

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE ELECTRICIDAD

**IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE AERONAVE NO TRIPULADA CON  
SISTEMA FIRST PERSON VIEW (FPV).**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la  
obtención del título de Ingeniero en Electricidad

**AUTOR:**

STALYN PATRICIO CHILUISA MESA

**TUTOR:**

ING. FRANCISCO NARANJO COBO MSC.

Ibarra – Ecuador

2023



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	100461635-3		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Chiluisa Mesa Stalyn Patricio		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Av. 17 de Julio		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:spchiluisam@utn.edu.ec">spchiluisam@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0994546649

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE AERONAVE NO TRIPULADA CON SISTEMA FIRTS PERSON VIEW (FPV).
<b>AUTOR (ES):</b>	Stalyn Patricio Chiluisa Mesa
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	21/02/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> <b>PREGRADO</b> <input type="checkbox"/> <b>POSGRADO</b>
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería en Electricidad
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	Ing. Francisco Naranjo Cobo Msc.

## Constancia

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor a terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de febrero de 2023

EL AUTOR:



Chiluisa Mesa Stalyn Patricio.

Cédula: 1004616353.



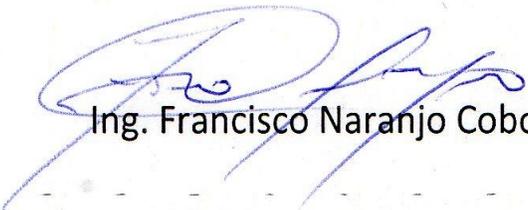
# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

### CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

Yo, Francisco Naranjo Cobo en calidad del tutor del señor Chiluisa Mesa Stalyn Patricio certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: "IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE AERONAVE NO TRIPULADA CON SISTEMA FIRTS PERSON VIEW (FPV)":

Para obtención del título de Ingeniero en Electricidad, aprobado la defensa, impresión y empastado.

  
Ing. Francisco Naranjo Cobo Msc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## **Dedicatoria**

Este trabajo de grado va dedicado a mis padres por darme la oportunidad de estudiar, fomentarme valores y virtudes. También dedicar este trabajo a mi esposa Tania e hijo Anthony quienes me han ido forjando como persona y junto a ellos he compartido alegrías, tristezas y muchos momentos amenos.

Decirles que el camino es difícil, que la vida cada vez se pone más complicada, pero siempre buscaremos la manera de sobresalir los problemas y seguir para adelante teniendo un mejor por venir.

STALYN CHILUISA

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a Dios Jehová por darme la vida y salud día a día, agradezco a mis padres por darme la vida y los estudios académicos. Un profundo agradecimiento a mi esposa Tania Bolaños, mi hijo Anthony Jesús por darme la motivación para poder terminar una etapa más de la vida.

Agradezco a mis profesores, en especial a mí tutor Ing. Francisco Naranjo Msc. que han sido una guía para seguir creciendo como persona y profesionalmente, por brindarme sus conocimientos y, con sus experiencias y anécdotas irme preparando para la vida.

A mis compañeros y amigos de aula, con quienes compartí muchas experiencias, buenas y malas, con quienes a veces ganábamos, perdíamos, pero siempre aprendíamos.

STALYN CHILUISA

## Tabla de Contenido

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	II
Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
ABSTRACT.....	XIV
<b>A1. Contextualización.....</b>	<b>XV</b>
<b>A2. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>XVIII</b>
<b>A3. Justificación.....</b>	<b>XIX</b>
<b>A4. Alcance.....</b>	<b>XIX</b>
<b>A5. Objetivo General.....</b>	<b>XX</b>
<b>A6. Objetivos Específicos.....</b>	<b>XX</b>
Capítulo 1.....	1
1. Vehículo aéreo no tripulado.....	2
1.1.1. Según sus usos.....	3
<b>Drones militares.....</b>	<b>3</b>
<b>Drones civiles.....</b>	<b>4</b>
1.1.2. Según sus alas.....	4
1.1.2.1. Ala fija.....	4
Avión.....	5
Aeroplano.....	5
1.1.2.2. Multirotor.....	6
Tricóptero (3 motores).....	6
Cuadricópteros (4 motores).....	7
Hexacópteros (6 motores).....	7
Octacópteros (8 motores).....	8
1.1.3. Según el método de control.....	10
Capítulo 2.....	11
Metodología.....	12
Diseño general del prototipo.....	14
2. Componentes de un dron.....	15
Motores.....	15
Hélices.....	16

Variadores de velocidad o ESC .....	17
Controladora de vuelo .....	18
PDB (Power Distribution Board) .....	19
Batería.....	20
Sistema de video. ....	21
Sistema de carga inalámbrica .....	22
Estructura .....	25
2.1. Diseño del Hardware del prototipo de la aeronave .....	26
2.1.1. Elección de la Estructura .....	26
Frame de Carrera .....	26
Frames de Freestyle .....	27
Frames de Long Range .....	28
2.1.2. <b>Descripción del diseño del Vant usado</b> .....	29
2.2. Diseño Electrónico del prototipo .....	32
2.2.1. Esquema electrónico general del prototipo .....	32
Dimensionamiento de materiales.....	32
<b>Motores</b> .....	32
Hélices .....	36
Electronic Speed Controller (ESC) .....	37
Controladora de vuelo .....	38
Sistema First Person View.....	39
<b>GPS</b> .....	42
<b>Batería</b> .....	43
Radio Control .....	47
<b>Gafas First Person View</b> .....	48
<b>Cargador Inalámbrico</b> .....	49
<b>Esquema de bloques del sistema de carga inalámbrica.</b> .....	53
Emisor de carga Inalámbrica .....	53
<b>Receptor de carga inalámbrica</b> .....	54
<b>Módulo BMS</b> .....	54
Capítulo 3 .....	57
3.1. Fabricación .....	57

3.1.1. Impresión en 3D. ....	57
3.2. Implementación.....	60
3.2.1. Conexión de la controladora de vuelo y ESC.....	60
3.2.2. Conexión de los motores. ....	61
3.2.3. Conexión del receptor.....	62
3.2.4. Conexión del transmisor de video.....	62
3.2.5. Conexión de la cámara FPV.....	63
3.2.6. Conexión del sistema de carga inalámbrica.....	63
3.3 Programación del prototipo en Betaflight.....	65
3.4 Pruebas de funcionalidad.....	70
3.4.1. Tiempo de vuelo.....	71
3.4.2. Altura alcanzada.....	72
3.4.3. Calidad de señal de video.....	73
Conclusiones.....	74
Recomendaciones.....	75
Bibliografía.....	76
Anexos.....	81
Anexo 1. Modelo 3D de la estructura seleccionada.....	81
Anexo 2. Impresión de las piezas en 3D.....	81
Anexo 3. Armado e implementación.....	82
<b>Anexo 4. Pruebas de Vuelo.....</b>	<b>85</b>
<b>Anexo 5. Sistema de Carga Inalámbrica.....</b>	<b>88</b>
Pruebas de voltaje.....	88
Prueba de corriente.....	90

## Índice de Figuras

Figura. 1 Tipos de vant. ....	3
Figura. 2 Vehículo sin supervisión de ala fija. ....	5
Figura. 3 Modelo de un aeroplano.....	6
Figura. 4 Estructura de un tricóptero. ....	6
Figura. 5 Estructura de un cuadricóptero. ....	7
Figura. 6 Estructura de un hexacóptero. ....	8
Figura. 7 Tipos de drones aéreos.....	9
Figura. 8 Flujograma de la metodología. ....	12
Figura. 9 Diagrama de bloques del diseño general del prototipo. ....	14
Figura. 10 Motor brushless.....	16
Figura. 11 Pasos de las hélices.....	16
Figura. 12 Hélice de un dron. ....	17
Figura. 13 Variador de velocidad de 30A. ....	17
Figura. 14 Funcionamiento de un ESC. ....	18
Figura. 15 Tarjeta controladora de vuelo.....	19
Figura. 16 Power distribution board.....	19
Figura. 17 Batería de litio 3S.....	21
Figura. 18 Cámara FPV. ....	22
Figura. 19 Esquema carga inalámbrica. ....	22
Figura. 20 Relación potencia vs vueltas voltio.....	23
Figura. 21 Relación corriente vs calibre del conductor. ....	24
Figura. 22 Estructura básica de un dron.....	25
Figura. 23 Frames de carreras. ....	26
Figura. 24 Frame de freestyle. ....	27
Figura. 25 Frame de Long Range. ....	28
Figura. 26 Modelamiento en 3D del VANT usado. ....	30
Figura. 27 Esquema electrónico general del dron.. ....	32
Figura. 28 Motor brushless 2306 2450 kV.....	35
Figura. 29 GeamFan 51466. ....	36
Figura. 30 Electronic speed controllers (ESC).....	38
Figura. 31 Controladora de vuelo. ....	39
Figura. 32 Transmisor de video Eachine TX805.....	40
Figura. 33 Caddx Ratel 2. ....	41
Figura. 34 Receptor FlySki iA6B.. ....	42
Figura. 35 GPS Beitian BN- 880.....	43
Figura. 36 Cálculos hechos por la herramienta eCalc. ....	46
Figura. 37 Batería de Lipo 3S 2700mAh. ....	47
Figura. 38 Radio control FlySky i6.....	48
Figura. 39 Gafas Iflight FPV. ....	49
Figura. 40 Esquema de bloques del sistema de carga inalámbrica. ....	53
Figura. 41 Cargador Inalámbrico.....	53
Figura. 42 Receptor de carga inalámbrica.....	54

Figura. 43 Módulo BMS 3S 40A.....	55
Figura. 44 Inicio del software Betaflight.....	56
Figura. 45 Parte frontal con compartimiento para GPS. ....	57
Figura. 46 Brazos frontales y traseros del dron.....	58
Figura. 47 Tapa protectora para batería.....	58
Figura. 48 Tapa inferior del dron. ....	59
Figura. 49 Estructura media del dron. ....	59
Figura. 50 Diagrama de conexiones internas del dron. ....	60
Figura. 51 Conexión física entre controladora de vuelo y Esc 4 en 1.. ....	61
Figura. 52 Conexión física entre Esc y motores. ....	61
Figura. 53 Conexión entre controladora de vuelo y receptor. ....	62
Figura. 54 Conexión del transmisor de video SucceX. ....	62
Figura. 55 Conexión entre la controladora de vuelo y la cámara FPV. ....	63
Figura. 56 Diagrama de conexión del sistema de carga inalámbrica.....	63
Figura. 57 Flasheo de la controladora de vuelo.....	65
Figura. 58 Calibración del prototipo en apartado ajustes.....	66
Figura. 59 Configuración de puertos. ....	66
Figura. 60 Apartado configuración. ....	67
Figura. 61 Configuración receptor. ....	68
Figura. 62 Configuración Motores. ....	68
Figura. 63 Configuración OSD. ....	69
Figura. 64 Configuración transmisor de video. ....	69
Figura. 65 Implementación del prototipo. ....	70
Figura. 66 Dron armando motores. ....	71
Figura. 67 Dron despegando.....	71
Figura. 68 Altura alcanzada del Dron. ....	72
Figura. 69 Dron sobrepasando la altura de un árbol. ....	72
Figura. 70 Calidad de señal de video. ....	73

## Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación del tipo de drones en relación con sus pesos. ....	4
Tabla 2 Cuadro comparativo entre ala fija y ala rotativa .....	9
Tabla 3 Ventajas y desventajas de las baterías Litio. ....	20
Tabla 4 Comparativa entre frames. ....	29
Tabla 5 Comparación de hélices para elección .....	34
Tabla 6 Comparación entre controladoras de vuelo. ....	38
Tabla 7 Componentes y sus valores de corrientes. ....	43

## **Resumen**

Con el pasar de los años, la tecnología cada día ha ido cambiando la forma de realizar las actividades, con la implementación de maquinaria, robots y drones, ha fomentado que el trabajo del ser humano sea menos complejo, tal es esto que los drones se han vuelto una herramienta de gran ayuda en muchos ámbitos de la sociedad, como, por ejemplo, búsqueda y rescate, investigación, vigilancia, fotografía, entre otras. Por esta razón en el presente proyecto se desarrolla la implementación de aeronave no tripulada con sistema First Person View (FPV), que se basa principalmente en poder visualizar en primera persona lo que la aeronave observa en el momento, para lo cual, se realizará una revisión bibliográfica acerca de los diferentes tipos de drones y sus estructuras que existen, por consiguiente, se seleccionará la estructura a usarse en base a los requerimientos necesarios del proyecto, también, se elegirán los componentes más apropiados para tener un correcto funcionamiento. Además, se usó el programa de software libre Betaflight para la configuración de los componentes del prototipo y la comprobación de funcionamiento correcta.

**Palabras claves:** Dron, VANT, FPV, Controladora.

## **ABSTRACT**

Over the years, technology has been changing every day the way of performing activities, with the implementation of machinery, robots and drones, has made the work of human beings less complex, such is this that drones have become a tool of great help in many areas of society, such as search and rescue, research, surveillance, photography, among others. For this reason in this project the implementation of unmanned aircraft with First Person View (FPV) system is developed, which is based mainly on being able to visualize in first person what the aircraft observes at the time, for which, a literature review will be made about the different types of drones and their structures that exist, therefore, the structure to be used will be selected based on the necessary requirements of the project, also, the most appropriate components will be chosen to have a correct operation. In addition, the free software program Betaflight was used for the configuration of the prototype components and the verification of correct operation.

Keywords: Drone, UAV, FPV, Controller.

## Introducción

### A1. Contextualización.

La inseguridad en el mundo siempre ha dado mucho de qué hablar, debido a que día a día va en incremento y ha provocado que la seguridad e integridad de las personas, al igual que la seguridad pública. Dicha seguridad que se ha visto afectada por diferentes factores que han dado paso a que muchas personas opten por realizar acciones antisociales, afirmando que la falta de empleo lo ha causado, y deseando un mejor por venir, perturbando así a varias ciudades de todo el mundo. Tal es el caso de la ciudad de Ibarra en la cual la inseguridad ha ido en incremento provocando en la población temor y dudas, ya sea al transitar por las calles, parques de recreación, entre otros (Giraldo Fausto, 2020). Por tal motivo la seguridad se ha convertido en un tema muy relevante en el mundo, proponiendo ideas como sistemas de vigilancia, mejoramiento de videocámaras e incluso creación de nuevas tecnologías.

En los últimos años, debido al continuo aumento de la investigación técnica para cubrir diferentes tipos de necesidades, las aeronaves no tripuladas han sido un tema de gran trascendencia porque se utilizan para vigilancia, fotografía y recolección de información, estas aeronaves presentan diferentes formas y tamaños que varía según la necesidad. Por esta razón, tienen diferentes parámetros que rigen a la aeronave, y cada vez se pretende lograr que la aeronave sea más compacta y con mejores características aerodinámicas, y así se pueda lograr una mayor agilidad y reducir el consumo de recursos. Por lo tanto, la aeronave no tripulada es un complemento del sistema de aviación, porque se toma en cuenta de la base técnica de la generación anterior y, por lo tanto, abre nuevas posibilidades y aplicaciones de la misma aeronave para la humanidad y los beneficios que aporta. (Guido Matamoros Ruíz, 2010), (Chávez, 2017).

Con estas aeronaves no tripuladas se ha visto mejorada la vida de las personas en gran escala, y aún más si se implementan diferentes tipos de sensores que ayuden a facilitar el trabajo a los seres humanos, sistemas como el Firts Person View (FPV).

El sistema First Person View (FPV) o su traducción vista en primera persona, es un conjunto de cámara, emisor y receptor que ayuda a mejorar las aplicaciones de las aeronaves no tripuladas, tal es el caso de vigilar un área desde un punto alejado y presenciar los acontecimientos ahí observados. Además, las aeronaves no tripuladas poseen en su interior una serie de circuitos que tienen que estar correctamente fijados ya que, debido a la aerodinámica de la nave y su modo de uso, esta puede sufrir golpes o caídas, dando como resultado la reducción a la vida útil. (Drones, 2021), (Qempo, 2017).

Los choques o caídas de las aeronaves no tripuladas pueden suceder por diversas situaciones, tales como, falla en los circuitos debido a algún golpe, choques imprevistos por algún objeto que se atravesó, por condiciones climáticas, por falla de energía que suministra a la aeronave.

Debido a que cada parte de la aeronave se complementa, si presenta un daño ya sea interno o externo provoca que todo el dispositivo deje de funcionar. Aunque con las aeronaves tripuladas las fallas son consideradas como fallas humanas, en las aeronaves no tripuladas las fallas corresponden al sistema técnico, fallas en despegue o desbalance en el vuelo, así lo analizó los investigadores Graham Wild y Glenn Baxter (Castellanos Jorge, 2016) quienes dicen que estos tipos de aeronaves tienden a involucrarse en fallas que no corresponden al ser humano que lo controla. Por la razón antes mencionada es importante dar mantenimiento a las aeronaves no tripuladas, logrando así que su eficacia sea siempre la óptima, su eficacia al momento de sobrevolar sea la mejor, con este mantenimiento se pretende llegar a prevenir accidentes y desgastes que sufren las aeronaves, ya sea por el tiempo de uso y vuelo (Skymotion, 2020).

Para el diseño e implementación del prototipo de aeronave no tripulada se pueden usar métodos de control y comunicación a distancia, dejando establecida la manera de comunicación y programación en software de control o a través del control de mando remoto de la aeronave. Al igual que integrar nuevos sistemas que permitan mejorar la funcionalidad de la aeronave, incluyendo sensores GPS, velocidad, ultrasonido, entre otros, mejorando así las aplicaciones de

reconocimiento, verificación y detección. (Santos, Stemmer, & Vasques, 2002), (Passuni Córdova, 2017).

## **A2. Planteamiento del Problema**

La inseguridad en el mundo ha ido en incremento año tras año provocando temor en las personas, deseando tener tranquilidad de estar fuera del hogar y no correr ningún riesgo, tal es el caso del barrio Monseñor Leonidas Proaño en el cual se ha observado que tiene un índice de delincuencia un poco elevado, debido a que existen muchas personas nacionales o extranjeras que consumen estupefacientes o bebidas alcohólicas, lo que ha provocado una inseguridad para sus moradores, ya que se ha registrado muchos casos de robo e intento de secuestro de los niños que viven en la localidad. Además, con la situación mundial sobre la enfermedad del síndrome respiratorio agudo severo coronavirus 2 (SARS-CoV-2) este problema se ha acentuado, de esta manera, la pandemia ha logrado que los índices de pobreza a nivel mundial se incrementen de manera exponencial, esto a su vez ha provocado que, por la falta de dinero muchas personas tiendan a cometer actos antisociales, por lo cual en muchas ciudades se ha visto el incremento de delincuencia.

Por lo mencionado, se observa que el problema de la inseguridad ha existido y que la emergencia sanitaria solo lo ha aumentado, por lo que conlleva a proponerse la siguiente pregunta:

Pregunta de Investigación:

¿Cómo diseñar un prototipo de aeronave no tripulada para el monitoreo aéreo utilizando un sistema First Person View?

### **A3. Justificación**

En la indagación de una nueva forma de vigilancia el presente proyecto pretende establecer una manera de reducir la inseguridad y aumentar la protección a las personas. Con ayuda de las aeronaves no tripuladas que cada vez son más comunes en la actualidad, debido a que estos dispositivos tienen diferentes características, muchas de ellos presentan ventajas por su eficacia y sus avances tecnológicos, estas cualidades son las mismas que mejoran la forma de uso y aplicación. Pero lo más importante es que el objetivo de las aeronaves no tripuladas ya no es su tecnología, sino que se centra en las aplicaciones como: geolocalización, vigilancia, fotografía, entre otros. En este sentido, el enfoque del proyecto es implementar un prototipo de aeronave no tripulada que realice un monitoreo aéreo, el cual tendrá un impacto específico en los habitantes del sector una vez finalizado, ya que se dispondrá de un sistema de monitoreo aéreo remoto. Teniendo como beneficiarios del proyecto tecnológico a los moradores del barrio Monseñor Leonidas Proaño.

