos PVC y placas de acrílico, dando la opción de realizar varias piezas que ayuden a mejorar la estructura durante el proceso de montaje, sin afectar de manera abrupta en el costo de fabricación.
- Debido a que los ESCs deben de conectarse al sistema de alimentación del equipo, se optó por utilizar una placa de fibra de vidrio de doble cara, la cual distribuye el voltaje de la batería a los elementos soldados y permitió realizar las conexiones de los ESCs, evitando el uso excesivo de cables para dichas conexiones.
- Para la calibración de los ESCs existe una forma que hacen uso de dispositivos ajenos al equipo como por ejemplo la calibración mediante placa Arduino, la cual por medio de un código calibra individualmente los ESCs, sin embargo, en este proyecto al contar con los elementos primordiales de la aeronave se realizó la calibración por medio de la controladora de vuelo, sin requerir de dispositivos adicionales.
- Con el fin de que las hélices no lleguen a tener algún tipo de contacto con la superficie y tiendan a fracturarse, fue necesario incluir un tren de aterrizaje, el cual permitió que

no toquen o rosen con el piso, además de que la plataforma tenga mayor estabilidad con respecto al suelo y durante el aterrizaje.

- La plataforma de dron cuadricóptero al ser un prototipo que permitió evaluar la estructura implementada, no requirió un tiempo de vuelo considerable por ende, se utilizó una batería con menor capacidad a la recomendada por el fabricante.
- El costo de fabricación de la plataforma estructural es de \$ 14.75 que es aproximadamente cinco veces menor al costo de la plataforma comercial de referencia (\$ 74.99), obteniendo una ventaja económica importante para la fabricación de este dron dentro del país y pueda incorporarse más componentes conforme a la función que va a realizar.

## 4.2 Recomendaciones

- En caso de presentarse alguna anomalía antes del vuelo como por ejemplo: errores de calibración, fallo en la comunicación o en la alimentación; es importante revisar los videos de configuración, manual de usuario y mantenimiento realizados en este proyecto.
- Para que los cables no obstaculicen el movimiento de las hélices y evitar posibles roturas de estos, es importante que estén bien sujetos a la estructura con amarras o cinta doble faz.
- La placa de fibra de vidrio se podría utilizarla como placa superior y realizar las conexiones respectivas, siempre y cuando se realice un aislamiento eléctrico adecuado en las zonas donde no se realizará ninguna conexión.
- En caso de existir una fractura o rotura de alguna pieza estructural, se recomienda reemplazarla antes del siguiente vuelo, siguiendo los cortes y perforaciones realizados conforme a los planos establecidos.
- Para que no se detecte un error de configuración en la controladora de vuelo, es importante configurarla únicamente con los elementos a disposición y deshabilitar las entradas del resto de elementos.
- En caso de requerir un tiempo de vuelo más prolongado del dron, es importante que se utilice una batería de mayor capacidad a la utilizada en este proyecto.
- Es recomendable utilizar un probador de voltaje para baterías LiPo, con el fin de facilitar la visualización del voltaje de la batería antes y después de cada vuelo.
- Antes y durante el vuelo, es importante verificar el voltaje que suministra la controladora de vuelo por medio del radio control, de tal manera que se logre seguir con la operación.

- Es importante tener presente las condiciones climáticas antes de cada vuelo, no se recomienda volar cuando exista fuertes ráfagas de viento, lluvia u oscuridad, debido a que dificultaría su movilidad y estabilización aérea.
- Si no se cuenta con el presupuesto para la adquisición de una controladora de vuelo Pixhawk, se recomienda utilizar versiones anteriores como por ejemplo la controladora de vuelo ATM en donde las configuraciones son similares y se realizan en el mismo programa Mission Planner.
- En caso de requerir una estructura más resistente para trabajos robustos en campo se recomienda utilizar como materia prima fibra de carbono para las placas centrales, placas de montaje de motores y tren de aterrizaje, debido a su resistencia y durabilidad.
- Para el montaje de cámaras o algún otro tipo de dispositivo es recomendable ubicarles en la parte inferior o central de la estructura en función del tamaño del dispositivo, tratando de equilibrar el peso del equipo de tal forma que no afecte la estabilidad durante el vuelo.
- En el caso de requerir un modelo dron con menos o más brazos del construido, se recomienda extender la longitud de los mismos y a su vez modificar la forma y tamaño de las placas centrales para la ubicación de los elementos internos y acople de los brazos.