### **A4. Alcance**

El presente trabajo consiste en la elaboración de un prototipo de aeronave no tripulada el cual implementará el sistema First Person View que se basa en la incorporación de videocámara, transmisor y receptor. Además, pretende poseer características técnicas como una autonomía de 15 minutos de vuelo tras ser alimentado con una batería de polímero de litio (LIPO), el voltaje de la batería se lo establecerá con cálculos previos a la realización. Incorporará motores brushless, además, el prototipo poseerá una velocidad estimada de 15m/s, y con un peso estimado de 1,5 kg. Cabe destacar que para el análisis se considerará a la aeronave como un cuerpo rígido y así despreciar los efectos aeroelásticos que pueden incidir en el vuelo.

## **A5. Objetivo General**

Implementar un prototipo de aeronave no tripulada para el monitoreo aéreo del barrio Monseñor Leonidas Proaño de la ciudad de Ibarra, mediante un sistema Firts Person View (FPV).

## **A6. Objetivos Específicos**

1. Describir las tecnologías relativas a vehículos aéreos no tripulados con sistema FPV.
2. Diseñar el prototipo de aeronave no tripulada.
3. Implementar un prototipo de aeronave no tripulada con sistema Firts Person View.

## **Capítulo 1**

### **Aeronaves no tripuladas, usos y elementos que los componen.**

#### INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo se realiza la contextualización de las aeronaves no tripuladas, dando a destacar los aspectos más importantes que se relacionan con el tema a tratarse, empezando con la definición y los diferentes tipos que existen de tema, además dando a conocer el distinto uso para los que son empleados los vehículos aéreos no tripulados. Dentro de los tantos temas a tratarse se abarcará acerca de los distintos materiales que constituyen un dron y como ayudan cada uno de estos para su correcto funcionamiento. De la misma forma se establecerá los diferentes tipos de drones que existen y como esta constituidos cada uno de ellos y como afecta su configuración a la estabilidad del dispositivo.

Todo esto es necesario para el diseño del prototipo posterior ya que es de vital importancia conocer el material a usarse y cómo afectará el peso en el comportamiento del dispositivo, ya que la parte del peso viene a ser una variable que presenta un papel muy importante en todo lo que respecta al tema, por lo cual se realizará distintas descripciones basadas en el peso y estabilidad.

Por último, en este capítulo se realizará un estudio y especificando los diferentes tipos de dispositivos que existen, además de estudiar el funcionamiento de los distintos componentes electrónicos, y como deben ser usados estos para que funcionen correctamente.

## **1. Vehículo aéreo no tripulado**

Con la aparición de los vehículos no tripulados en el año 1949 en forma de globo y usado para transportar explosivos han pasado 73 años en los cuales con los avances tecnológicos, cada día se van implementando nuevos sistemas que han logrado que el ser humano tenga facilidades en algunos trabajos como por ejemplo: inspeccionar, fotografiar, vigilar un área determinada y hasta transportar objetos de un lugar a otro en menor tiempo y desde la comodidad de hogar; tales dispositivos son los vehículos aéreos no tripulados o también conocidos como VANT que hace referencia al control de aeronaves remotamente, por lo cual se define como aeronaves que no poseen pilotos a bordo, pero a su vez poseen la capacidad de controlarse desde tierra por mandos a distancia y que incorporan sensores que permiten la comunicación en tiempo real (Fajardo, 2014) (Brooke-Holland, 2012).

También se puede definir como un dispositivo electrónico aéreo que no tiene piloto o pasajeros a bordo con multipropósitos, que usa diferentes sensores para mejorar su aplicabilidad en distintas áreas y que no tiene un método fijo de conducción (Kardasz, Doskocz, Hejduk, Wiejkuć, & Zarzycki, 2016).

### **Ventajas de un VANT**

- Usado para situaciones riesgosas
- Fácil acceso a lugares remotos
- Son controlados remotamente
- Menor contaminación
- Control y monitoreo aéreo
- Mayor precisión
- Mayor versatilidad
- Fácil manejo

Los VANT debido a su utilidad y forma de empleo se pueden clasificar en diferentes grupos como se aprecia en la Figura. 1.

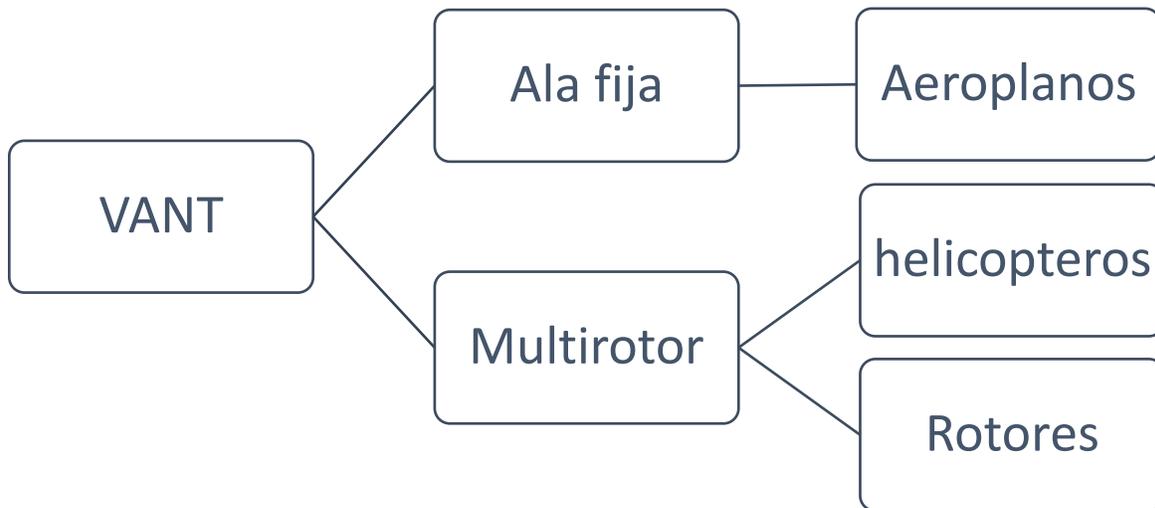


Figura. 1 Tipos de vant. Fuente: (Barrientos, Cerro, Gutiérrez, & Martin, 2015).

Algunos drones dependerán de su uso civil o militar con respecto a la relación en su tamaño y peso.

## 1.1 Tipos de drones

### 1.1.1. Según sus usos

Los drones se pueden diferenciar en dos grupos según la función a desempeñar, uso militar o uso civil.

### Drones militares

Este tipo de drones son empleados por las fuerzas militares para realizar distintas operaciones de investigación, espionaje, reconocimiento o seguridad aérea de las tropas.

Pero el uso de estos drones en este campo ha tomado gran relevancia debido al hecho de ser una aeronave no tripulada, por lo cual, en caso de ser abatida por el ejército contrario, no pueden sufrir la pérdida del piloto. Esto ha conllevado que los drones cada vez sean implementados con tecnologías específicas de acuerdo a la aplicación que vaya a desarrollarse (García, 2017).

## Drones civiles

Dentro de este apartado existen los drones que se diferencian especialmente en su uso comercial o aficionado.

Para el uso comercial, el dron debe poseer características y tecnologías específicas según el trabajo a desempeñar y como la empresa lo requiera así, por ejemplo, si es una empresa de envíos, el dron necesitará poseer una autonomía considerable para que pueda llegar a su destino y regresar.

Para el uso aficionado, se puede evidenciar que los drones incorporan cada vez tecnologías que se basan en la grabación de video y toma de fotografías, por lo cual hace que los drones de este ámbito sean más asequibles para las personas y su uso sea más común (García, 2017).

Además, esta clasificación de los tipos de drones varía según su peso, tal como se muestra en la siguiente tabla 1.

Tabla 1 Clasificación del tipo de drones en relación con sus pesos.

<b>Clase</b>	<b>Tipo</b>	<b>Peso</b>
<i>Clase I (a)</i>	Nano Drones	≤200g
<i>Clase I (b)</i>	Micro Drones	200g ≤2kg
<i>Clase I (c)</i>	Mini Drones	2kg ≤ 20 kg
<i>Clase I (d)</i>	Pequeños Drones	20kg ≤ 150kg
<i>Clase II</i>	Drones Tácticos	150kg ≤ 600kg
<i>Clase III</i>	Drones de Ataque	>600kg

*Nota.* (Hassanalian & Abdelkefi, 2017).

Por lo mencionado, los drones tienen diferente versatilidad, y debido a esto pueden ser clasificados de la siguiente manera: Ala Fija y Multirotor.

### 1.1.2. Según sus alas

#### 1.1.2.1. Ala fija

Los drones que poseen esta estructura son aquellos que tienen un ala rígida cuyo vuelo es posible con la fuerza de elevación que generan las hélices a través

de motores eléctricos o de combustión (Moguel Márquez, 2018). De igual forma, dentro de esta tipología existen algunos vehículos que poseen Ala fija.

### Avión

Los Aviones son vehículos aéreos que está compuesto por ala rígida, cuyo peso es mayor al del aire, pero con ayuda de uno o varios motores puede mantenerse en vuelo, ya que interviene la fuerza de despegue del motor en conjunto con la velocidad. En la actualidad, este tipo de vehículos como en el de la Figura. 2 se han convertido en una tendencia debido a la diversas aplicaciones que se pueden lograr con su uso, tales así: Vigilancia, Fotografía, Inspecciones técnicas, entre otras (Aeronáutica, 2017).



Figura. 2 Vehículo sin supervisión de ala fija. Fuente: (Graham, 2012).

### Aeroplano

Los Aeroplanos son vehículos aéreos que poseen un ala rígida, cuyo vuelo es logrado por uno o varios motores que lo acompañan, además, a pesar de ser más pesado que el aire emplea la presión que posee el viento y junto con la velocidad puede mantenerse en vuelo. Tal como se puede apreciar en la Figura. 3, el plano de sustentación que es representado por alas con un cierto grado de inclinación también llamado ángulo de ataque (Ingen, 2016) (Gomez, 2009).



Figura. 3 Modelo de un aeroplano. Fuente: (Gómez, 2009).

#### 1.1.2.2. Multirotor

Los drones que poseen Multirotor son los que más se usan en la actualidad debido a su despliegue vertical y su fácil control aéreo, pero con un punto débil en su autonomía. Ya que, debido al gran consumo de energía que requieren los motores, su tiempo de vuelo se vuelve menor, en el cual también se toma en cuenta el peso del dron, ya que los motores emplearán mayor energía al tratar de cambiar el sentido de giro de los motores. Por la cantidad de motores incluidos se pueden clasificar en:

##### Tricóptero (3 motores)

Aeronave no tripulada que posee 3 motores, dos laterales y un motor en la parte posterior, normalmente se usa un servomotor debido a que este último motor tiene que dar el sentido de giro y dirección a la aeronave. A pesar de presentar menos dificultad a la hora de construirlo posee menos estabilidad, por lo cual tiene menor empuje y su tiempo de vuelo depende mucho del peso y estructura del aeronave como se aprecia en la Figura. 4 (Bonilla & Pérez, 2013).



Figura. 4 Estructura de un tricóptero. Fuente: (Newton, 2015).

### Cuadricópteros (4 motores)

Los cuadricópteros son aeronaves no tripuladas que poseen una configuración de 4 motores que se muestra en la Figura. 5, se encuentran mucho mejor optimizados ya que este dispositivo puede poseer baterías más grandes, y también, los motores pueden trabajar a menos revoluciones gracias a que no tienen que dar giros innecesarios que comprometan el tiempo de vuelo de la aeronave. Además, con respecto a la estabilidad mejora en gran medida en comparación a los tricóptero, ya que esta aeronave posee 4 motores que se encuentran ubicados en una configuración en forma de X o + (Cruz) a  $90^\circ$ , por lo que 2 motores giran en sentido horario y los otros 2 motores giran en sentido antihorario para lograr fuerzas dinámicas contrarias y así encontrar la estabilidad, pero esta falla en caso de perder un motor (Macho, 2021) (Bonilla & Pérez, 2013).



Figura. 5 Estructura de un cuadricóptero. Fuente: (Drone, 2018).

### Hexacópteros (6 motores)

Este dispositivo es también un VANT que posee 6 rotores como configuración, cuya estabilidad y autonomía se encuentran mejorados con respecto a los anteriores modelos y configuraciones, en el rendimiento se encuentran baterías con mayor capacidad de voltaje que brinda mucho más tiempo de vuelo, además, al poseer 6 brazos que se encuentran ubicados en los vértices de un hexágono con distancias iguales a  $60^\circ$  uno del otro su estabilidad mejora en gran

medida, ya que en cuyo caso de perder un motor en el aire, su descenso sería controlado y no una caída aparatosa se puede notar en la Figura. 6 (Orna Chávez & Sebastián Dávila, 2015).

El hexacóptero es una mejora en consideración a los cuadricópteros, ya que al poseer sus seis motores les permite mejorar la potencia y aumentar la capacidad de carga, sacrificando el peso obviamente. Este dispositivo es perfecto para cualquier aplicación ya que brinda mayor tiempo de vuelo y una mejor redundancia en el sentido de perder un rotor (Sarche Carrion Felipe Esteban, 2012).

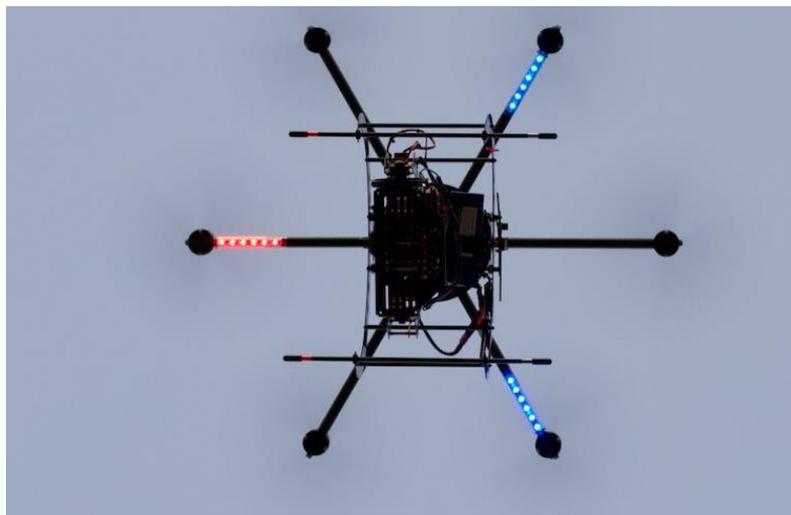


Figura. 6 Estructura de un hexacóptero. Fuente: (Gottfried, 2011).

#### Octacópteros (8 motores)

- Octacópteros en Y
- Octacópteros en V
- Octacópteros en Y invertida
- Octacópteros en X
- Octacópteros en Cruz

También, existen otro tipo de configuración llamada multirotores axiales, la misma que se destaca por poseer 2 motores en cada brazo. Este tipo de configuración se lo realiza especialmente por disminuir el peso del dron, aunque esto afecta a su estabilidad aerodinámica (Guillén, 2018).

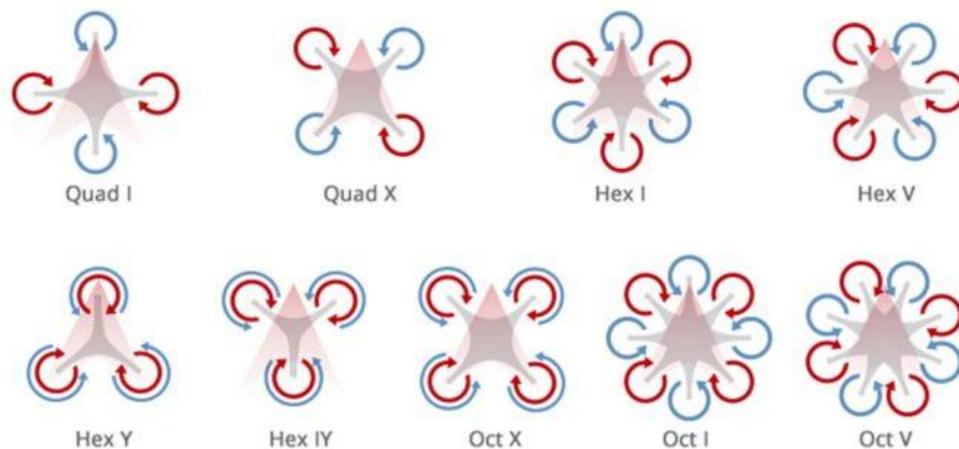


Figura. 7 Tipos de drones aéreos. Fuente: (Guillén, 2018).

En la Figura. 7 se puede denotar como están conformados los drones y sus diferentes tipos y configuraciones. A continuación, se presenta la tabla 2 en la cual se destacan las diferencias entre los tipos de VANT que existen, teniendo en cuenta variables como vuelo, autonomía, energía, y carga útil.

Tabla 2 Cuadro comparativo entre ala fija y ala rotativa

	<b>ALA FIJA</b>	<b>ALA ROTATIVA</b>
<b>VUELO</b>	Mayor altitud	Mayor estabilidad
<b>AUTONOMÍA</b>	Mayor	Menor
<b>MANIOBRA</b>	Menor	Mayor
<b>ENERGÍA</b>	Eléctrico/Explosión	Eléctrico

Nota. (Gastón & Lance, 2014).

Como se puede apreciar en la tabla anterior, se denota como los VANT de ala rotativa tienen mejores ventajas con respecto a los de ala fija, excepto en el hecho de vuelo, ya que las aeronaves de ala fija han demostrado poseer una mejor autonomía de vuelo ya que los aviones utilizan las corrientes de aire que pasan por sus alas para mantenerse en vuelo, y en cuyo caso de fallar un motor, están diseñados especialmente para poder realizar un aterrizaje controlado.

### 1.1.3. Según el método de control

#### *Modo manual*

En este tipo de modo de control, el piloto interactúa con el dron a través de un control remoto, siendo el piloto quien es responsable del movimiento de la aeronave, además se encarga de brindar mayor o menor potencia a los motores, controlar los demás componentes y de asegurarse de que el dispositivo se encuentre dentro del radio de frecuencia del mando a distancia.

#### *Modo automático*

En este tipo de modo el dron sigue un recorrido previamente establecido por el piloto, por lo cual este previamente debió realizar un vuelo en el cual destacó los puntos a recorrer, la ventaja de este tipo de modo es que a pesar del dron incorporar una controladora autopiloto, el piloto puede tomar el control de la aeronave para modificar algún punto del recorrido.

#### *Modo autónomo*

Este modo es parecido al automático, salvo que el dron para este modo de vuelo toma sus propias decisiones, no necesita que el piloto previamente haya recorrido la ruta, sino que por su cuenta recorrerá de un sitio a otro, todo esto a través de los diferentes sensores que posee como son, ultrasonido, reconocimiento óptico, todo esto para evitar chocarse con estructura y llegar a su destino con la mayor eficacia y solvencia.

#### *Modo aislado*

En el modo aislado el piloto ya no actúa sobre la potencia de los motores ni sobre la dirección del dron, más bien, establece en un puesto de control las intenciones a realizarse y el encargado de realizar las acciones necesarias es el autopiloto (García, 2017).

Por lo mencionado, el modo de control manual es el más requerido por los aficionados ya que para emplearlo se necesita tener al dron en un campo de visibilidad en todo momento, ya que de no hacerlo podría estrellarse y averiarse, por lo cual como método de largo alcance, se han implementado sistemas como el FPV (First Person View), Visto en Primera Persona según su traducción

## **Capítulo 2**

### **Diseño del hardware, electrónico y programación del prototipo.**

#### INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza la descripción de los tipos de frames de aeronaves en los diferentes modos de uso que se pueden emplear, junto a las diferentes características que poseen estas estructuras. También se establecerá una comparativa entre los distintos tipos de estructuras y así incorporar la mejor estructura y la más óptima, dependiendo de su peso, distribución y estilo a emplearse. También se definirá el modo de obtención de la estructura, junto con el material usado, ya que esto dependerá mucho en el resto del proyecto.

Los materiales seleccionados se tratarán en este mismo capítulo, observando las especificaciones dadas por los fabricantes, tomando en cuenta cálculos que servirán de referencia para los componentes electrónicos usados para la implementación del prototipo. Además, se describirá los componentes electrónicos usando diagramas de conexión que mostrarán la distribución de estos dentro del VANT.

## Metodología

La metodología que se usó para el siguiente proyecto se basa en la ejecución de los objetivos que se plantearon anteriormente de una manera secuencial, todo esto para que los lectores puedan evidenciar los mismos objetivos al igual que analizarlos en caso de una mejor si fuese necesaria. Por lo cual se planteó dividida en diferentes pasos, que se presentan en la Figura. 8 mostrada a continuación:

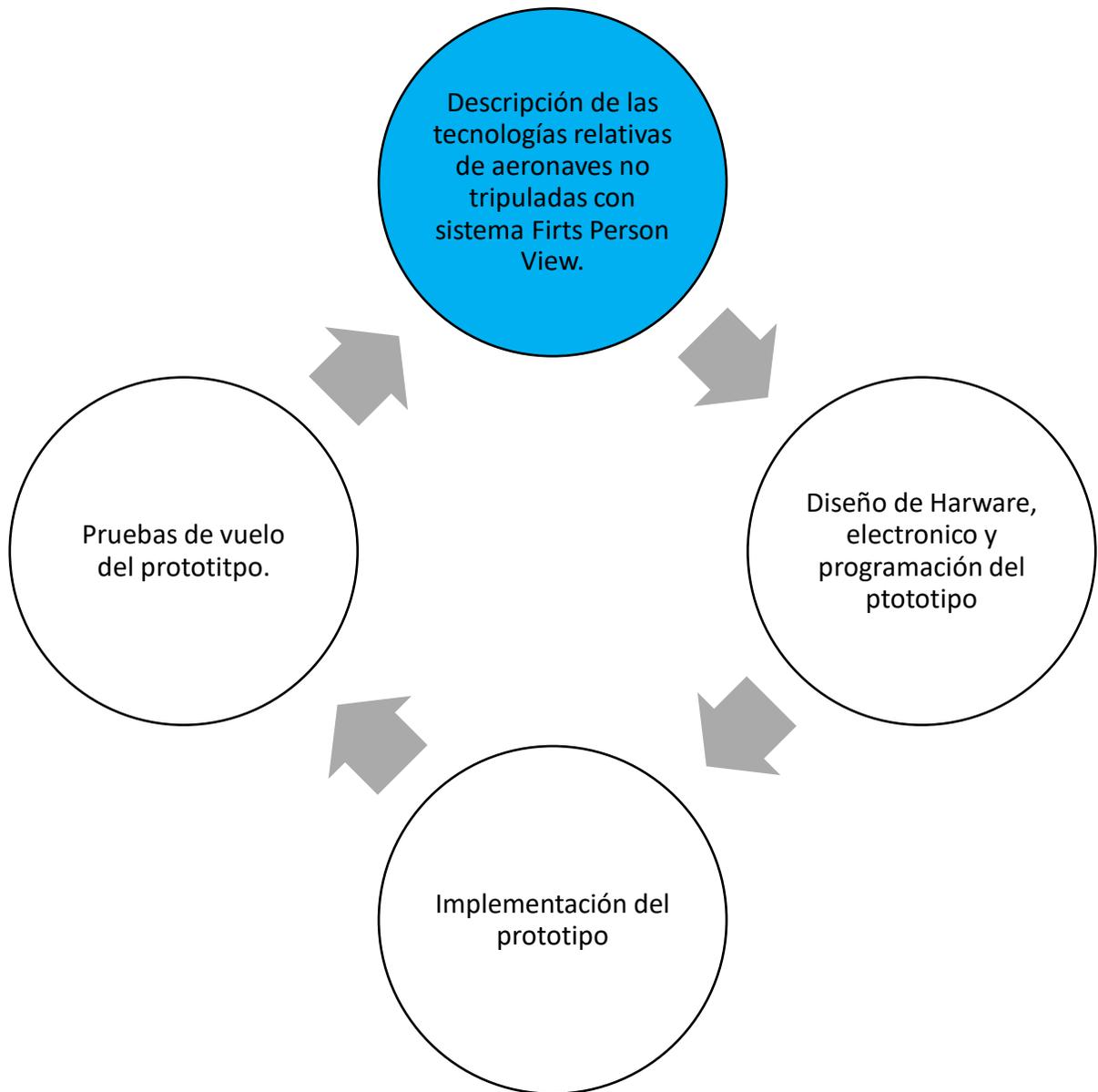


Figura. 8 Flujograma de la metodología.

- Descripción de las tecnologías que se basan en las aeronaves no tripuladas mediante información anterior para la comprensión de dicho tema.
- Elección del diseño, modelado en 3D de la aeronave a ser implementada, selección de los materiales y programación de los componentes usados en conformidad con lo que el proyecto necesita.
- Implementación del dron y verificación de la funcionalidad de este.
- Pruebas de vuelo del prototipo en función de lo que el proyecto requiera.

Esta metodología fue pensada para describir exactamente cada paso a realizarse para la implementación del dispositivo, por lo cual primero se adjunta la descripción de las tecnologías que se relacionan a los VANT, por consiguiente, se recopila información con respecto a los componentes que tiene el dron para su funcionalidad con la finalidad de escoger los mejores y más adecuados para el proyecto. La elección de la estructura es otra parte fundamental ya que permitirá elegir la más adecuada, por lo cual, se selecciona los materiales a usarse y se toma en cuenta realizar una cotización de estos. Una vez adquiridos y elegida la estructura, se procede a la construcción del dispositivo para así finalmente una vez concluido el proyecto realizar la implementación de este, mostrando y verificando la funcionalidad del dron.

## Diseño general del prototipo

A continuación, en la Figura. 9, se presenta el diseño básico de un dron, como está compuesto básicamente.

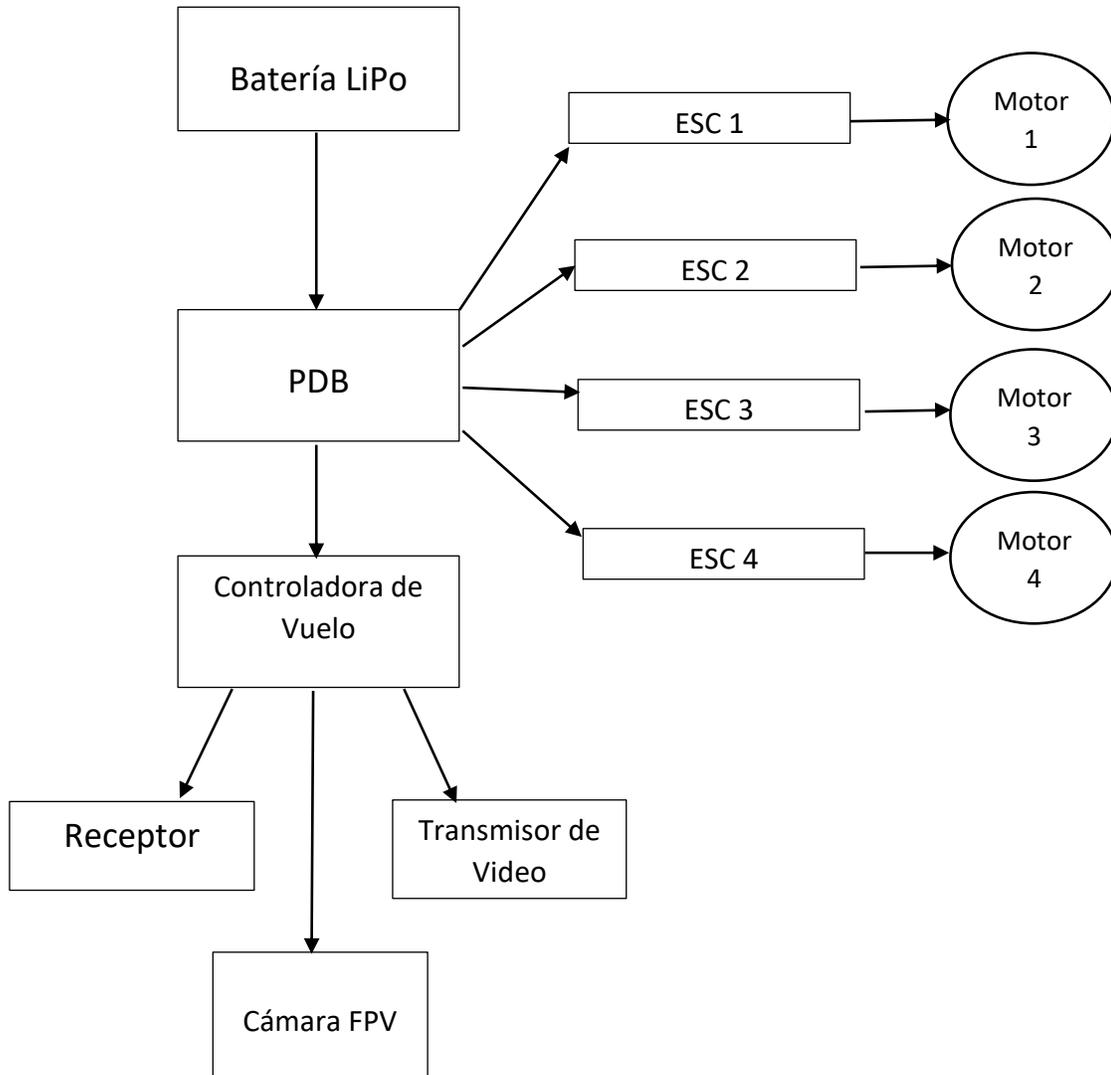


Figura. 9 Diagrama de bloques del diseño general del prototipo.

## **2. Componentes de un dron**

Para la definición de los componentes del dron, el modelo de configuración del dron es el cuadricóptero debido a que posee una mejor estabilidad de vuelo, y económicamente es un poco más accesible para su construcción.

### **Motores**

Los motores que se emplean en las aeronaves no tripuladas son aquellos que no poseen escobillas o, también conocidos como motores brushless, cuya fabricación no presenta problemas al momento de realizar el cambio de polaridad en su bobinado debido a que no posee escobillas. En la Figura. 10, se observa como estos motores son diseñados a partir de una parte móvil llamada rotor y una parte fija llamada estator, en conjunto con imanes permanentes. Por lo cual, Ruipérez (Ruipe rez, 2015) menciona en su tema de grado que la corriente eléctrica que se dirige desde el sistema de alimentación hacia los bobinados del motor provocará una polaridad variable, a su vez estos al entra en contacto con el campo magnético producido por los imanes permanentes dará como resultado que el motor comience a girar, y finalmente para su control de giro se usa variadores o también conocidos como ESC (Cordero & Curutchet, 2017).

Los motores brushless son muy usados en el ámbito de aeronaves no tripuladas, así lo demuestra Padmaraja Yedamale Microchip Technology Inc. (Yedamale, 2003) que entre otras características destaca: poseen una elevada respuesta dinámica, mejor características velocidad-torque, mayor eficiencia y rangos de velocidad mayores. Estas afirmaciones se las realiza gracias a las pruebas en condiciones normales y extremas que se han realizado a dichos motores brushless.



Figura. 10 Motor brushless. Fuente: (Andrew, 2012).

### Hélices

La hélice del cuadricóptero viene a formar una parte muy esencial para realizar el despegue vertical, ya que esta se encargará de generar el suficiente impulso mientras mueve el aire para realizar el vuelo, el tipo y tamaño de la hélice dependen de la cantidad de motores a colocarse, en la cual entran variables como el tamaño del dron, peso y el grado de inclinación se encargará de recoger la cantidad de aire para el empuje y que elevará el dron. Además, un tamaño mayor de longitud de la hélice provoca una fuerza mayor de empuje, y esto también dependerá del paso de la hélice que puede ser corto y paso largo tal como se aprecia en la Figura. 11, y dicho paso es el ángulo que está conformado por las palas, su plano de giro y el grado de inclinación. Estas hélices pueden ser fabricadas de distintos materiales como fibra de carbono, nylon o plástico como lo indica en la Figura. 12 (Ruipérez, 2015) (Gómez & Bautista, 2019).

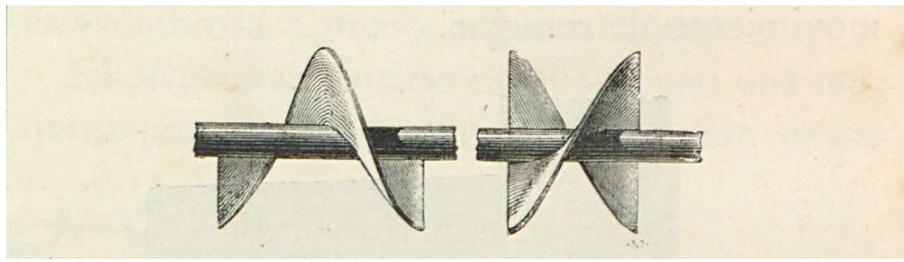


Figura. 11 Pasos de las hélices. Fuente: (Sevilla, 2018).



Figura. 12 Hélice de un dron. Fuente: (Bautista, 2015).

### Variadores de velocidad o ESC

Los variadores de velocidad o ESC (Electronic Speed Controller) se encargarán de regular la potencia eléctrica que ingresa a los motores para poder lograr el giro de estos y que trabajen de una forma eficiente y ágil. Este componente eléctrico se encarga de generar pulsos trifásicos lo que moverá a los motores brushless (Chávez-Arroyo Carillo & Rodríguez Molleda, 2018) (Ruipérez, 2015). A continuación, en la Figura. 13 se puede observar el variador de velocidad de 30A.



Figura. 13 Variador de velocidad de 30A. Fuente: (Hisen, Flickr, 2020).

Se muestra un variador de velocidad de 30A que controlará al motor sin escobillas brindándole la coordinación de giro y dirección, además de servir como un freno dinámico para los mismos motores. Por lo cual, este dispositivo cuenta

con una serie de circuitos de potencia que conmutarán las señales de frecuencia para suministrar así la energía eléctrica a los motores. En la Figura. 14, muestra como estos ESC crean una corriente alterna a partir de una corriente continua que es suministrada de la batería del dron. A continuación, se muestra el esquema de funcionamiento en donde se puede visualizar la forma en que opera un ESC (Chávez-Arroyo Carillo & Rodríguez Molleda, 2018).

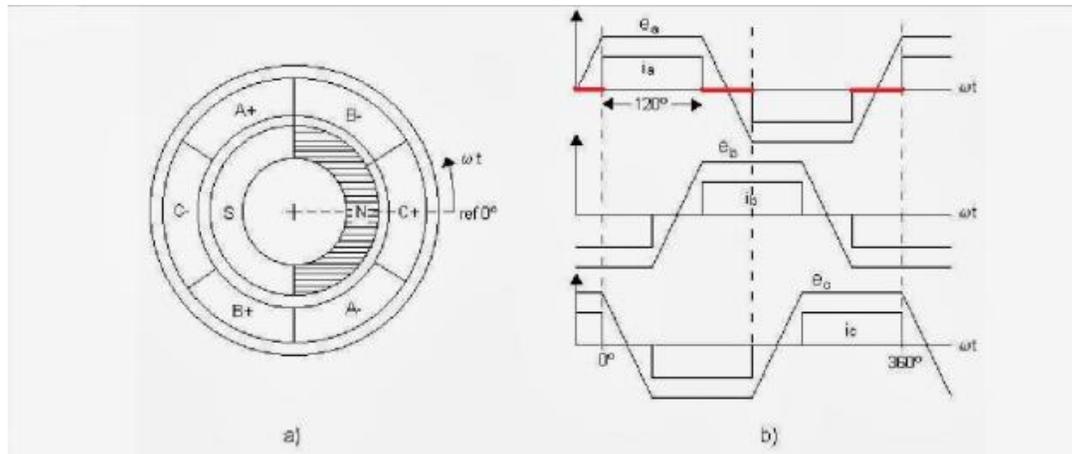


Figura. 14 Funcionamiento de un ESC. Fuente. (Chávez-Arroyo Carillo & Rodríguez Molleda, 2018).

### Controladora de vuelo

Es una tarjeta que alberga un algoritmo de control y que opera considerando información de diferentes sensores que permiten comandar el movimiento de los motores logrando aumentar o disminuir la velocidad de los mismo para así poder obtener el equilibrio deseado, en la Figura. 15 se puede observar cómo posee sensores tales como magnetómetro que permitirá ubicar al dron en los puntos cardinales, también incorpora giroscopio que permite medir los ángulos en los que se encuentra el dron (Pitch, Roll, Yaw), además tiene el acelerómetro ayuda a medir la aceleración dinámica y estática del dispositivo, también el barómetro vienen incorporado en la tarjeta cuyo objetivo es medir la altura a la que se encuentra el dron, y por último se tiene el GPS que le permitirá al dron conocer su ubicación con precisión, logrando así por ubicarlo con mayor facilidad (Cardona, 2018).

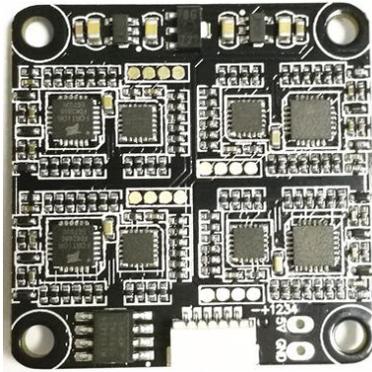


Figura. 15 Tarjeta controladora de vuelo. Fuente: (Hisen, Flickr, 2018).

### PDB (Power Distribution Board)

Esta placa se encarga de distribuir la energía eléctrica por todo el dron, y suministrar dicha energía a cámara o luces led. Tomando en cuenta que la PDB no entiende cuanta potencia tiene que suministrar a los motores por este motivo se coloca los ESC que se encargaran de brindar la potencia adecuada a los motores y son controlados por el radio control. A un extremo de la placa le llega la energía proveniente de la batería, mientras que por el otro extremo se tendrán las salidas para los diferentes terminales a incorporarse (Mora, 2018). Tal y como se muestra en la Figura. 16.



Figura. 16 Power distribution board. Fuente: (Kvisberg, 2011).

## Batería

El elemento encargado de suministrar la energía para que funcione el dispositivo son las baterías, el mismo que tiene un punto muy débil en el VANT, y este es su peso, ya que mientras mayor voltaje posea, mayor será el tamaño de la batería. Las baterías se dividen en diferentes tipos que poseen características de almacenamiento, descarga y potencia, y esto dependiendo del número de celdas. Las de tipo Litio son mejores debido a su gran utilización que se ha visto reflejada en el mundo y que lo demuestran con sus características como son, la potencia, almacenamiento de energía y también la vida útil de la misma. A continuación, se presenta la tabla 3 acerca de las ventajas y desventajas de las baterías de litio (LIPO) (Aira, Directora, Antonio, & Ponz, 2021).

Tabla 3 Ventajas y desventajas de las baterías Litio.

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Este tipo de baterías pueden ser fabricadas en diferentes tamaños, ya que son más ligeras que las demás.</i>	Su vida útil se reduce en comparación a las demás baterías como las de níquel.
<i>Tienen una potencia más alta debido a la capacidad alta que poseen.</i>	Debido a la cantidad de potencia pueden provocar incendios al ser pinchadas.

Fuente: Autor

Una batería estandar posee una celda de 3.7V, cada celda que tienen se conectan en serie, lo cual muestra que una batería de 2S (2 celdas) posee un voltaje de 7.4V, y esto se hace sucesivamente. Hay que tomar en cuenta que mientras más celdas posee la batería, mayor será el tamaño de la misma.