## 5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FERNERCOM, «fenercom.com,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2015/03/Los-Drones-y-sus-Aplicaciones-a-la-Ingenieria-Civil-fenercom-2015.pdf>. [Último acceso: 21 Enero 2021].
- [2] Team Drone.com, «droneii.com,» 03 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://droneii.com/top20-drone-service-provider-ranking>. [Último acceso: 28 Enero 2021].
- [3] J. Surendra, «static.nuso.org,» 09 Diciembre 1973. [En línea]. Available: [https://static.nuso.org/media/articles/downloads/93\\_1.pdf](https://static.nuso.org/media/articles/downloads/93_1.pdf). [Último acceso: 29 Enero 2021].
- [4] RPASDrones, «rpas-drones.com,» 20 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.rpas-drones.com/las-condiciones-meteorologicas-en-la-planificacion-y-desarrollo-del-vuelo-de-rpas/>. [Último acceso: 21 Enero 2021].
- [5] R-Evolución Industrial, «[https://www.prlcuatropuntocero.es,](https://www.prlcuatropuntocero.es)» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3stKAWp>. [Último acceso: 25 02 2021].
- [6] V. D. Hernando, «[http://eldrone.es,](http://eldrone.es)» 2016. [En línea]. Available: <http://eldrone.es/historia-de-los-drones/>. [Último acceso: 12 agosto 2021].
- [7] Aerocamaras, «[https://aerocamaras.es,](https://aerocamaras.es)» 12 marzo 2021. [En línea]. Available: <https://aerocamaras.es/que-es-la-carga-util-o-carga-de-pago/>. [Último acceso: 12 agosto 2021].
- [8] M. D. Baratos, «solodronesbaratos.com,» [En línea]. Available: <https://solodronesbaratos.com/tipos-de-drone/>. [Último acceso: 11 06 2021].
- [9] Aerial Insights, «[https://www.aerial-insights.co,](https://www.aerial-insights.co)» [En línea]. Available: <https://www.aerial-insights.co/blog/tipos-de-drones/>. [Último acceso: 12 agosto 2021].
- [10] P. R. Martín, «[https://riunet.upv.es,](https://riunet.upv.es)» [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73170/RUIPÉREZ%20->

%20Diseño%20y%20fabricación%20de%20un%20dron%20mediante%20impr  
esión%203D.pdf?sequence=5. [Último acceso: 12 agosto 2021].

- [11] A. C. Sáez, «<https://riunet.upv.es>,» Universitat Politècnica de València, 2014-2015. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/55285/CORTÉS%20-%20Control%20de%20Posicionamiento%20de%20un%20Cuadricóptero.pdf?sequence=2>. [Último acceso: 13 agosto 2021].
- [12] E. Nieto y F. Vaca, «Desarrollo de un modelo matemático, cinemático y dinámico con la aplicación de software, para modificar el funcionamiento de un dron, para que este realice monitoreo automático,» *RECIMUNDO*, pp. 332-343, 2020.
- [13] M. Gonzales, «[guao.org/](http://guao.org/),» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3o6NY75>. [Último acceso: 22 Enero 2021].
- [14] FPV King, «<https://www.amazon.com>,» [En línea]. Available: <https://amzn.to/3B1PPRj>. [Último acceso: 22 08 2021].
- [15] Cedal, «<https://www.setecoecuador.com>,» [En línea]. Available: <https://www.setecoecuador.com/perfiles-de-aluminio/normalizados.html>. [Último acceso: 27 agosto 2021].
- [16] AluminiosyMetales San Juan, «[aluminioymetalesanjuan.com](http://aluminioymetalesanjuan.com),» [En línea]. Available: <https://aluminioymetalesanjuan.com.mx/productos/aluminio-6063-t5/>. [Último acceso: 21 Agosto 2021].
- [17] Rival, «<http://www.plasticosrival.com>,» [En línea]. Available: <http://www.plasticosrival.com/rival/files/products/pvc/catalogues/PRival-PVC-rconduit.pdf>. [Último acceso: 30 agosto 2021].
- [18] Plastibages Industrial, «[plasticbages.com](http://www.plasticbages.com),» [En línea]. Available: <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>. [Último acceso: 21 Agosto 2021].
- [19] ACRILUX.SA, «[Acrilux.com.ec](http://Acrilux.com.ec),» [En línea]. Available: <https://acrilux.com.ec/files/PROPIEDADES.pdf>. [Último acceso: 21 Agosto 2021].

- [20] Gestión de Compras, «<https://www.gestiondecompras.com>,» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3xmpk7P>. [Último acceso: 27 agosto 2021].
- [21] Flysky, «[amazon.com](https://amazon.com),» [En línea]. Available: <https://amzn.to/3cRdbiS>. [Último acceso: 23 agosto 2021].
- [22] Readytosky, «[amazon.com](https://amazon.com),» [En línea]. Available: <https://amzn.to/3gl4Fv1>. [Último acceso: 23 agosto 2021].
- [23] ELECTRONICS ECUADOR, «[mercadolibre.com.ec](https://mercadolibre.com.ec),» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3qO8MmA>. [Último acceso: 23 08 2021].
- [24] elehawk, «[amazon.com](https://amazon.com),» [En línea]. Available: <https://amzn.to/3moFquV>. [Último acceso: 23 08 2021].
- [25] Readytosky, «<https://www.amazon.com>,» [En línea]. Available: <https://amzn.to/3ycJ90W>. [Último acceso: 22 08 2021].
- [26] Readytosky, «<https://www.amazon.com>,» [En línea]. Available: <https://amzn.to/35fhtwq>. [Último acceso: 23 Agosto 2021].
- [27] Readytosky, «<https://www.amazon.com>,» [En línea]. Available: <https://amzn.to/3glwYJv>. [Último acceso: 23 08 2021].
- [28] ELECTRONICS ECUADOR, «[mercadolibre.com.ec](https://mercadolibre.com.ec),» [En línea]. Available: <https://bit.ly/3651r8Q>. [Último acceso: 23 agosto 2021].
- [29] O. Cesar, «[as.com](https://as.com),» 06 Agosto 2019. [En línea]. Available: [https://as.com/meristation/2019/08/06/betech/1565126768\\_049319.html](https://as.com/meristation/2019/08/06/betech/1565126768_049319.html). [Último acceso: 30 Enero 2021].
- [30] Direccion Nacional de Aviacion Civil, «[aviacioncivil.gob.ec](https://aviacioncivil.gob.ec),» 04 11 2020. [En línea]. Available: <https://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/11/5-DGAC-DGAC-2020-0110-R-Reglamento-de-RPAs.pdf>. [Último acceso: 20 01 2021].