A continuación, en la Figura. 17 se presenta una batería de litio de 2S que tiene 3500mAh, con un voltaje 7.4V.



Figura. 17 Batería de litio 3S. Fuente: (Hisen, Flickr, 2020).

### **Sistema de video.**

Para generar señales de video desde el aire hacia tierra se emplea una cámara de video, esta puede ser digital o analógica. En caso de ser digital se usa una microSD para recibir la señal de manera inalámbrica y luego poder ser visualizada en una pantalla. Dentro del sistema de video, se puede encontrar el sistema FPV (First Person View) que le permite al controlador del dispositivo usar gafas que incorporan una pantalla en el interior para lograr observar lo que el dron graba en ese momento en tiempo real. Este tipo de sistema tiene incorporado, transmisor de video, cámara y pantalla a la cual se va a proyectar o gafas (Quintero, 2018).

Las cámaras del sistema FPV deben ser mejor optimizadas, ya que es la parte fundamental, y esta debe tener una sencillez en su conexión y el tamaño también debe ser considerado. Normalmente las cámaras Go-Pro son muy empleadas por los Vant debido a que puede grabar en High Definition (HD). A continuación, se presenta la Figura. 18 que muestra como es una cámara del sistema FPV (Quintero, 2018).



Figura. 18 Cámara FPV. Fuente: (Stonehouse, 2018).

La cámara del sistema FPV debe poseer ciertas características como, por ejemplo, menor latencia, mayor sensibilidad a la luz, menor ruido de imagen, y un mayor rango dinámico. Todo esto debido a que, el Vant al cambio brusco de condiciones luminosas presentará diversas variables.

### **Sistema de carga inalámbrica**

La carga inalámbrica se basa en la transferencia de energía de forma inductiva o por inducción electromagnética, lo que significa que se puede recargar una batería sin necesidad de cables que conecten a la batería con el sistema eléctrico que brindan las compañías de energía. Por lo cual, (Rodríguez, 2016) menciona que para recargar energía en una batería se necesitan de dos componentes principales para su funcionamiento, tales como son el receptor y el transmisor de energía. A continuación, se presenta la Figura. 19 que muestra la forma de carga inalámbrica.

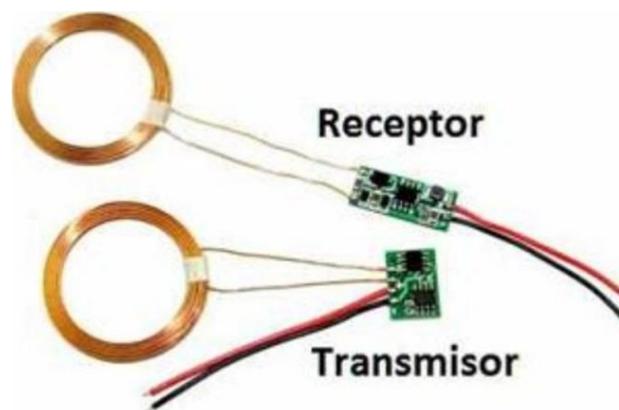


Figura. 19 Esquema carga inalámbrica. Fuente: (Marker, 2017).

La carga inalámbrica se basa específicamente en compartir energía sin cables, sino solo por inducción electromagnética, al acercar una bobina hacia la otra la energía se comparte, una bobina que se denomina transmisor se convierte en el cargador, y la otra bobina en receptor que puede ser una batería o dispositivo. (TORRES, 2016).

Para incorporar la carga inalámbrica en el prototipo se toma en consideración la ley de Faraday del transformador y también por el tipo de corriente. Dicha ley es la que rige este sistema, por lo cual en la Figura. 20 se muestra la comparación entre la potencia versus vueltas por voltio.

<b>NÚCLEO</b>	<b>POTENCIA MÁXIMA</b>	<b>VUELTAS POR VOLTIO</b>	<b>ÁREA Cm<sup>2</sup></b>
1.6 x 1.9	9W	14	3.04
2.2 x 2.8	37W	7	6.16
2.5 x 1.8	20W	9.3	4.5
2.5 x 2.8	49W	6	7
2.8 x 1.5	17W	10	4.2
2.8 x 2.5	49W	6	7
2.8 x 3.5	96W	4.3	9.8
2.8 x 5	196W	3	14
3.2 x 3.5	125W	3.75	11.2
3.2 x 4	163W	3.3	12.8
3.2 x 5	256W	2.625	16
3.8 x 4	231W	2.76	15.2
3.8 x 5	361W	2.21	19
3.8 x 6	519W	1.85	22.8
3.8 x 7	707W	1.58	26.6
3.8 x 8	924W	1.38	30.4
3.8 x 9	1170W	1.22	34.2
3.8 x 10	1444W	1.1	38
3.8 x 11	1747W	1.004	41.8
3.8 x 12	2079W	0.921	45.6

Figura. 20 Relación potencia vs vueltas voltio. (TORRES, 2016).

Para la selección del calibre del conductor a usarse, se basa en los siguientes datos mostrados en la Figura. 21, que es la relación entre amperaje versus el calibre del conductor.

AWG	Diam. Mm	Amperaje	AWG	Diam. mm	Amperaje
1	7.35	120	16	1.29	3.7
2	6.54	96	17	1.15	3.2
3	5.86	78	18	1.024	2.5
4	5.19	60	19	0.912	2.0
5	4.62	48	20	0.812	1.6
6	4.11	38	21	0.723	1.2
7	3.67	30	22	0.644	0.92
8	3.26	24	23	0.573	0.73
9	2.91	19	24	0.511	0.58
10	2.59	15	25	0.455	0.46
11	2.30	12	26	0.405	0.37
12	2.05	9,5	27	0.361	0.29
13	1.83	7,5	28	0.321	0.23
14	1.63	6,0	29	0.286	0.18
15	1.45	4,8	30	0.255	0.15

Figura. 21 Relación corriente vs calibre del conductor. (TORRES, 2016).

Para calcular la potencia eléctrica se usará la siguiente fórmula:

$$P = V * I$$

Datos:

P= Potencia (watts).

V = Voltaje (voltios).

I= Corriente (amperios).

Para calcular el número de vueltas de la bobina fuente se usa la siguiente fórmula:

$$n_b = V * N_v$$

Datos:

$n_b$  = Número de vueltas de la bobina.

V = Voltaje (voltios).

$N_v$  = Número de vueltas por voltios (vueltas/voltio).

## Estructura

La estructura de un dron cuadricóptero se basa específicamente en poseer cuatro brazos que se encuentran equidistantes para adquirir la mayor estabilidad del dispositivo posible, por lo cual, se coloca a  $90^\circ$  uno del otro, y sus motores van en sentidos horarios y antihorarios, para así obtener la fuerza dinámica contraria. Además, en la Figura. 22 se puede notar como es el diseño de la estructura, esta estructura será en la cual van montados todos los componentes, en la actualidad existen drones de diferentes materiales que posibilitan la ligereza del dispositivo, el cual es el objetivo principal, ya que así brindaría al dron mayor tiempo de vuelo, razón justificada en los motores que no realizaran movimientos innecesarios y así conservar energía en la batería.



Figura. 22 Estructura básica de un dron. Fuente: (Hisen, Flickr, 2020).

Esta es la estructura básica que en muchas ocasiones es adquirida para realizar prototipos, la misma que está fabricada en fibra de carbono por su peso ligero y flexibilidad. Estructura que puede ser alterada para optimizar su funcionamiento, e incorporar un tren de aterrizaje para que la estructura no sufra mayores daños al descender.

## 2.1. Diseño del Hardware del prototipo de la aeronave

### 2.1.1. Elección de la Estructura

Dentro del campo de los Vant existen diversos factores que influyen para la elección de la estructura como por ejemplo, peso, durabilidad, modulos que incorporan y estilo para ser usado. Además es importante el ángulo de cámara que posee debido a que es indispensable este sistema en la vigilancia, a lo que este proyecto esta orientado. Dentro del mundo de los frames, existen tres estilos como son: carreras, freestyle y long range.

#### Frame de Carrera

Los frames de carreras estan orientados a tener un peso mucho más ligero que ronda entre los 50gr a 80gr, ya que deben alcanzar cierta distancia en el menor tiempo posible, sacrificando la autonomía de vuelo, todo esto debido a que sus motores deben alcanzar desde el nivel más bajo a la mayor cantidad de revoluciones por minuto, provocando que las baterias de Litio se gasten más rápido. Además, sus partes deben ser reemplazables facilmente, ya que en caso de un choque que afecte el frame, sus partes deben ser cambiadas rapidamente para no perder demasiado tiempo en dichas competencias. Normalmente para este estilo se usa la configuración Stretch, que resalta en la posición de sus brazos delanteros con respecto a sus brazos traseros y, en la distancia que tienen en brazos traseros el uno del otro. En la Figura. 23, se muestra dicha configuración y la manera en como se distribuyen sus partes.



Figura. 23 Frames de carreras. Fuente: (Hisen, Flickr, 2020).

## Frames de Freestyle

Los frames de freestyle fueron diseñados para personas que disfrutan de este pasatiempo, y desean disfrutar del momento de vuelo haciendo acrobacias y cuya finalidad no es la de llevar al máximo de velocidad a los motores como es el caso de los frames de carreras, además, tienen un diseño mayor debido a que su peso se eleva al rango entre 80 gr y 115 gr, los mismos que son indispensables para colocar las fuentes de alimentación que pueden variar de 3 celdas a 6 celdas.

Este tipo de estructura es muy utilizado ya que sus hélices no interfieren con el rango de la cámara, además, la batería va sobre la estructura y no abajo como en el caso anterior. Con esto, logran mantener un mejor equilibrio al momento de realizar giros invertidos. En la Figura. 24, se muestra como es el tipo de estructura que presenta este estilo al igual que la distribución de sus partes y como se vería los componentes una vez ya colocados y conectados, con una clara ventaja de disipar el calor que producen los componentes como por ejemplo la controladora de vuelo.



Figura. 24 Frame de freestyle. Fuente: (Stanley, 2015).

## Frames de Long Range

Los drones usados para long range no varían demasiado con los otros estilos en su configuración, en cuestión de su estructura puede poseer un peso que varía de 50gr a 200gr, pero sí se destacan en la capacidad de sus componentes para aumentar su autonomía, además al colocar componentes dedicados especialmente para este estilo pueden mejorar las señales de transmisión y recepción de video, debido a que principalmente se basan en recorrer mayores distancias con respecto de los demás estilos. Cuya única desventaja proviene del costo de cada componente. Por lo cual, en la Figura. 25, se muestra el frame y la configuración del dron usado para long range.



Figura. 25 Frame de Long Range. Fuente: (Stanley, 2015).

### 2.1.2. Descripción del diseño del Vant usado

El dron está impreso en 3D, en material PETG, el mismo que es más simple de imprimir y cuyos acabados son mejores. Por lo cual, en la Figura. 26 se presenta el diseño final de Vant con todas sus piezas acopladas brindando ligereza y durabilidad, este modelo final está basado en la aeronave no tripulada DJI Mavic que a diferencia del resto de frames, este es cubierto en su totalidad brindando seguridad a sus componentes al descenso y condiciones climáticas, además, posee tener una mejor presentación, a continuación, se presenta la tabla 4 que muestra las características de los frames para la elección.

Tabla 4 Comparativa entre frames.

<i>Características</i>	<i>Frame de Carreras</i>	<i>Frame de Freestyle</i>	<i>Frame de Long Range</i>	<i>Frame de DIY Mavic*</i>
<i>Peso</i>	50 gr – 80 gr	80 gr – 115 gr	50 gr – 200 gr	80 gr – 200 gr
<i>Tamaño</i>	5 pulgas	5-6 pulgadas	3- 6 pulgadas	6 pulgadas
<i>Diseño</i>	Componentes al Aire Libre	Componentes al Aire Libre	Componentes al Aire Libre	Componentes Encerrados
<i>Material</i>	Fibra de Carbono	Fibra de Carbono	Fibra de Carbono	Plástico

\*Nota. DIY Mavic es un diseño libre que puede ser usado para ser impreso en 3D o modificado.

Fuente: Autor.

Por consiguientes, la estructura usada es el frame de DIY Mavic, específicamente el modelo Mavic Remix, cuyo autor es (Maluegha, 2016), diseñador de estructuras para drones, actualmente el diseño se encuentra en la pagina web Thingiverse, en la cual el mismo autor menciona textualmente que puede ser usado libremente, además posee una licencia Creative Commons, la misma da libertad de usar, compartir, redistribuir, remezclar, construir los modelos que posean dicha licencia. El diseño el frame es de estilo cerrado, salvo el caso de los motores, además la cámara es ubicada dentro del frame y asegurada a la misma

estructura para mantener en la grabación de video, mientras que el resto de sus componentes se encuentran dentro en un lugar más seguro. Por lo cual, para este proyecto se va imprimir el modelo ya mencionado en 3D, en material PETG, dicho material es más resistente, no degradable, mayor adhesión entre capas, en comparación a la fibra de carbono, PLA y otras.

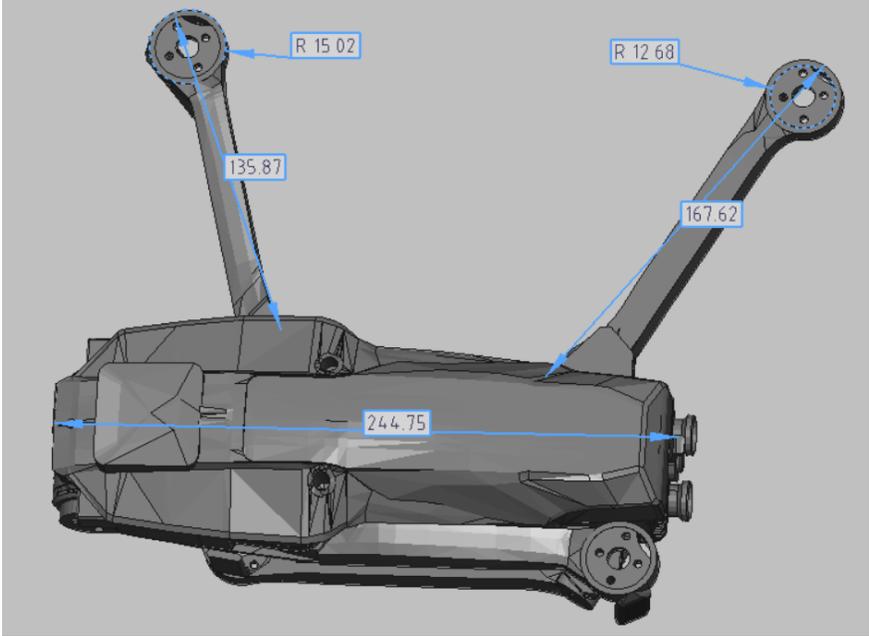


Figura. 26 Modelamiento en 3D del VANT usado. Fuente: (Maluegha, 2016).

Los brazos cuentan con espacios para que los cables que conectan a los motores vayan en un espacio bajo el brazo, además, son plegables para que la transportación del Vant sea mejor, y cuenta con seguros, los mismos que evitarán que mientras esté en vuelo se plieguen. Además, en el brazo superior se muestra una ligera inclinación que servirá para que los mismos brazos se plieguen al cuerpo, todo esto fijado con unos resortes que aseguran a los mismos. Así también, se muestra la estructura del brazo inferior la cual posee mayor inclinación al inicio del brazo.

La tapa superior se observa que ha sido diseñada en dos partes, del modo en el cual entren los componentes electrónicos y los cubra a todos. La primera parte, es la que alberga y protege la batería de litio el cual posee un gran espacio que servirá para introducir una batería de litio de 3 celdas hasta 6 celdas (3-6S) que alimenta a todo el Vant. Y la segunda parte, posee un espacio dedicado especialmente para el GPS, el mismo que permite conocer la ubicación del dron, y dependiendo de la manera en la que se configura, puede regresar automáticamente al sitio de despegue. Lo que busca el diseño de las tapas es esencialmente proteger los componentes electrónicos en caso de una colisión o condición climática adversa.

La tapa fue diseñada expresamente para sostener una base en la cual van componentes como la controladora de vuelo, el Esc 4 en 1 y el transmisor de video, diseño que posee una mayor unión entre piezas gracias a la sujeción de tornillos y rodajas, influyendo un poco en el peso del dron que al final será tomado en cuenta.

## 2.2. Diseño Electrónico del prototipo

### 2.2.1. Esquema electrónico general del prototipo

A continuación, en la Figura. 27 se muestra el esquema electrónico general que se obtuvo para la realización de la aeronave no tripulada, dicho esquema representa la manera como se encuentra conectado dentro del dispositivo.

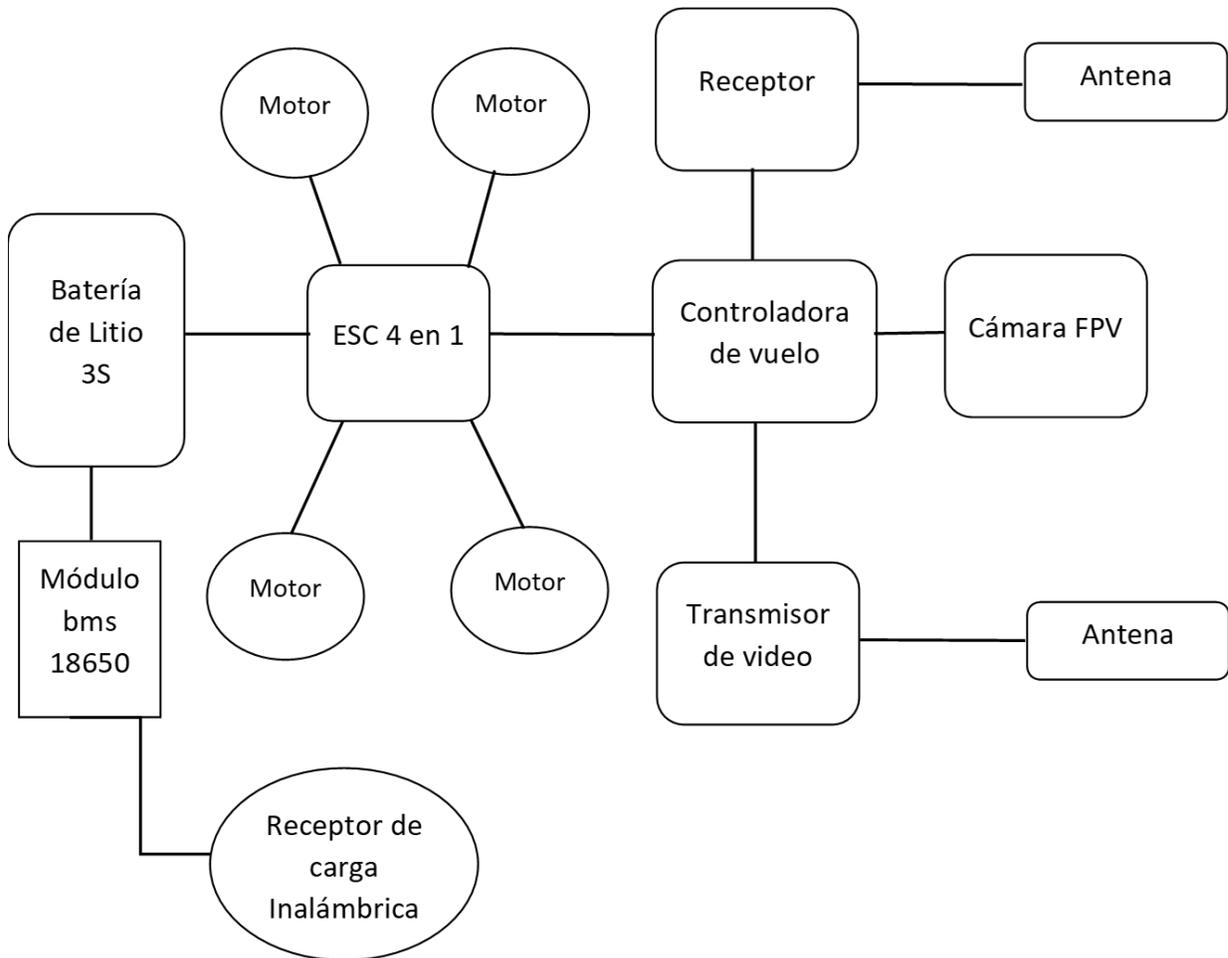


Figura. 27 Esquema electrónico general del dron. Fuente: Autor.

### Dimensionamiento de materiales

#### Motores

Para realizar la selección de los motores (Cháves, 2018) menciona que, para levantar el vuelo, un dron debe poseer un factor de potencia de relación 2:1 ya que

el dron tiene que doblar la potencia para levantarse del suelo, ya que con una relación 1:1 solo lo mantendría estable en el suelo. Tomando en cuenta que el dron puede llegar a pesar 1,5kg dato que viene dado en el alcance del proyecto

*Factor de potencia = 2:1*

El factor de seguridad es un porcentaje que se coloca debido a las diversas variables que puedan existir mientras el dron esté en vuelo como, por ejemplo, viento, clima y estructuras.

*Factor de seguridad = 20%*

Ecuación 1

$$Potencia\ requerida\ de\ empuje = Peso\ del\ dron * 2$$

$$Potencia\ requerida\ de\ empuje = 1500gr * 2$$

$$Potencia\ requerida\ de\ empuje = 3000\ gr$$

$$Potencia\ requerida\ de\ empuje\ con\ 20\% \ de\ seguridad = 3000\ gr * 1.20$$

$$Potencia\ requerida\ de\ empuje\ con\ 20\% \ de\ seguridad = 3600\ gr$$

Al ser un cuadricóptero se divide esta potencia requerida de empuje para el número de motores del dispositivo, ya que es el peso que deberá alzar cada motor independientemente para que el dron se encuentre estabilizado.

$$Potencia\ de\ empuje = \frac{3600gr}{4}$$

$$Potencia\ de\ empuje = 900gr$$

$$Potencia\ de\ empuje\ al\ 50\% = 450gr$$

Esta potencia de empuje tendrá las hélices cuando los motores alcancen el 100% de su velocidad, pero lo que no es muy recomendable hacer a menos que sea un dron de carreras ya que consumirá mayor cantidad de energía y su autonomía se reducirá considerablemente. Por lo cual, al 50% la velocidad de los

motores el dron se mantendrá estable y conservará energía, que cumple con el factor de potencia 2:1.

Dado estas especificaciones, se seleccione un motor que cumpla con las características de la fuerza de empuje en relación con el peso a levantar, por lo cual, en la siguiente tabla 5, se destaca el tipo de motor junto con el tipo de hélice que se puede usar.

Tabla 5 Comparación de hélices para elección

TIPO	HÉLICE	VELOCIDAD	VOLTAJE	CORRIENTE	EMPUJE	POTENCIA	EFICIENCIA	TEMPERATURA
MOTOR XING- E-PRO 2306 2450KV	GEMFAN 51466 Batería 4s	50%	16.92	8.38	500	141.8	3.524	92°
		60%	16.97	12.51	680	212.3	3.204	
		70%	16.85	18.45	885	310.9	2.846	
		80%	16.73	25.38	1067	424.6	2.512	
		90%	16.57	32.89	1248	545.0	2.291	
		100%	16.38	42.03	1447	688.5	2.102	
	DJI Bateria 3S	50%	11.22	13.32	550	149.5	3.678	89°
		60%	11.15	16.31	720	181.9	3.958	
		70%	10.95	18.85	870	206.4	4.215	
		80%	10.84	24.56	1080	266.2	4.057	
		90%	10.79	29.74	1285	320.9	4.004	
		100%	10.56	35.62	1460	376.2	3.880	

En esta Figura. representa la cantidad de velocidad, el voltaje inducido, la corriente de carga, el peso a levantar, potencia y eficiencia, teniendo en cuenta que estos motores poseen una corriente de 17.4A. Y con ayuda de la ecuación 1 se puede comprobar que los valores coinciden con los dados por la compañía Iflight.

Los motores brushlees serán los encargados de impulsar la aeronave desde el suelo hacia el aire y los que proporcionarán la velocidad que el piloto requiera, estos motores tienen características que van de forma adecuada con el diseño del prototipo, en donde se tomó en cuenta el diámetro, ancho y los kilovoltios, tal y como se indica en la Figura. 28. Además, dichos motores usados posee características que se muestran a continuación:

- Marca: Iflight
- Versión: Xing E-Pro 2306
- kV (RPM/V): 2450kV
- Peso: 32 gramos
- Alimentación: 2-6S (celdas)
- Corriente: 17.5A.
- Corriente máxima: 55.1A.
- Resistencia interna: 40.6  $\Omega$



Figura. 28 Motor brushless 2306 2450 kV. Fuente: Autor.

Los motores incorporados en el dron son 4, los mismos que propulsarán a la aeronave, además, son de un peso ligero y con un tamaño muy compacto, pero con una gran potencia con un devanado de una hebra, lo que mejora la eficacia y rendimiento del motor.

## Hélices

Las hélices es una de las partes más importante del prototipo, ya que son las que tienen la fuerza de empuje dependiendo de cada motor que se use, por lo cual, basandose lo que muestra en la tabla 5 se opta por usar las hélices que se muestra en la Figura. 29, dando como resultado la fuerza de empuje según el tipo de motor elegido. Dichas hélices son las GemFan 51466, las mismas que poseé las siguientes características:

- Marca: GemFan Hurracane
- Versión: 51466
- Tipo: Tres palas
- Material: Policarbonota
- Peso: 5 gramos
- Largo: 12.8 centímetros



Figura. 29 Hélice GemFan hurracane 51466. Fuente: Autor.

Este tipo de hélice según su fabricante promete una mayor velocidad con su diseño aerodinámico, obteniendo así una gran eficiencia y menor ruido, provocando que obtenga un gran control ya sea en velocidades bajas o altas, lo cual se tomará en cuenta en las primeras pruebas de vuelo del prototipo.

## Electronic Speed Controller (ESC)

Para la elección de los ESC se considera la corriente máxima de los motores, el porcentaje de seguridad, ya que se debe establecer un margen donde los motores pueden funcionar correctamente y, así no tener sobrecalentamiento en los motores. Por lo cual se usa la siguiente ecuación 2:

Ecuación 2

$$ESC = \text{Corriente máxima de motor} * 0.65$$

$$ESC = 55,1 A * 0.65$$

$$ESC = 35.8 A$$

Una vez calculado la corriente necesaria de los ESC se recomienda usar uno de 40 A o superior para evitar daños en los motores.

Por consiguiente, el Electronic Speed Controller (ESC) es del modelo 4 en 1, en los cuales reúnen los 4 puntos de conexión de los motores en una sola placa, además incluye dentro de su misma placa un Power Distribution Board (PDB), lo que permite optimizar de mejor manera la energía para todos los componentes, también tiene un peso menor a los ESC normalmente usados y su efectividad mejora debido a la facilidad de soldadura y conexión de los motores ya que se sitúa todo en la placa y, por consiguiente la conexión entre motor y placa menora el peso del dispositivo. A continuación, se muestra sus especificaciones, y en la Figura. 30 se observa el modelo y también los puntos de conexión de los motores al igual que la entrada de alimentación que viene acompañada con un conductor 12 AWG.

- Marca: Diatone
- Versión: Mamba F50BLS
- Entrada de alimentación: Batería lipo 3-6S lo cual permite un gran rango de uso en diferentes prototipos.
- Corriente constante: 50A por conexión.
- Corriente de ráfaga: 60A.
- Peso: 15gramos , lo cual es muy bueno en respecto al peso que influye en el dron.



Figura. 30 Electronic speed controllers (ESC). Fuente: Autor.

En la anterior Figura. se puede observar las conexiones de los puntos para cada motor y la entrada de la alimentación que para su unión deben ser anteriormente preestañadas para tener una mayor fijación, y que al momento de estar en vuelo no sufran una desconexión que dañe el VANT.

#### Controladora de vuelo

La controladora de vuelo usada es la Mamba F405mk2 elección que se tomó tras una comparativa mostrada en la tabla 6 entre controladoras de vuelo que se encuentran en el rango del mismo precio.

Tabla 6 Comparación entre controladoras de vuelo.

<i>Características</i>	<i>Matek System F4</i>	<i>SucceX-E-F722</i>	<i>Kakute F7 HDV</i>
<i>Procesador</i>	F4	F7	F7
<i>Alimentación</i>	2S-8S	2S-6S	3S-6S
<i>Peso</i>	7.5 gramos	7.5 gramos	8 gramos
<i>Barómetro</i>	DPS310	DSP310	BMP280
<i>Disponibilidad</i>	Disponible al momento de la compra	No disponible al momento de la compra	No disponible al momento de la compra

A continuación, se muestra en la Figura. 31, junto a las características técnicas dadas por el fabricante, que se destacan sobre otras controladoras de anteriores versiones ya que mejora su actualización, velocidad de procesador,

funciones específica, cantidad de puertos UART, menor peso y otras que se detallan a continuación.

- Marca: Matek System
- Versión: F405SE
- Memoria: Slot para tarjeta sd que se usa como caja negra.
- UART: 5 puertos en los cuales se puede configurar las diferentes entradas de conexión. Dando como resultado que el UART1 es dedicado especialmente para la transmisión de video, UART2 para receptor del sistema FPV, UART4 es dedicado para la telemetría en este caso los ESC 4 en 1, y los otros UARTS son libres para colocar cualquier otro sensor.
- Peso: 7 gramos, lo que lo hace muy adecuada para ser implementada debido a que se busca la mayor ligereza en el dron.
- Entrada de alimentación: Su alimentación es de 2S-8S (celdas) las que alimentarán la controladora de vuelo.

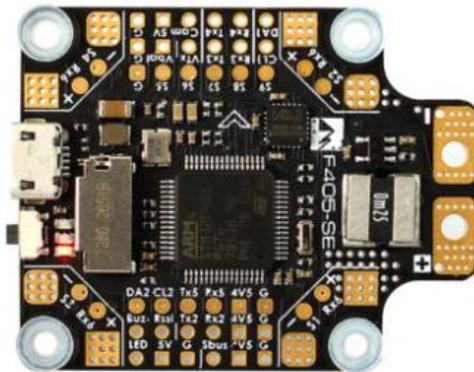


Figura. 31 Controladora de vuelo. Fuente: Autor.

Como se muestra en la imagen anterior, se puede observar un controladora pequeña, todo esto debido a que en la actualidad buscan en los VANT la mayor ligereza, además sus puntos de conexión se encuentran muy detallados, y esto converge de gran manera con su complemento el ESC 4 en 1.

### Sistema Firts Person View

Para el sistema Firts Person View se empleó tres componentes como son, transmisor de video, cámara y receptor. Por lo cual, para el sistema de transmisor de video se usó la placa Eachine TX805 debido a su alcance prometedor que

ofrece el fabricante de 1.5km, lo cual se pondrá a prueba en las primeras pruebas de vuelo. Dicha placa permitirá visualizar la imagen que capte la cámara en tiempo real manteniendo un peso ligero, a continuación se presenta la Figura. 32, al igual que sus especificaciones.

Transmisor de video:

- Marca: Eachine
- Versión: TX805
- Configuración: Betaflight
- Voltaje de entrada: 5-24V
- Voltaje de salida: 5V para cámara FPV.
- Corriente de entrada: 120mA.
- Corriente máxima: 1A.
- Interruptor de transmisión: 25mW/ 100mW/ 400mW/ 800mW
- Canales: 40 canales
- Estándar de video: NTSC/PAL
- Peso: 7 gramos



Figura. 32 Transmisor de video Eachine TX805. Fuente: Autor.

Este transmisor de video es muy compacto, por consiguiente, se presenta la segunda parte del sistema, la misma que incorpora una cámara FPV de marca Caddx, la que visualizará todo lo que pasa alrededor del VANT y que permitirá al piloto vigilar, monitorizar y acercarse mucho más a la experiencia de volar. La cámara incorporada se muestra a continuación en la Figura. 33, además se coloca las especificaciones de dicha cámara.

- Marca: Caddx
- Modelo: Ratel 2
- Sensor de Imagen: SONY 13MP
- Campo de visión: 160°
- Resolución de video: 1080P@60fps
- Formato de video: MP4
- Voltaje de entrada: 5-40V
- Peso: 8.5 gramos



Figura. 33 Caddx Ratel 2. Fuente: Autor.

La última parte, pero no menos importante, es el receptor, el mismo será quien reciba las señales que emita el control remoto y así controlar el dron a través de la controladora de vuelo. Por lo cual, receptor usado es el iA6B mismo que viene incorporado con el mando a distancia FlySky FS-i6, por lo cual, en la Figura. 34 servirá para darse una idea de lo que se implementó en el prototipo.

- Marca: FlySky FS
- Versión: iA6B
- Peso: 1.5 gramos
- Canales: 6 canales
- Rango de Frecuencia: 2.4 – 2.48 GHz
- Voltaje de operación: 4V - 6V
- Corriente de operación: 70mA.
- RF Sensibilidad del receptor: -105dBm
- Compatibilidad: módulos y radios FlySky.



Figura. 34 Receptor FlySki iA6B. Fuente: Autor.

La imagen anterior, muestra es el dispositivo receptor que va captar las señales emitidas por el radio control, dando como resultado el control de vuelo del dron.

## GPS

El módulo para el posicionamiento del dron es el gps Beitian BN-880 tal y como se muestra en la Figura. 35, que incorpora una brújula eletrónica, la misma que dependiendo su configuración puede ser usado como modo de recuperación (Rescue Mode), lo cual permitirá recuperar el dron en caso de perder señal con el radio control. Sus especificaciones técnicas se muestran a continuación:

- Peso: 10 gramos
- Modelo: Beitian BN-880
- Voltaje de alimentación: 2.8V-6V.
- Corriente: 50mA.
- Formato de recepción: GPS, GLONASS.
- Canales: 72 canales de recepción
- Nivel de precisión al posicionamiento: 2 metros en campo abierto.



Figura. 35 GPS Beitian BN- 880. Fuente: Autor.

Este tipo de módulo es muy empleado en drones, ya que, su peso no influye mucho en el dispositivo, además brinda precisión y posicionamiento en el cual se encuentra el prototipo, y en caso de perder señal del radio control, se puede configurar la altura a la que debe elevarse el dron automáticamente hasta regresar al punto de despegue del que inicio.

### **Batería**

Para el dimensionamiento de la batería de LiPo se toma en cuenta a todos los componentes que conforman al dron, dichos valores de corrientes son comerciales, a pesar de poder variar los valores, brinda una idea del consumo total de corriente, tal como se aprecia en la tabla 7.

Tabla 7 Componentes y sus valores de corrientes.

<b>Nombre del Componente</b>	<b>Valor de Corriente</b>
<i>Controladora de vuelo</i>	55mA
<i>ESC 4 en 1</i>	70mA
<i>Motores Brushlees</i>	1200mA
<i>Transmisor de video</i>	40mA
<i>Cámara Firts Person View</i>	450mA
<i>Receptor de video</i>	70mA
<i>Módulo GPS</i>	50mA
<b>TOTAL</b>	<b>1935mA</b>

Para la elección de los mAh y corriente de descarga que se necesitan en la batería, se procede a usar los datos de corriente de los motores, mostrando la siguiente ecuación:

$$\text{Corriente necesaria} = \text{corriente de motor} \times \text{número de motores}$$

$$\text{Corriente necesaria} = 17.4A \times 4$$

$$\text{Corriente necesaria} = 69A$$

La capacidad de mAh es normalizada dependiendo del tamaño del dron, en este caso al ser un dron de 6in, que sobrepase el total de la corriente consumida mostrada en la tabla 5. Por lo cual, se procede a encontrar la tasa de descarga:

$$\text{Tasa de descarga} = \frac{\text{corriente necesaria}}{\text{mAh}}$$

$$\text{Tasa de descarga} = \frac{69 A}{2.7mAh}$$

$$\text{Tasa de descarga} = 25C$$

Para corroborar que el dimensionamiento de los motores, batería son adecuados, se emplea una herramienta llamada eCalc ([eCalc - xcopterCalc - the most reliable Multicopter Calculator on the Web](#)), que se encarga de analizar las elecciones adecuadas en función del peso del dron y componentes, a continuación, se muestra en la Figura. 36A, B y C.

**General**    **Peso del modelo:**  
 g     oz   

**Celdas batería**    **Tipo (Cont. / max. C) - nivel de carga:**  
 -

**Variador**    **Tipo:**

**Motor**    **Fabricante - Tipo (Kv) - refrigeración:**  
 -  -    

**Hélice**    **Tipo de hélice:**  
 -



A)

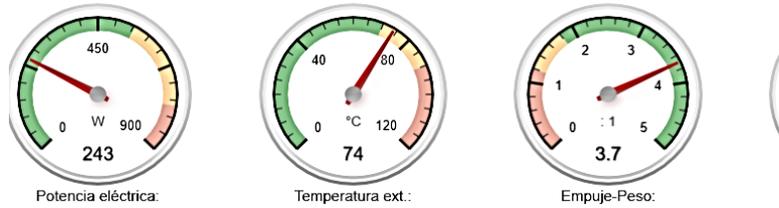
**Nº de rotores:**     **Tamaño del armazon:**  mm /  inch    **Limited de inclinación de la FCU:**

**simple**    **Configuración:**  S  P    **Capacidad por celda:**  mAh    **descarga max.:**     **Resistencia:**  Ohm

**Resistencia:**  mAh total    **Corriente:**  A cont. /  A max.    **Resistencia:**  Ohm    **Peso:**  g /  oz

**KV (w/o torque):**  rpm/V    **Corriente sin hélice:**  A @  V    **Límite (hasta 15s):**  W    **Resistencia:**  Ohm

**Diámetro:**  inch /  mm    **Paso:**  inch /  mm    **número de palas:**     **Const.de Potencia/Empuje:**  /



B)

Altura del campo 500 m ASL 1640 ft ASL	Temp. aire 25 °C 77 °F	Presion (QNH): 1013 hPa 29.91 inHg
Voltaje: 3.7 V	capacidad C de descarga: 25 C continua 35 C de pico	Peso: 67 g 2.4 oz
Accesorios	Consumo de corriente: 0.4 A	Peso: 200 g 7.1 oz
Longitud caja: 19.6 mm 0.77 inch	n° Polos mag.: 14	Peso: 34 g 1.2 oz
Gear Ratio: 1 : 1	<input type="button" value="Calcular"/>	

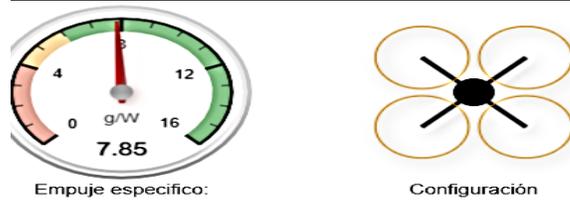


Figura. 36 Cálculos hechos por la herramienta eCalc.

La batería de Lipo es la que se encarga de suministrar la energía necesaria a todos los componentes ya mencionados, sin embargo, dentro del mundo de las baterías de lipo para el uso en drones se encuentra una gran variedad de capacidad de voltaje que depende mucho del número de celdas que posea, además hay que tomar en cuenta que el numero de celdas al igual que su voltaje influirá en el peso de la batería, también, hay que tener presente el amperaje de la batería. Por lo cual, para la elección de la batería se realizó calculos previos que se muestran en la tabla 6, en la cual, se refleja la suma de corrientes de los componentes del dron y según el resultado se buscó una batería del nivel de voltaje y corriente comercial.