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1: CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO**



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

Campus Politécnico "J. Rubén Orellana R

Quito, 22 de septiembre de 2021

## CERTIFICADO DE FUNCIONAMIENTO DE PROYECTO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Orlando Romo Herrera, docente a tiempo completo de la Escuela Politécnica Nacional y como director de este trabajo de titulación, certifico que he constatado el correcto funcionamiento de la estructura y sistema funcional de un dron cuadricóptero, la cual fue implementada por los estudiantes Caza Sebastian y Villegas Danny.

El proyecto cumple con los requerimientos establecidos de diseño estructural y parámetros necesarios para que los usuarios de la ESFOT puedan usar el prototipo con seguridad para el equipo y las personas.

---

**DIRECTOR**

Ing. Carlos Orlando Romo Rivera MSc.

---

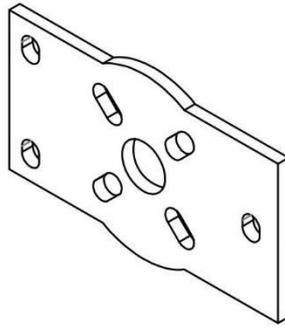
Ladrón de Guevara E11-253, Escuela de Formación de Tecnólogos, Oficina 2. EXT: 2722

email: carlos.romo@epn.edu.ec

Quito-Ecuador

## **ANEXO 2: PLANOS Y ESQUEMAS**

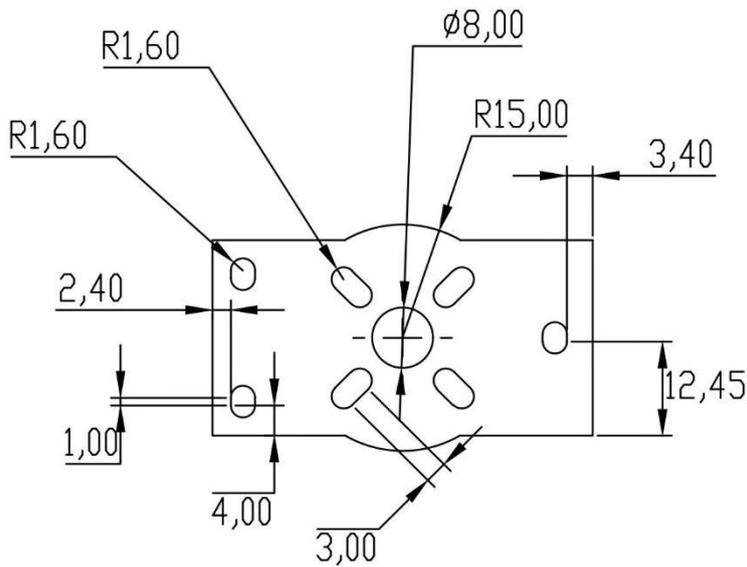
# VISTA ISOMÉTRICA



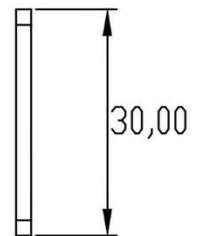
# VISTA FRONTAL SUPERIOR



# VISTA SUPERIOR



# VISTA LATERAL



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

**PLACA MONTAJE DE MOTORES**

**MEDIDAS:  
MILÍMETROS**

**MATERIAL:  
ACRÍLICO NEGRO**

**ESCALA:  
1:1**

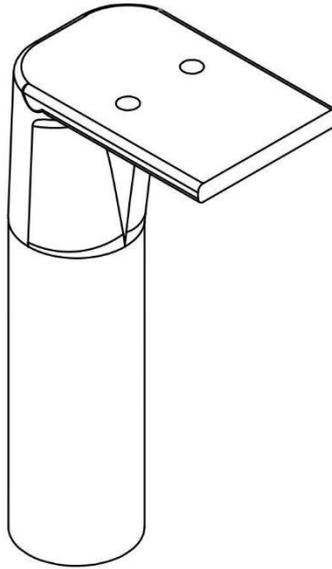
**FORMATO:  
A4**

**DISEÑADO POR:  
SEBASTIAN CAZA  
DANNY VILLEGAS**