Por consiguiente, se muestra la Figura. 37 la batería usada junto con las características que esta tiene, al igual los datos del fabricante que ha establecido.

- Marca: Tattu
- Capacidad mínima: 2700mAh.
- Configuración: 3 celdas, 11.4V, 3S
- Tasa de descarga: 25C
- Tasa máxima de descarga: 50C
- Peso: 215g
- Conector: XT60



Figura. 37 Batería de Lipo 3S 2700mAh. Fuente: Autor.

## Radio Control

El piloto dirigirá en tierra a través del radio control, y para este proyecto se usó el mando a distancia FlySky FS -i6, el mismo que permitirá comandar la dirección que tome el dron, para su funcionamiento se necesita de cuatro baterías doble A, sin embargo, en la Figura. 38 se muestra el control remoto del dron, con sus especificaciones.

- Marca: FlySky
- Versión: i6
- Peso: 392 gramos
- Canales de operación: 6 canales
- Potencia: 5V, 1.5 AA x 4
- Ancho de banda: 500kHz
- Potencia de RF: menos de 20dBm
- Banda: 142



Figura. 38 Radio control FlySky i6. Fuente: Autor.

### **Gafas First Person View**

Las gafas FPV, en este caso es la pantalla externa en la cual se va visualizar lo que el sistema FPV mire a través de la cámara, reciba a través del receptor y transmita a tierra y así poder apreciarlo en las gafas. Por lo cual, se usó las gafas de la marca iFlight, esto al usar el piloto no puede influir en el peso del dron, lo cual es muy beneficioso, ya que por el tamaño que posee incorpora una mejor pantalla con un gran brillo. A continuación se muestra sus especificaciones, y en la Figura. 39 se puede observar el dispositivo.

Especificaciones:

- Marca: iFlight
- Peso: 320 gramos
- Material: Plastico
- Formato DVR: AVI
- Tamaño de pantalla: 4.3 pulgadas
- Resolución de pantalla: 800\*400
- Brillo: 300cd/m2 con LED de retroiluminación
- Frecuencia: 40 Canales 5.8GHz

- Batería: 3.7V, 2000mAh
- Tiempo de uso: un poco más de 2 horas



Figura. 39 Gafas Iflight FPV. Fuente: Autor.

En la Figura. se puede apreciar que tiene 2 antenas receptoras para mejorar la recepción de la señal, estas antenas dependen de cada fabricante ya que pueden tener o como pueden colocar más de dos. Pero el poder acoplar estas antenas depende de cada usuario y de la forma en la que se va a usar el dron.

### **Cargador Inalámbrico**

El proyecto se basa en la vigilancia, por lo cual se espera que el dron al llegar al punto de despegue realizando su ronda de vigilancia empiece a recargar automáticamente la batería LiPo y así prepararse para la siguiente ronda, lo cual ayudaría mucho a no destapar al dron para recargar o cambiar de baterías y así mantener la integridad de las baterías por más tiempo y ampliar su rango de vida útil. Por esta razón se procede a calcular el área que ocupará la bobina fuente, al igual que el número de vueltas que necesitan tanto la bobina fuente como la captadora partiendo de cálculos previos.

### Cálculo del área de la bobina

Datos:

$$A = \text{Área.}$$

$$V_1 = 120V \text{ (Voltaje de entrada).}$$

$$V_2 = 12.5V \text{ (Voltaje de salida).}$$

$$f = 60Hz$$

$$r = 2.5cm \text{ (radio).}$$

Ecuación 3

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (2.5cm)^2$$

$$A = 19.63 \text{ cm}^2$$

Una vez establecida el área a usar de la bobina, en la Figura. 20 muestra la potencia y las vueltas por voltio en esa área. A continuación, se calcula la corriente necesaria en función de la potencia dividida para las vueltas voltio.

### Cálculo de corriente para sección del conductor

Datos:

$$P = 361 \text{ w}$$

$$Nv = 2.21 \text{ vueltas/voltio.}$$

Ecuación 4

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{361w}{120v}$$

$$I = 3.008 \text{ A}$$

Con la corriente calculada se toma como referencia la Figura. 21, y así se puede escoger el calibre de conductor número 17 para la bobina fuente. A

continuación, se procede a calcular el número de vueltas de la bobina fuente con la fórmula antes establecida.

Cálculo de vueltas para bobina fuente

Ecuación 5

$$N_b = V * N_v$$

$$N_b = 120V * 2.21$$

$$N_b = 265.2 \text{ vueltas}$$

Cálculo de vueltas para bobina captadora

Ecuación 6

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$N_2 = \frac{N_1 * V_2}{V_1}$$

$$N_2 = \frac{265.2 \text{ vueltas} * 12.5V}{120 V}$$

$$N_2 = 27.625 \text{ vueltas}$$

Una vez determinado el número de vueltas de la bobina captadora se procede a calcular el campo magnético creado por inducción electromagnética que tendrá la bobina fuente, cuyos cálculos se muestran a continuación:

Cálculo del campo electromagnética por inducción electromagnética bobina fuente.

Ecuación 7

$$B_F = k \frac{2\pi * I * N_1}{r}$$

$$B_F = 10^{-7} \frac{2\pi * 3.008 * 265.2}{2.5}$$

$$B_F = 2.004 \times 10^{-3} T$$

Cálculo del campo electromagnética por inducción electromagnética bobina captadora.

Ecuación 8

$$B_F = k \frac{2\pi * I * N_2}{r}$$
$$B_F = 10^{-7} \frac{2\pi * 3.008 * 27.625}{2.5}$$
$$B_F = 2.08 \times 10^{-4} T$$

A continuación, se calcula el flujo magnético que es diferente para cada bobina, esto dependiendo del número de vueltas que posee tanto la bobina fuente como la captadora.

Cálculo del flujo magnético para la bobina fuente.

Datos:

B = Campo magnético

A = Área

Ecuación 9

$$\Phi_M = B * A * \text{sen } \theta$$
$$\Phi_M = 2.004 \times 10^{-3} T * (19.63 \text{cm}^2) * \text{sen } 90^\circ$$
$$\Phi_M = 0.035 \text{Wb}$$

Cálculo del flujo magnético para la bobina captadora.

Ecuación 10

$$\Phi_M = B * A * \text{sen } \theta$$
$$\Phi_M = 2.08 \times 10^{-4} T * (19.63 \text{cm}^2) * \text{sen } 90^\circ$$
$$\Phi_M = 0.00365 \text{Wb}$$

## Esquema de bloques del sistema de carga inalámbrica.

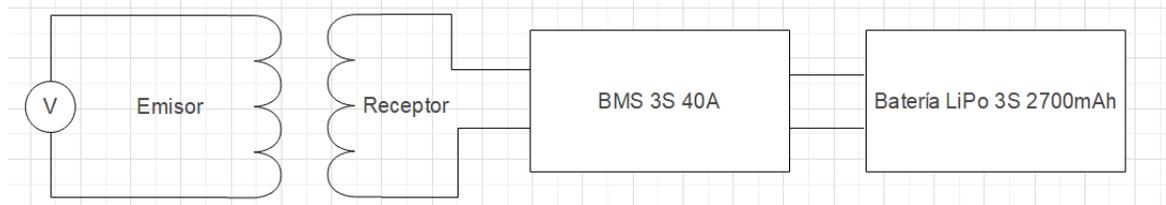


Figura. 40 Esquema de bloques del sistema de carga inalámbrica.

Partiendo del esquema de la Figura. 40 mostrado y en base a los cálculos realizados se procede a escoger la mejor opción para este tipo de transmisión de energía. Por lo cual, se va a usar un transmisor de carga inalámbrica en forma de disco, la misma que se fijará en una plataforma que servirá como pista de aterrizaje del dron. A continuación, se muestra la Figura. 41 permite apreciar el dispositivo usado.

### Emisor de carga Inalámbrica

#### Características:

- Material: Aluminio
- Tipo de conector: Tipo C
- Entrada de alimentación: 5V/2A, 5V/3A, 9V/2A, 12V/2A.
- Peso: 90 gramos



Figura. 41 Cargador Inalámbrico. Fuente: Autor.

Este tipo de cargador inalámbrico posee un diseño mucho más delgado y ligero, sus especificaciones y velocidad de carga se las realizará en las pruebas

de vuelo, ya que es ahí verdaderamente en donde se pondrá en uso este cargador, al igual que se observará la eficiencia de carga.

### **Receptor de carga inalámbrica**

El receptor de carga inalámbrica viene a ser la otra parte importante del dron, ya que nos permitirá recibir el voltaje que emita el cargador inalámbrico a través del proceso de inducción, mediante bobinas, que permite transferir la energía de un lugar a otro sin conectarse físicamente. Este tipo de receptor va acoplado a la batería de litio para que apenas el dron aterrice empiece a cargarse. La Figura. 42 muestra el módulo de receptor de carga inalámbrica usado en el dron.



Figura. 42 Receptor de carga inalámbrica. Fuente: Autor.

Este tipo de receptor de carga inalámbrica es muy delgado y ligero, lo cual es beneficioso ya que va implementado dentro del dron, además viene dentro de sus láminas una bobina la que permite la carga junto con la bobina del transmisor de carga inalámbrica.

### **Módulo BMS**

Este tipo de módulo es usado principalmente para la carga de las baterías LiPo, ya que a diferencia de algunos cargadores convencionales no posee una carga balanceada para cada celda de la batería. Para su elección se toma como referencia la batería obtenida y en función de esta, se procede a la adquisición de dicho módulo que se muestra en la Figura. 43 y que tiene las siguientes características.

- Protección contra sobrecarga
- Protección contra cortocircuitos
- Corriente máxima de descarga 40A
- Carga balanceada

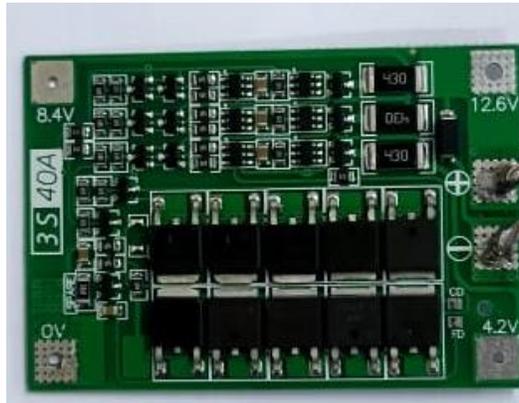


Figura. 43 Módulo BMS 3S 40A.

Este tipo de módulo permitirá la carga balanceada en la batería LiPo, ya que dichas las mismas deben poseer una carga igual para cada una de sus celdas, caso contrario dañaría una celda y esta a su vez quedaría inservible.

### 2.3. Programación del prototipo.

El programa Betaflight que se observa en la Figura. 44, está disponible para diferentes sistemas operativos como Windows, Linux, Mac OS, el cual permite configurar distintos tipos de aeronaves entre las cuales están los drones, multirrotores, ala fija, entre otros. Lo cual es muy beneficioso, ya que permite el control de vuelo y optimiza el rendimiento de las aeronaves, incorporando nuevas actualizaciones que brinda un mejor soporte para sus ajustes, además, una gran variedad de pilotos usa este software debido a que una gran comunidad la respalda gracias al trabajo de los varios desarrolladores, además de brindar el beneficio de tener código abierto, también, permite que casi cualquier controladora de vuelo sea compatible.

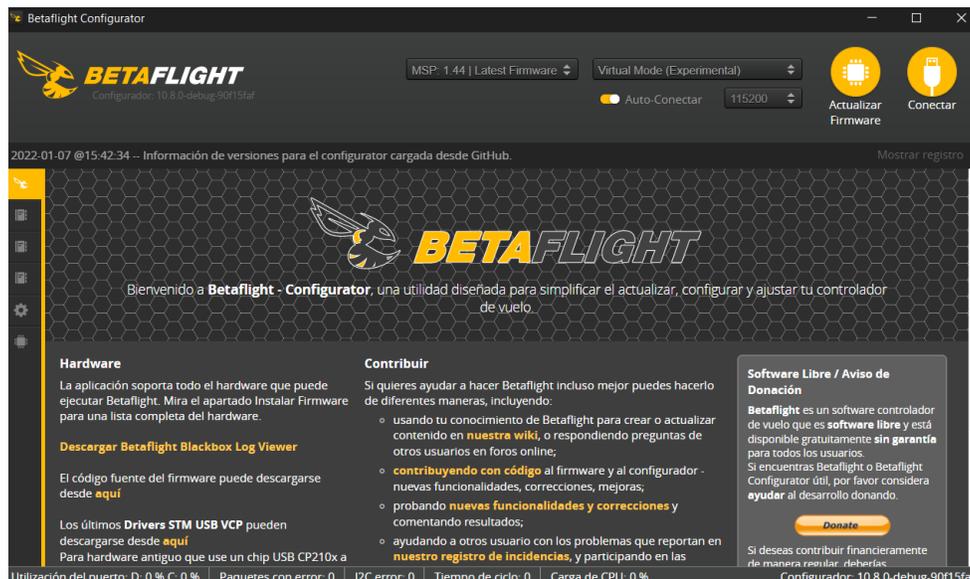


Figura. 44 Inicio del software Betaflight. Fuente: Autor.

En la parte del inicio del programa se observa que hace una mención específica en recuadro a que este software es libre, que puede ser usado por cualquier usuario sin garantía alguna, además menciona que dicha aplicación soporta todo hardware que pueda ejecutar o que soporte Betaflight, lo cual es muy bueno ya que permite actualizar el controlador de vuelo en caso de ser necesario.

## Capítulo 3 Fabricación e implementación del prototipo.

### 3.1. Fabricación

#### 3.1.1. Impresión en 3D.

La impresión de las piezas fue hecha en base al diseño del frame de DYI Mavic, específicamente el modelo Mavic Remix, cuyo autor es (Maluegha, 2016), el mismo que es diseñador de estructuras para drones, por lo cual, esta estructura se encuentra en la pagina web Thingiverse, en la cual el mismo autor menciona textualmente que puede ser usado libremente, incluyendo una licencia Creative Commons, la misma da libertad de usar, compartir, redistribuir, remezclar, construir los modelos que posean dicha licencia.

El material usado es el PETG, el mismo que presenta diversas mejoras en comparación al material PLA que usualmente se usa para realizar piezas en 3D, cuyas características son las de tener mayor resistencia a temperaturas, mayor durabilidad y una cualidad más sobresaliente por la cual se usó para este proyecto fue que el material no es biodegradable ya que es un polímero hecho a base de aceite.

#### Parte frontal

Esta pieza impresa viene acompañada con un espacio para colocar el módulo de GPS tal y como se indica en la Figura. 45, además posee diversos orificios para asegurar sus partes al resto de la estructura con tornillos y así no tener ningún percance durante el tiempo de vuelo.



Figura. 45 Parte frontal con compartimiento para GPS. Fuente: Autor.

Como se puede apreciar en la Figura. anterior, se nota que toda la estructura es cerrada y se eligió este modelo específicamente para poder volar durante la noche y en algunos casos en condiciones climáticas un poco adversas.

### **Brazos delanteros y traseros**

En la siguiente Figura. 46, se puede ver los orificios en los que van montados los motores, además de los soportes para aterrizaje que permitirán que la parte baja de la estructura no toque por completo el suelo, esto para evitar daños y desconexiones de los componentes dentro, manteniendo así la integridad del dispositivo.

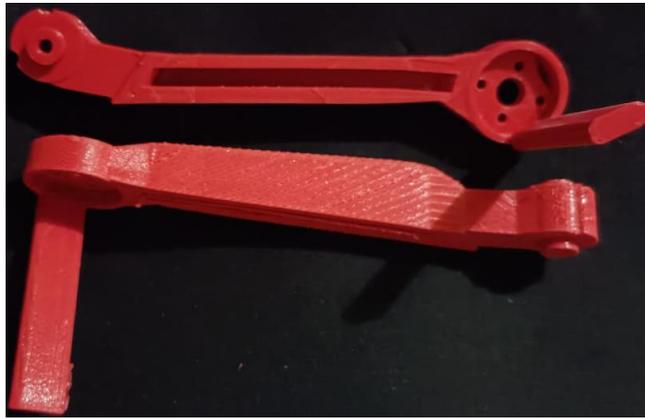


Figura. 46 Brazos frontales y traseros del dron. Fuente: Autor.

### **Tapa de la batería**

En la Figura. 47, podemos observar la cubierta de la batería, la misma que va a proteger de daños por golpes o rasguños con algún objeto o estructura mientras esté volando, y también manteniendo la batería fija en su lugar.

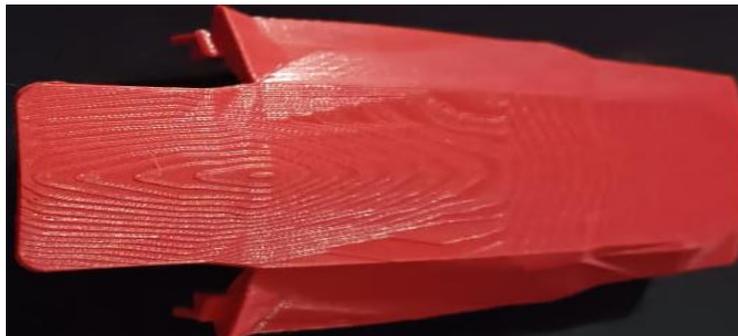


Figura. 47 Tapa protectora para batería. Fuente: Autor.

## Tapa Inferior

Esta parte de la estructura que se observa en la Figura. 48, es la encargada de contener los componentes como la controladora de vuelo, receptor, ESC, transmisor, y los cables. Por lo cual está reforzada con pegamento para que la estructura no sufra demasiados daños en caso de caídas o golpes, y así mantener la integridad de los componentes y sistemas dentro.



Figura. 48 Tapa inferior del dron. Fuente: Autor.

## Estructura media

Esta estructura media permite al dron tener mayor dureza en el centro, ya que al ser un material plástico tiende a ser más sensibles en los espacios huecos, además separa espacios entre los componentes y la batería de litio y, tienen diferentes espacios que servirán como ventilación tanto para los componentes como para la batería, tal y como se muestra en la Figura. 49.



Figura. 49 Estructura media del dron. Fuente: Autor.

## 3.2. Implementación

### 3.2.1. Diagrama de conexión interna del prototipo

El fabricante de la controladora de vuelo Mamba f405 da un diagrama en su página oficial de cómo es necesario conectar los componentes que integran al dron, mostrando opciones recomendadas de componentes, pero no obligatorias. Por lo cual, en la Figura. 50 se muestra dicho diagrama de conexiones a seguir, junto a los componentes recomendados.

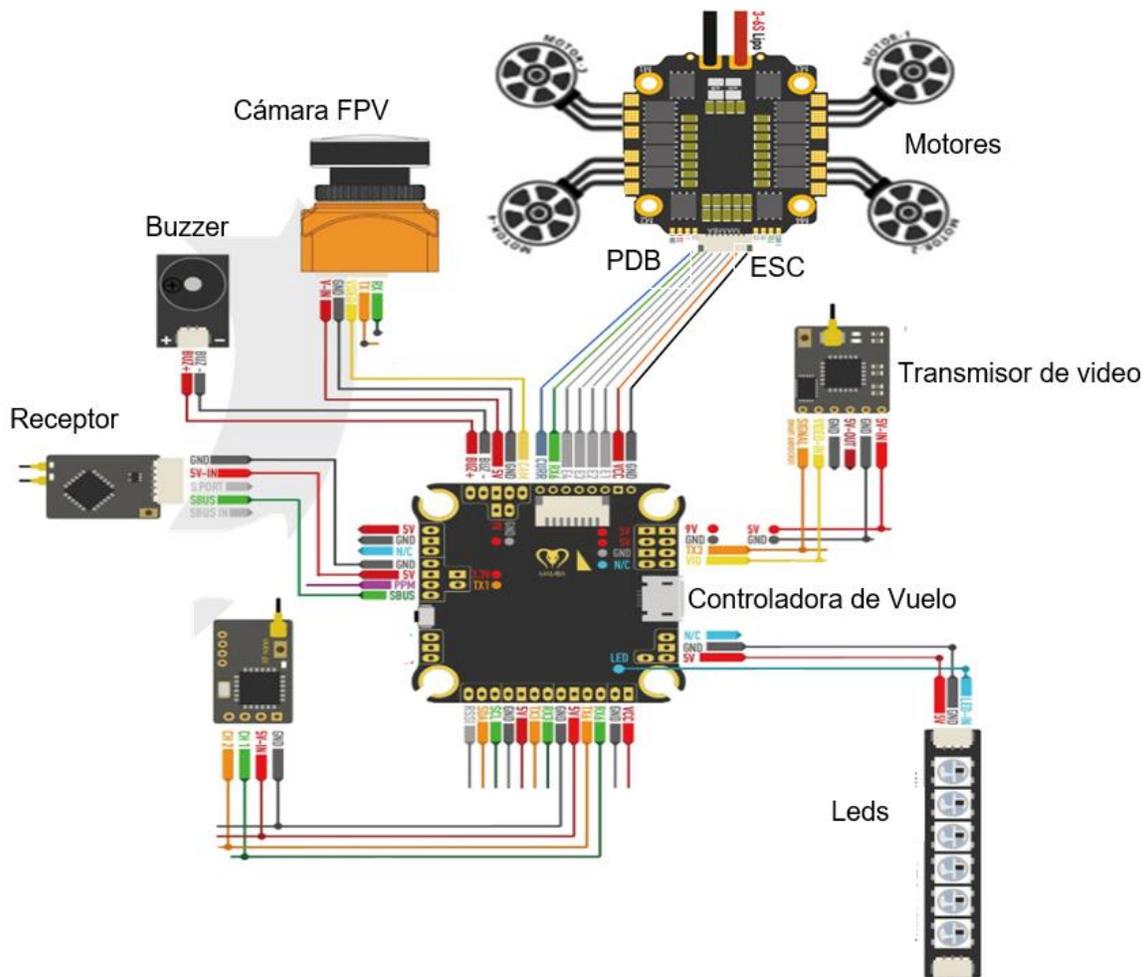


Figura. 50 Diagrama de conexiones internas del dron. Fuente: (Diatone, 2022)

### 3.2.1. Conexión de la controladora de vuelo y ESC.

Para esta parte se basa en el esquema electrónico que específicamente el fabricante recomienda para la conexión entre la controladora de vuelo y el ESC 4 en 1, debido a que una alteración en dicha conexión, el dispositivo quedaría

inutilizable o disfuncional. Por lo cual, se presenta la Figura. 51 que muestra las conexiones que se debe realizar ya sea, con conectores o con suelda en base a la Figura. 50 ya mencionada.

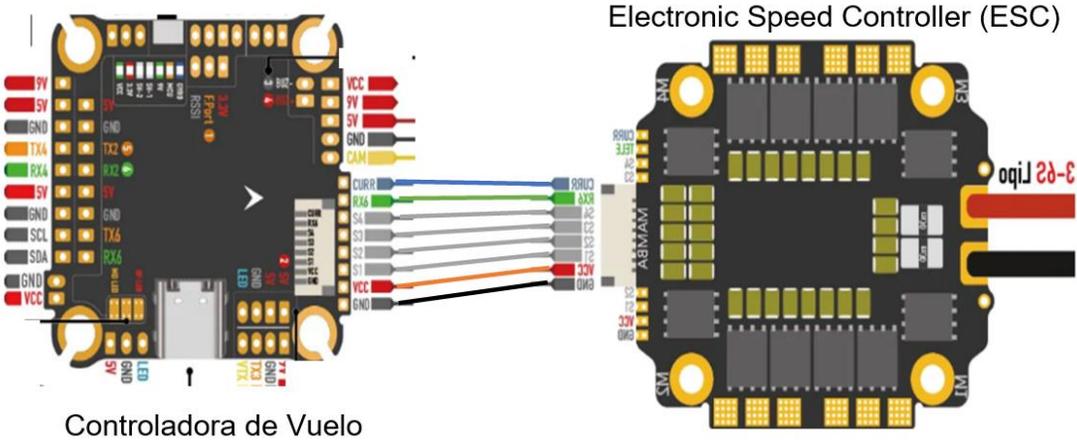


Figura. 51 Conexión física entre controladora de vuelo y Esc 4 en 1. Fuente: Autor.

3.2.2. Conexión de los motores.

Para realizar las conexiones entre el ESC 4 en 1 y los motores, en primer lugar, se pre estaña los pads donde van ubicados los cables del motor y se suelda, se debe asegurar de que estén bien fijos. Además, la siguiente Figura. 52, muestra la conexión que se realizó, de igual forma basado en la Figura. 50.

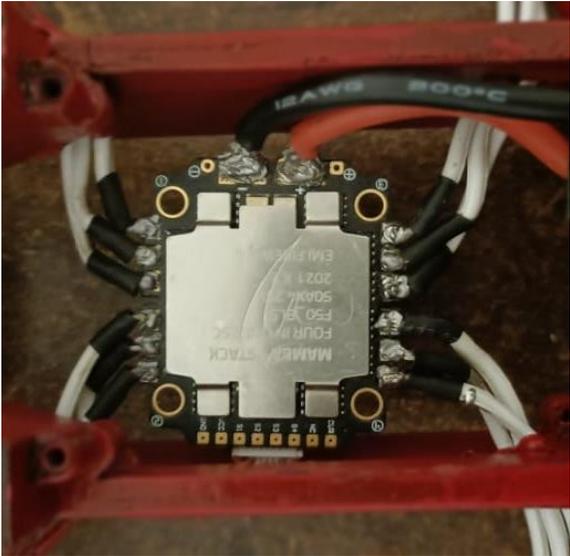


Figura. 52 Conexión física entre Esc y motores.

### 3.2.3. Conexión del receptor

La conexión entre la controladora y el receptor, viene a ser uno de los más importantes, ya que con este componente el prototipo tendrá comunicación de parte del piloto quien será que opere la nave desde tierra. Por lo cual, en la Figura. 53, se da a conocer la instalación del receptor.

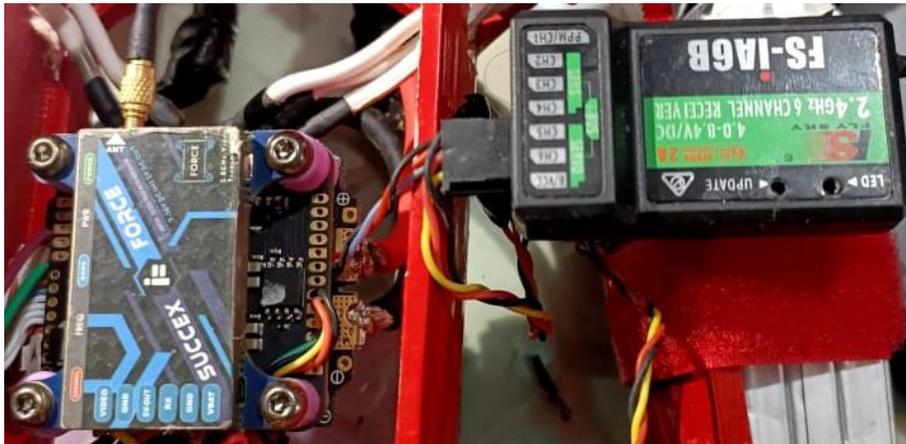


Figura. 53 Conexión entre controladora de vuelo y receptor.

### 3.2.4. Conexión del transmisor de video

La conexión de dicho componente viene establecida por el fabricante, el mismo componente emite la imagen que capte la cámara FPV y la transmite hacia las gafas FPV en tierra. A continuación, en la Figura. 54 se muestra la conexión realizada con soldadura.

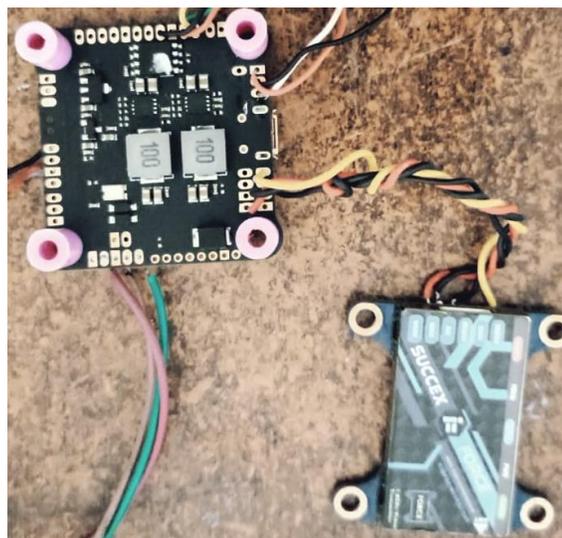


Figura. 54 Conexión del transmisor de video Succex.

### 3.2.5. Conexión de la cámara FPV

En dicho apartado en base a la Figura. 55, se presenta la conexión realizada entre la controladora de vuelo y la cámara FPV, la misma que permitirá visualizar todo lo que sucede alrededor del dron, para tener una mejor experiencia basada en el sistema Firts Person View (FPV).



Figura. 55 Conexión entre la controladora de vuelo y la cámara FPV.

### 3.2.6. Conexión del sistema de carga inalámbrica

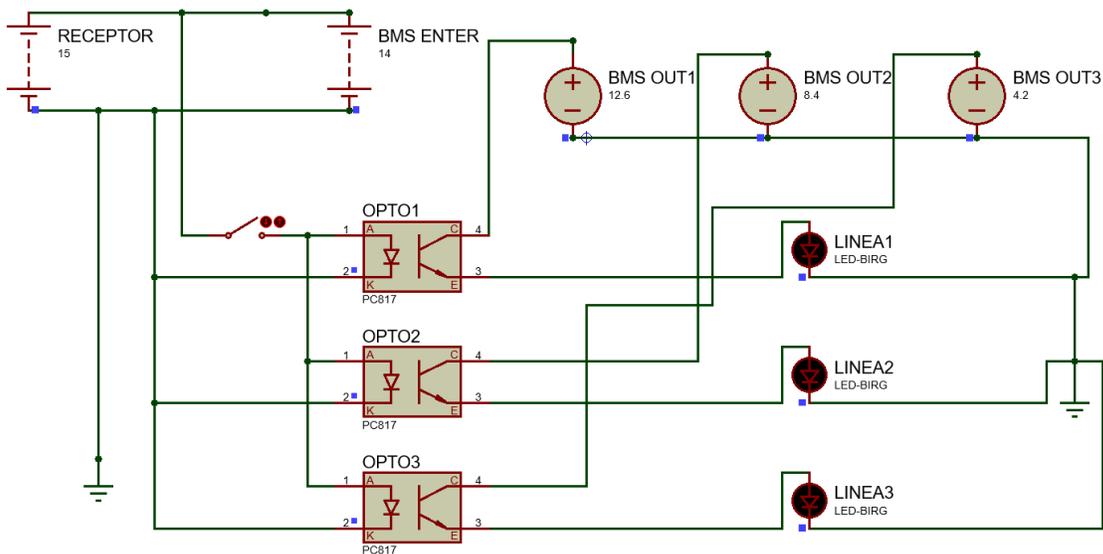


Figura. 56 Diagrama de conexión del sistema de carga inalámbrica. Fuente Autor.

Para la implementación de la carga inalámbrica, en la Figura. 56 se muestra primero que se suelda la salida del receptor con la entrada del módulo del BMS, para luego soldar las salidas establecidas del módulo BMS con las entradas de

carga de la batería LiPo, tomando en cuenta los niveles de voltaje y corriente que soporta tanto el receptor como el módulo BMS. Por lo cual, se realizan pruebas con ayuda del osciloscopio de voltaje y corriente en el sistema de carga inalámbrica. Lo mismo que se encuentra en los anexos 5.

### 3.3 Programación del prototipo en Betaflight

Inicialmente para la implementación del prototipo se procede a flashear y actualizar la controladora de vuelo en el software libre Betaflight versión 10.8.0 colocando a la misma en modo DFU (Device Firmware Update), lo cual se presenta en la Figura. 57.

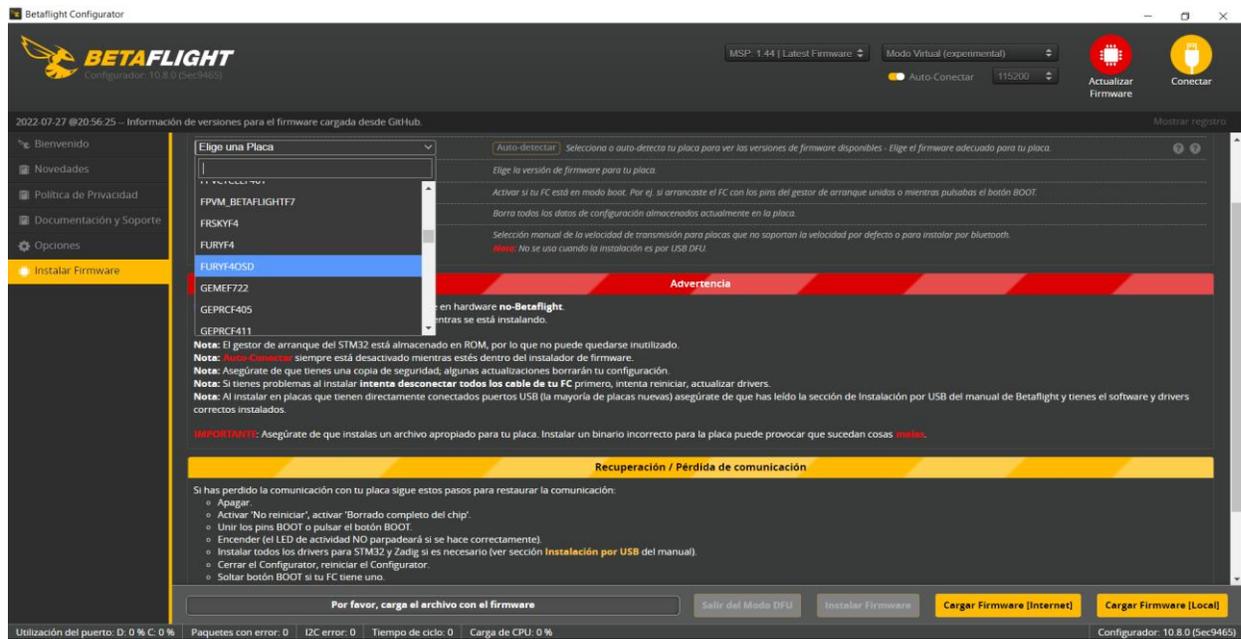


Figura. 57 Flasheo de la controladora de vuelo.

Preparada la controladora se procede a activar ciertos parámetros en el apartado de ajustes que se detallan a continuación, y se muestra en la Figura. 58:

- Calibración del acelerómetro.
- Calibración del magnetómetro en caso de poseer la controladora.

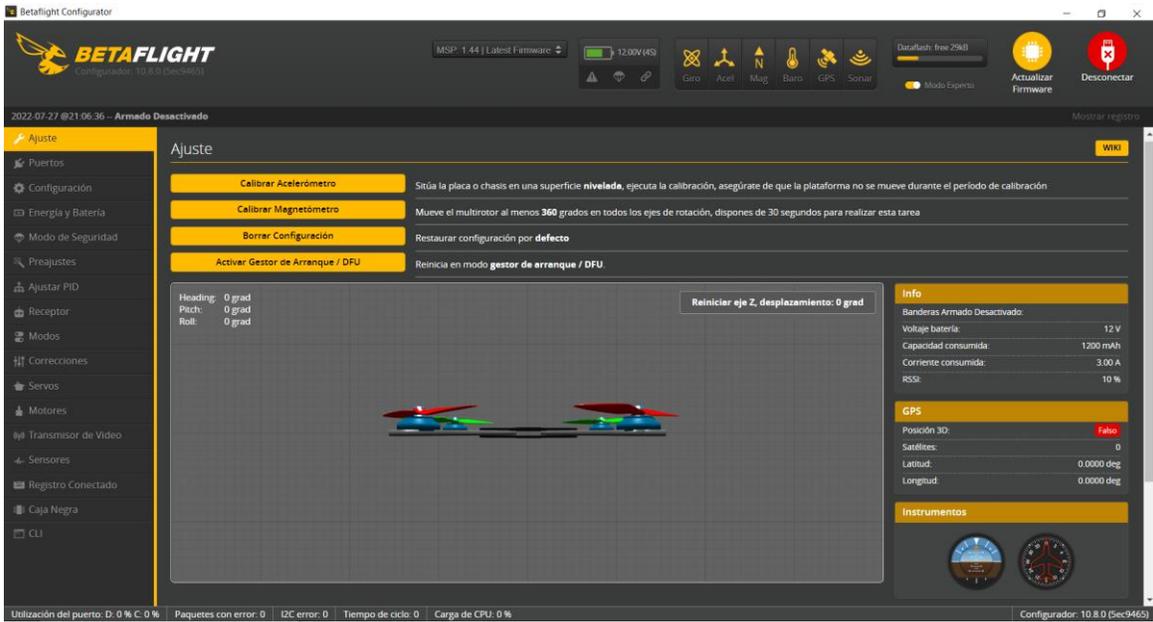


Figura. 58 Calibración del prototipo en apartado ajustes.

Por consiguiente, se dirige a la opción puertos en la cual se configura las entradas y salidas de la controladora, para su correcta comunicación con los componentes ya instalados, tal y como se indica en la Figura. 59.

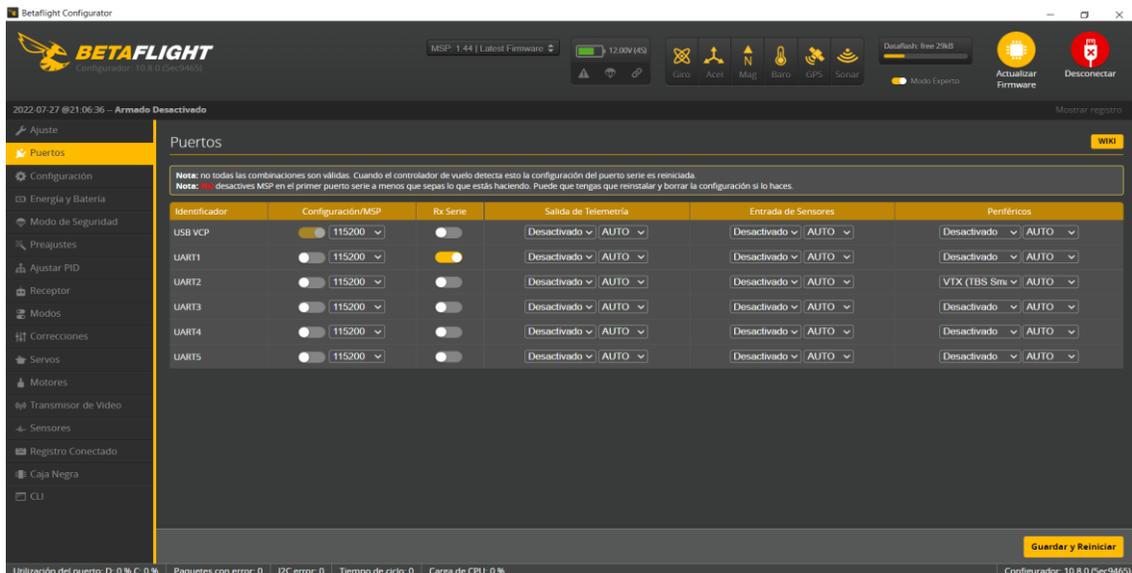


Figura. 59 Configuración de puertos.

En el apartado de configuraciones se habilita los siguientes parámetros que se encuentran establecidos en la Figura. 60, y que se detallan a continuación:

- Acelerómetro
- Rx\_Set: se encarga de dar alertas al control remoto en caso de pérdida de señal.
- OSD: permite la visualización de información en las gafas FPV.
- GPS: permite la geolocalización, al igual que el modo Rescue Mode.