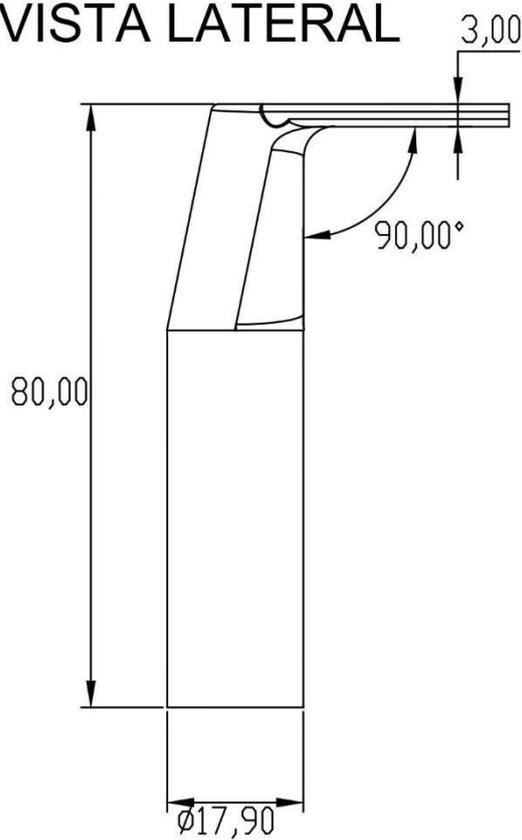
**FECHA:  
2021/09/17**

**LÁMINA:  
2**

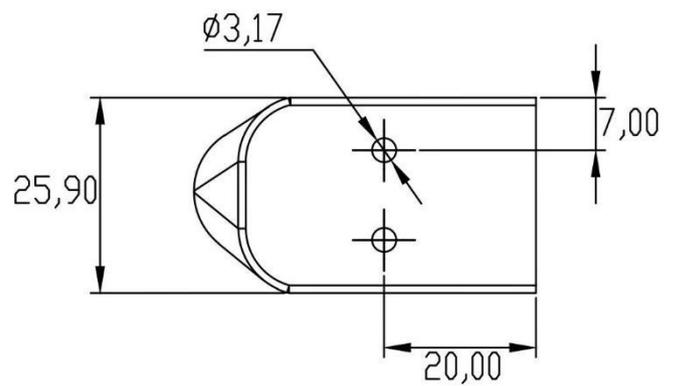
# VISTA ISOMÉTRICA



## VISTA LATERAL



## VISTA SUPERIOR



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

**TREN DE ATERRIZAJE**

**MEDIDAS:  
MILÍMETROS**

**MATERIAL:  
PVC**

**ESCALA:  
1:1**

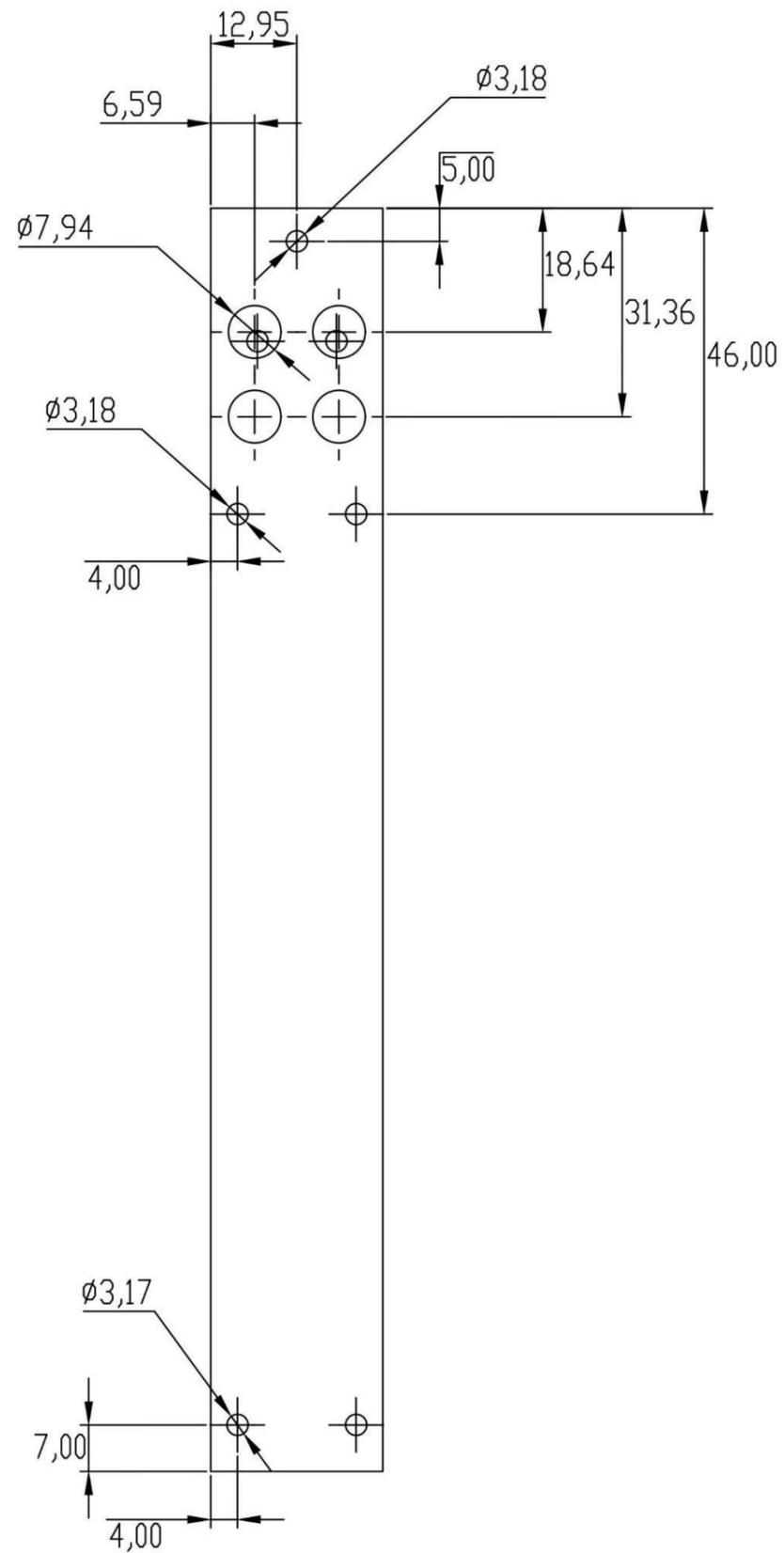
**FORMATO:  
A4**

**DISEÑADO POR:  
SEBASTIAN CAZA  
DANNY VILLEGAS**

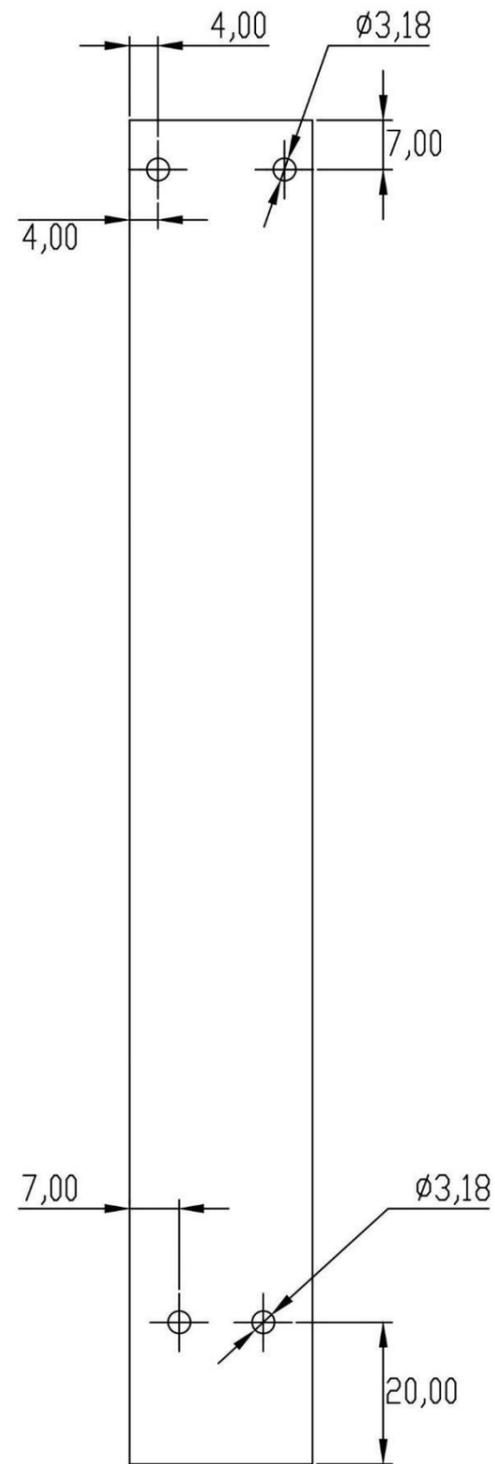
**FECHA:  
2021/09/17**

**LÁMINA:  
3**

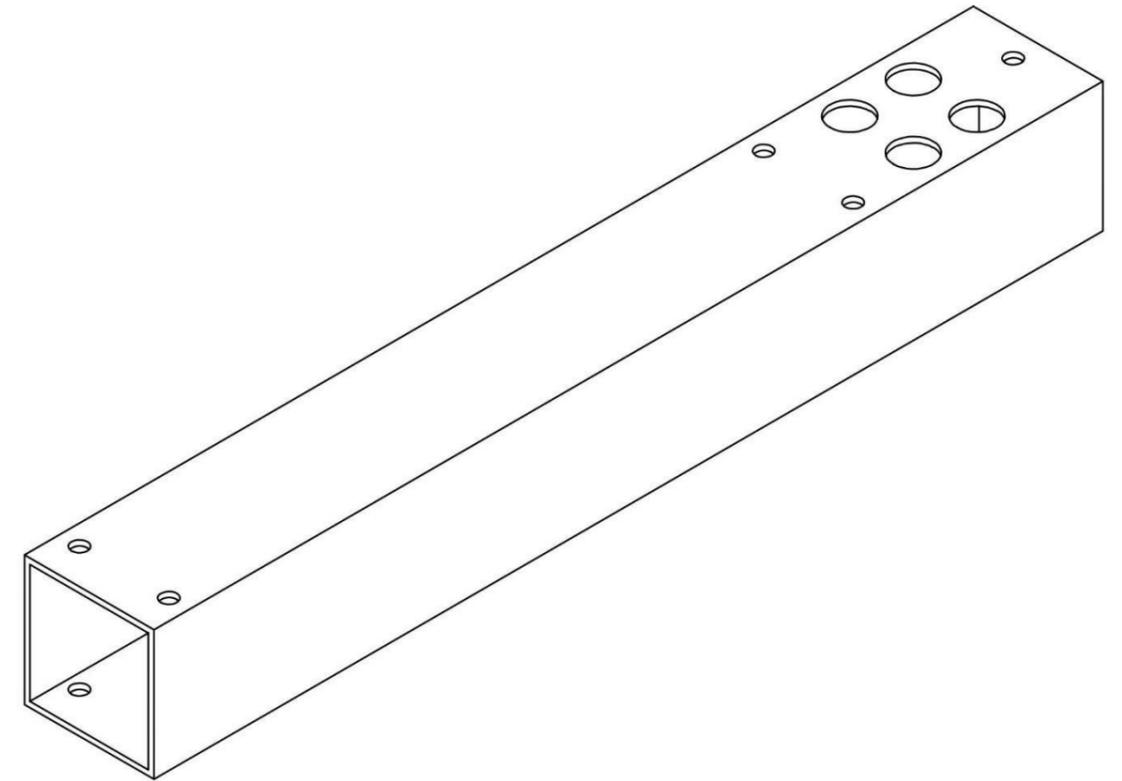
### VISTA SUPERIOR



### VISTA INFERIOR

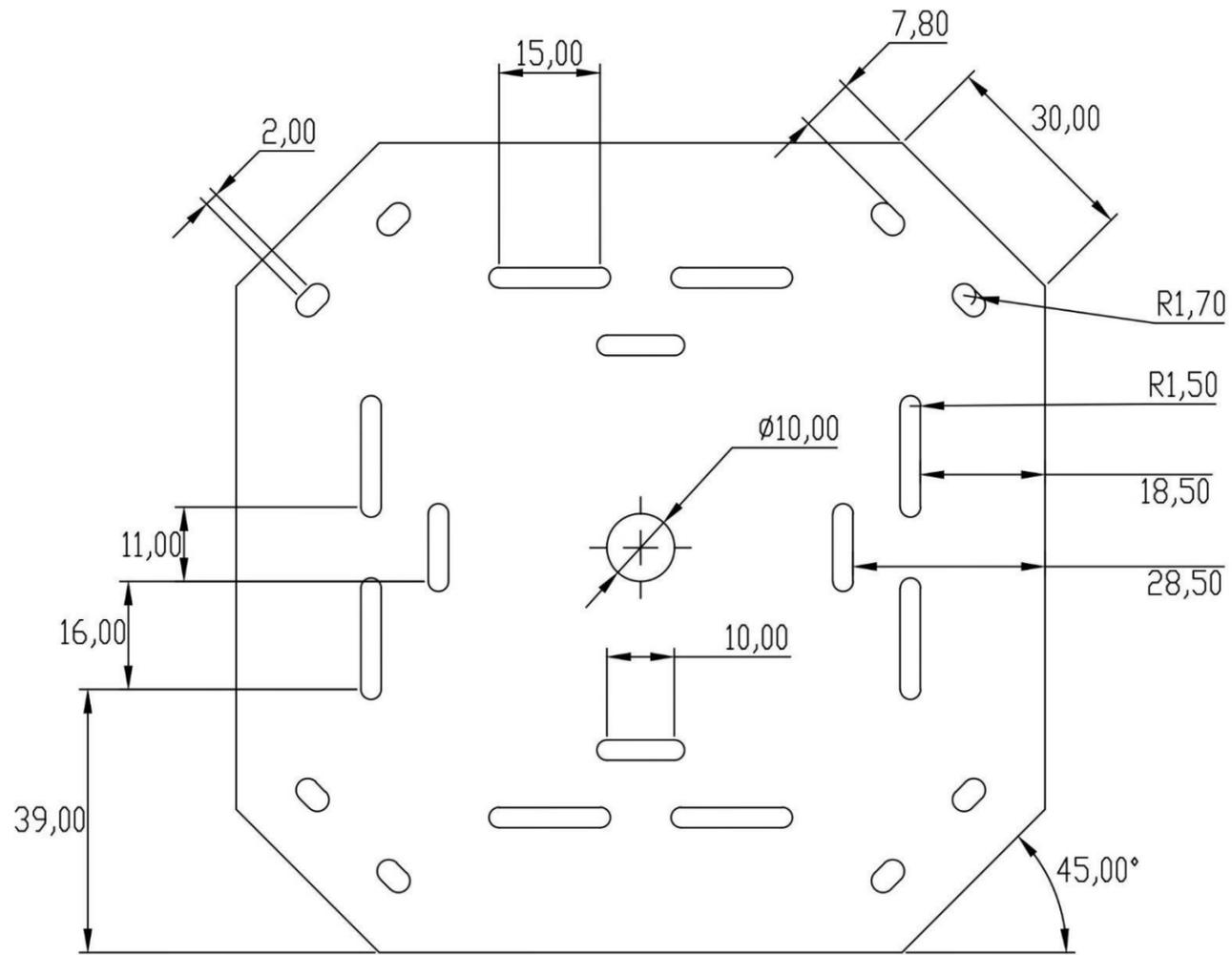


### VISTA ISOMÉTRICA

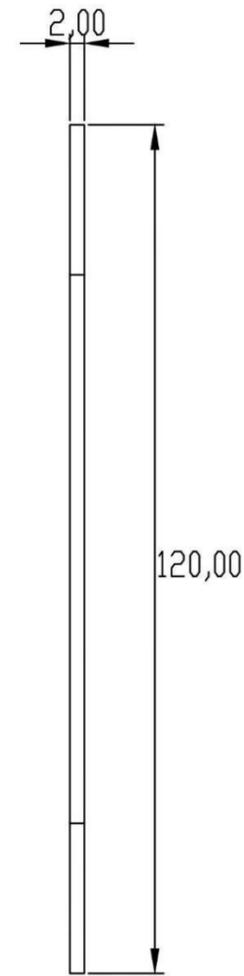


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
<b>BRAZO</b>	MEDIDAS: MILÍMETROS	MATERIAL: ALUMINIO
	ESCALA: 1:1	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: SEBASTIAN CAZA DANNY VILLEGAS	FECHA: 2021/09/17	LÁMINA: 5

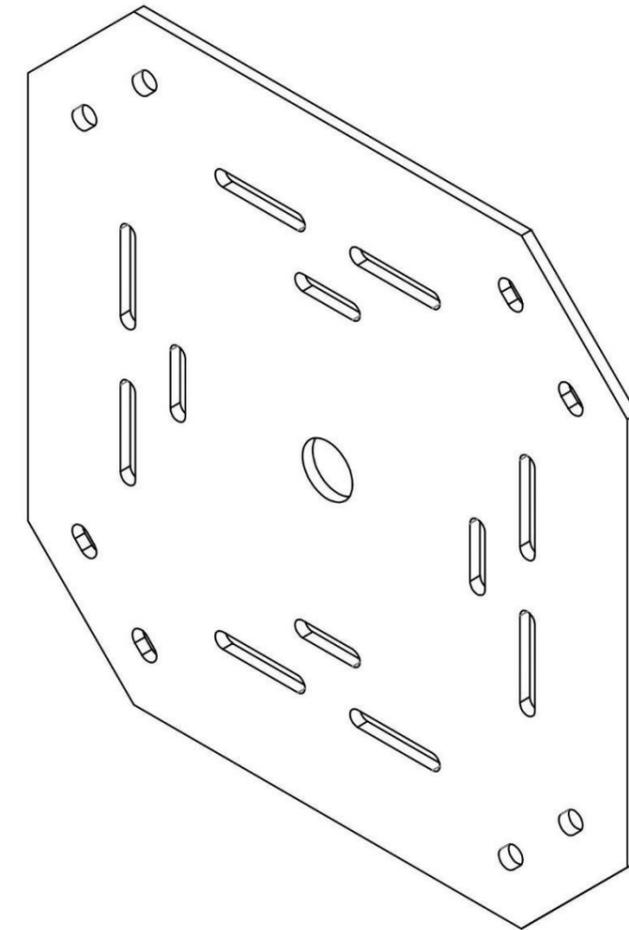
VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



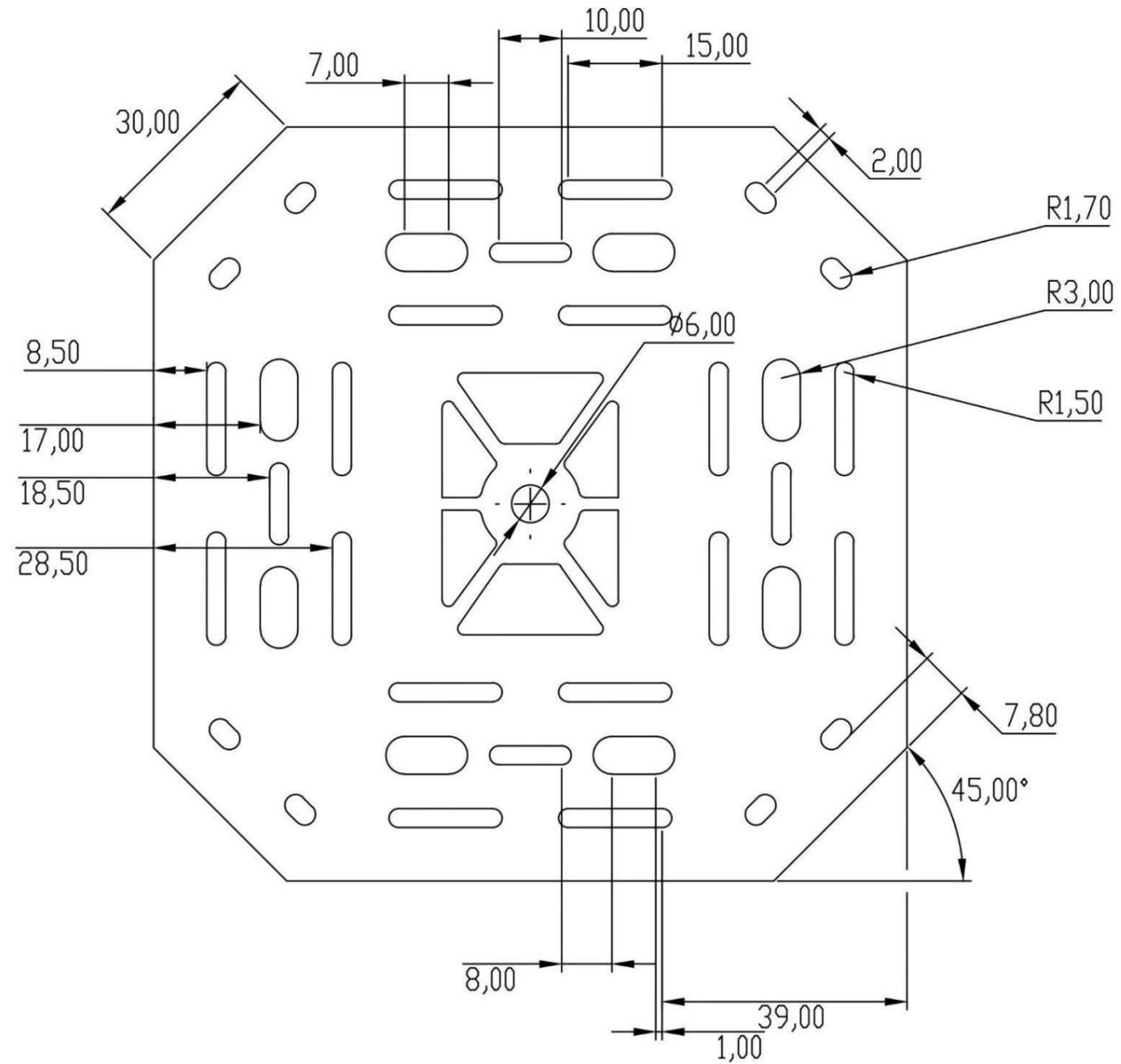
VISTA ISOMÉTRICA



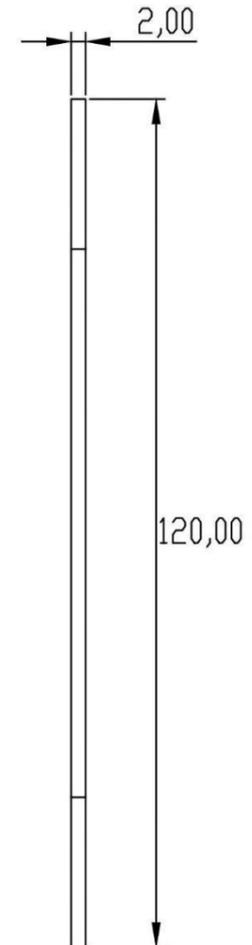
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT

<b>PLACA SUPERIOR CENTRAL</b>	MEDIDAS: MILÍMETROS	MATERIAL: ACRÍLICO NEGRO
	ESCALA: 1:1	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: SEBASTIAN CAZA DANNY VILLEGAS	FECHA: 2021/09/17	LÁMINA: 4

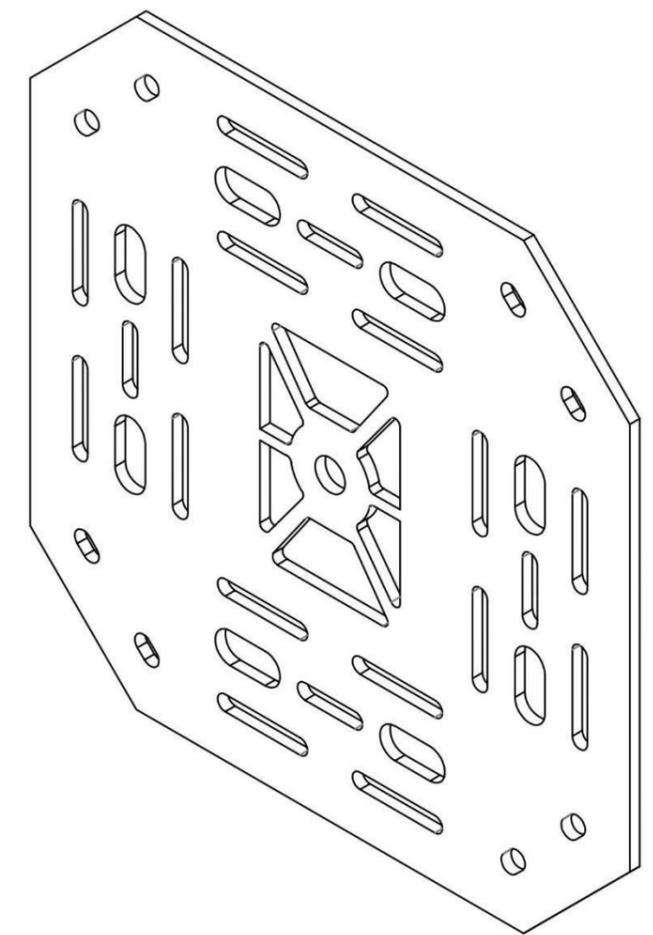
VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



VISTA ISOMÉTRICA



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL - ESFOT		
PLACA CENTRAL INFERIOR	MEDIDAS: MILÍMETROS	MATERIAL: ACRÍLICO NEGRO
	ESCALA: 1:1	FORMATO: A3
DISEÑADO POR: SEBASTIAN CAZA DANNY VILLEGAS	FECHA: 2021/09/17	LÁMINA: 1