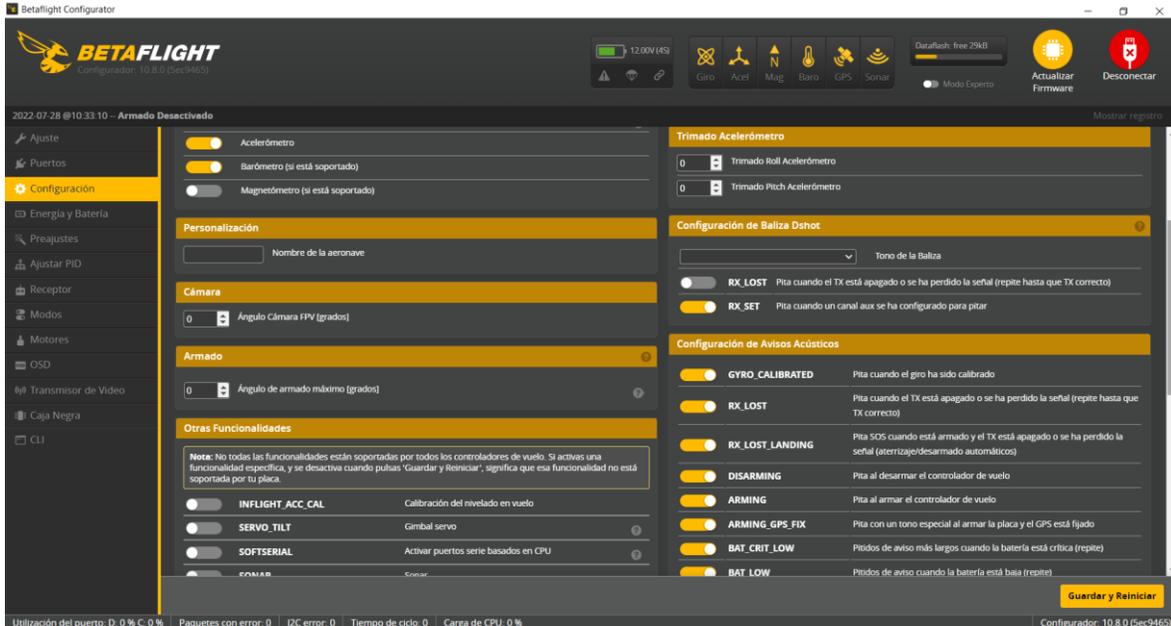


Figura. 60 Apartado configuración.

Para que existe comunicación entre receptor y control remoto, se habilita las siguientes funciones, que a su vez se indica en la Figura. 61.

- Modo del receptor: Serie a través del UART
- Proveedor del receptor serie: IBUS.
- Salida de telemetría.

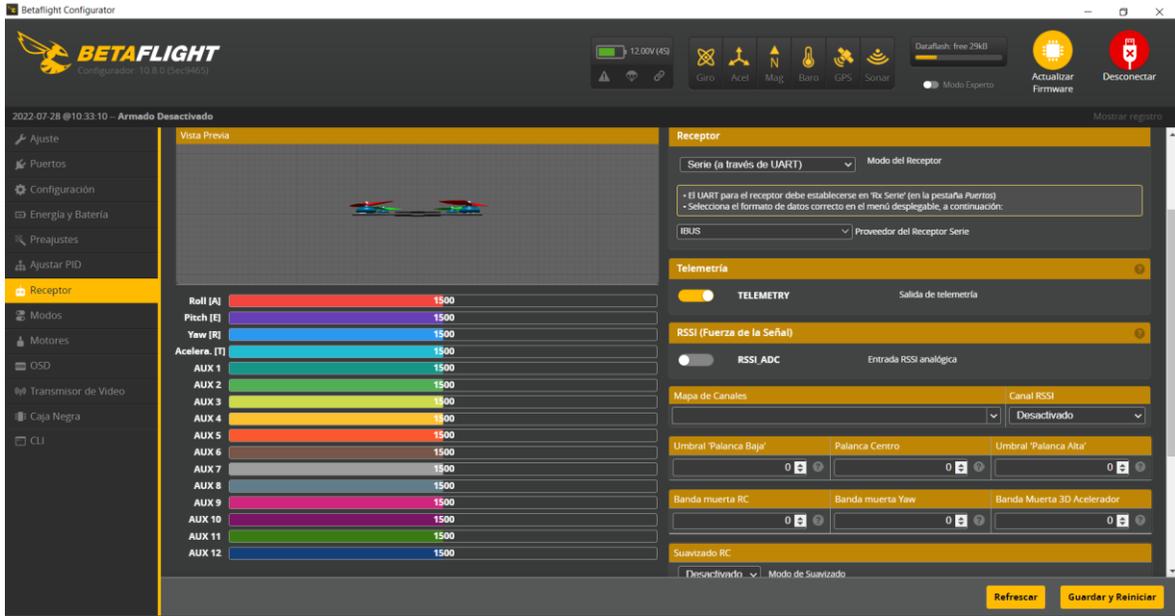


Figura. 61 Configuración receptor.

A continuación, en el apartado de Modos se establece las formas de vuelo del dron y el reconocimiento en el control remoto con cada uno de su switch, al igual que el armado del mismo, estas funciones dependen de cada usuario. Por consiguiente, se dirige a las opciones de Motores, en el cual permitirá verificar la funcionalidad y sentido de giro de cada motor que compone al prototipo y, se habilita las siguientes características, tal como se muestra en la Figura. 62.

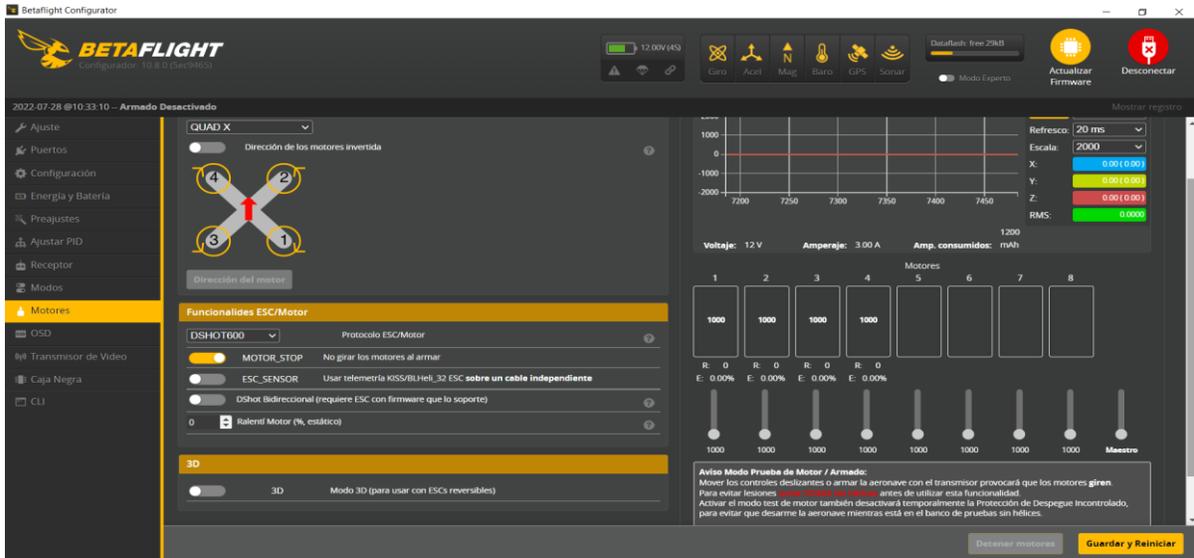


Figura. 62 Configuración Motores.

Para la visualización de alertas en las gafas FPV se activan las diferentes funciones en el apartado OSD, alertas que ayudarán a verificar que el dron se encuentre en estado optimo mientras está volando, y esto se verifica en la Figura. 63.

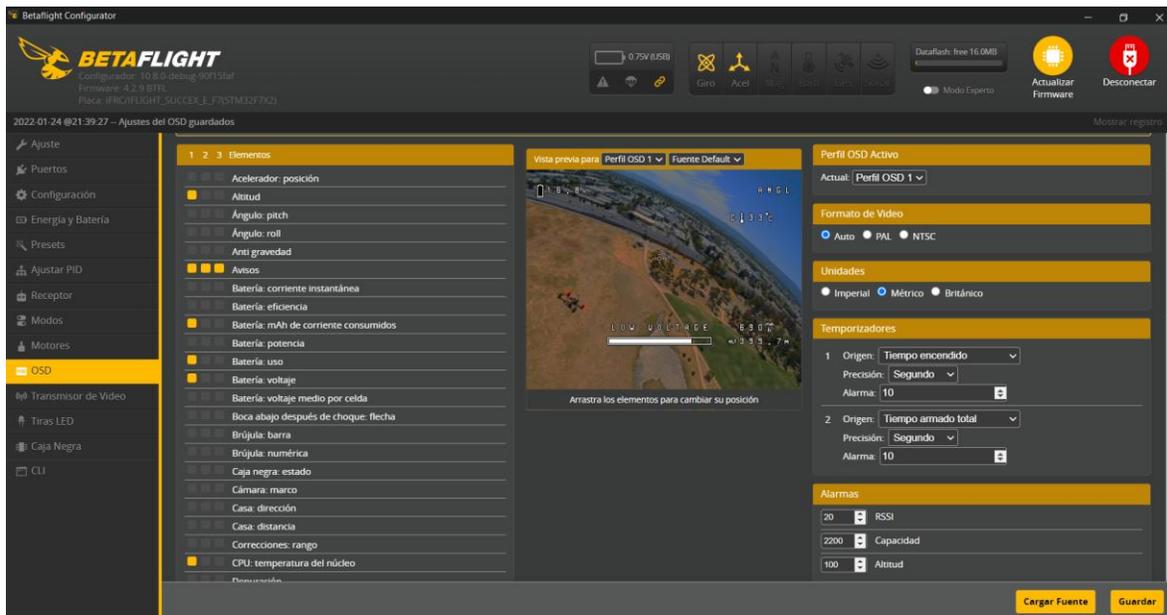


Figura. 63 Configuración OSD.

En el apartado del transmisor de video, se establece la tabla de frecuencias que viene dada por cada fabricante, como se muestra en la Figura. 64.

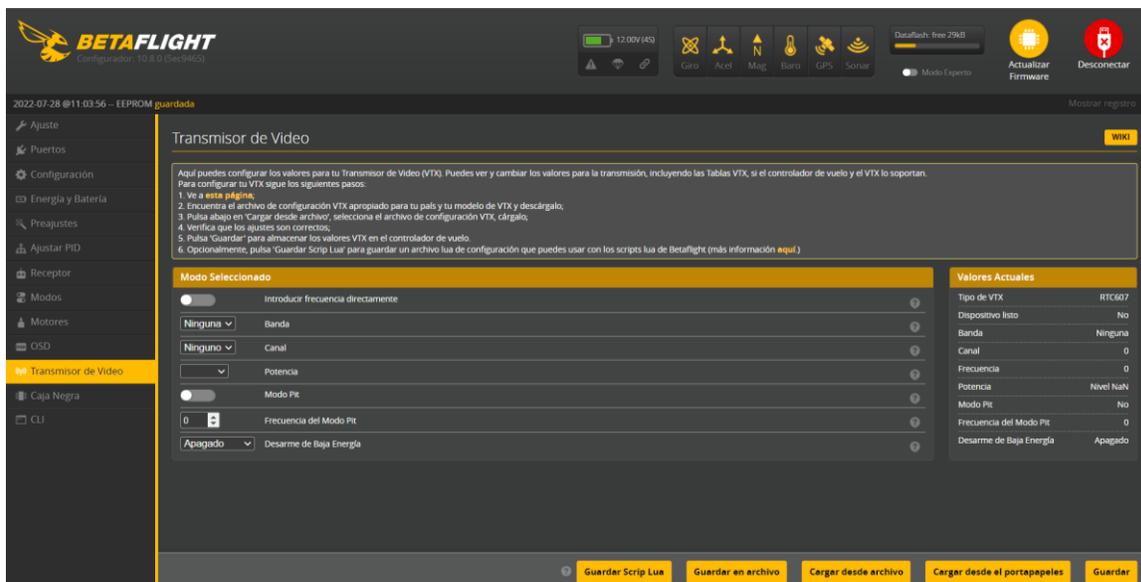


Figura. 64 Configuración transmisor de video.

### 3.4 Pruebas de funcionalidad.

Una vez terminada la implementación como se observa en la Figura. 65, cuya estructura ha pasado por modificaciones estéticas como lijar y colocar masilla adecuada para eliminar las rugosidades que presenta el material PETG impreso, por consiguiente, se le dio un fondo con pintura para que la estructura quede lo más lisa posible y así evitar oposiciones con el aire al momento de volar.



Figura. 65 Implementación del prototipo. Fuente: Autor.

A continuación, se procede a comprobar que el prototipo funciona correctamente y se realiza diferentes pruebas de funcionamiento como, por ejemplo:

- Tiempo de vuelo.
- Altura alcanzada.
- Vuelo estabilizado.
- Calidad de señal de video.

### 3.4.1. Tiempo de vuelo

Para lograr conseguir el tiempo de vuelo, en primer lugar, se escoge un lugar amplio para que el Dron no tenga ningún obstáculo que interfiera y pueda estar el mayor tiempo posible en el aire. Se arma los motores y se procede a levantar al dron con cuidado de no acelerar mucho, ya que puede causar que se pierda el control del mismo, dando como resultado un tiempo de vuelo de 13 minutos, dicho tiempo se estima con antelación. Además, con la carga inalámbrica a incorporarse se pretende mantener a la batería en un estado óptimo para conseguir una vida útil y sin mucho deterioro. El tiempo de vuelo dado en las primeras pruebas de vuelo demuestran que es posible realizar un monitoreo aéreo ya que se encuentra dentro de lo esperado. A continuación, se presentan las Figuras. 66 y 67.



Figura. 66 Dron armando motores.



Figura. 67 Dron despegando.

### 3.4.2. Altura alcanzada

Para realizar estas pruebas, se tomó en cuenta que el lugar sea amplio ya que el dron al seguir elevándose puede verse afectado por las corrientes de aire que infieren en él. En las primeras pruebas de vuelo la altura alcanzada, se logró llegar a una altura de 25 metros, la misma que se muestra en las siguientes Figuras. 68 y 69, en la cual muestra estabilidad al volar y sobrepasar a un árbol.



Figura. 68 Altura alcanzada del Dron.



Figura. 69 Dron sobrepasando la altura de un árbol.

### 3.4.3. Calidad de señal de video.

La visión es la parte más importante del proyecto, ya que al incorporar el sistema First Person View, se denota que lo esencial es observar lo que dron puede ver en el momento, por lo cual la calidad de señal de video es una parte primordial, y durante las primeras pruebas se obtuvo como resultado una calidad de señal de video aceptable a los 200 metros con muchas estructuras alrededor, tal y como se observa en las figuras 70, lo cual la calidad de video puede mejorar en campo abierto.



Figura. 70 Calidad de señal de video.

## Conclusiones

- La investigación realizada acerca de los VANT y sus tipos, mostró las diferentes aplicaciones que se pueden dar a estos dispositivos, el modo de control, las distintas configuraciones que se pueden optar, influyen en el impacto que brindarán a la sociedad, tanto en el ámbito profesional como de uso personal.
- Las aeronaves deben incorporar diferentes tipos de componentes sin dejar a un lado el peso que claramente influirá en el dron, se determinó la estructura a usar, con el dimensionamiento de cada uno de los componentes se obtuvo la mejor opción a implementarse, finalmente el software Betaflight facilitó la programación en la controladora de vuelo con configuraciones preestablecidas.
- La implementación del prototipo mostró en las pruebas planteadas el desempeño y desenvolvimiento al momento de volar, que concuerda con la calidad de señal recibida en las gafas FPV, además la cámara posee un slot para colocar una tarjeta de memoria en caso de necesitar los registros de video, lo cual lo hace útil para incorporarse en lugares estratégicos para vigilancia.

## **Recomendaciones**

Una vez finalizada la implementación del dron, se procede a realizar una serie de recomendaciones para posteriores recreaciones del proyecto, con aspectos a tomar en cuenta, que se detallan a continuación.

En primer lugar, se debe tener en cuenta los conocimientos previos acerca de estos dispositivos tecnológicos, ya que el tipo de aplicación, la configuración de los motores y el despegue puede influir al desempeño en el ámbito a usarse de cada VANT.

El estudio previo acerca de los componentes y del tipo de estructuras existentes ayudará al desenvolvimiento del proyecto, puesto que el incorporar componentes que no se usen específicamente para la aplicación a desarrollar, provocará un incremento en el peso, y esto a su vez afectará el centro de gravedad del prototipo, causando un desbalance en el prototipo al momento de volar.

El software para la programación del dron depende de cada controladora de vuelo, por lo cual, se debe tener en cuenta los diferentes modos de vuelo que existen dentro de cada programa de software libre o de paga, debido a que cada actualización del programa puede alterar cambios en la configuración, como es el caso del armado de los motores, dirección de giro de los motores, calibración de los motores al ser instalados.

Finalmente, la implementación del prototipo e incorporación del sistema carga inalámbrica pueden seguirse optimizando con respecto al tiempo de carga de la batería de LiPo, ya que como es de conocimiento, la carga inalámbrica tarda más tiempo que la carga convencional, además, se debe tener en cuenta que las baterías LiPo tienen cierta cantidad de cargas útiles, por lo cual se recomienda no dejar descargar la batería menos del 20% y no cargarla cuando aún tenga un 80% de su carga total, puesto que cuando se coloque al dron en el sistema de carga lo detectará como una nueva recarga de batería, reduciendo así la vida y utilidad de la batería.

## Bibliografía

- Aeronáutica, C. (2017, February 13). Los Aviones. Retrieved August 2, 2021, from <https://www.aerocivil.gov.co/portal-ninos/Paginas/los-aviones.aspx>
- Aira, J., Directora, Q., Antonio, J., & Ponz, C. (2021). *Título: Estudio y Diseño de la refrigeración de componentes de drones*. Catalonia.
- Andrew, D. (19 de 03 de 2012). *Flickr*. Obtenido de Flickr: <https://flic.kr/p/bEhwa2>
- Bautista, I. (21 de 09 de 2015). *Flickr*. Obtenido de Flickr: <https://flic.kr/p/yC3jAG>
- Barrientos, A., Cerro, J. Del, Gutiérrez, P., & Martin, R. S. (2015). Vehículos aéreos no tripulados para uso civil. *Tecnología y aplicaciones*, 3. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/266245324>
- Bonilla, J., & Pérez, F. (2013). *Adquisición de imágenes aéreas desde un tricóptero*. Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda. Retrieved from [https://1library.co/document/y9646wly-adquisicion-de-imagenes-aereas-desde-un-tricoptero.html?utm\\_source=seo\\_keyword\\_list](https://1library.co/document/y9646wly-adquisicion-de-imagenes-aereas-desde-un-tricoptero.html?utm_source=seo_keyword_list)
- Brooke-Holland, L. (2012). *Unmanned Aerial Vehicles (drones): an itroduction*. London, UK.: House of Commons Library.
- Cardona, E. (2018). *FUNDAMENTOS DE ROBÓTICA*. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. Retrieved from [https://virtualciencias.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/34515/mod\\_folder/content/0/6. Controladora de vuelo .pdf?forcedownload=1](https://virtualciencias.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/34515/mod_folder/content/0/6. Controladora de vuelo .pdf?forcedownload=1)
- Castellanos Jorge. (2016, December 1). Accidentes de drones: error técnico, no humano | Aviación 21. Retrieved May 19, 2021, from <https://a21.com.mx/aeronautica/2016/12/01/accidentes-de-drones-error-tecnico-no-humano>
- Chávez-Arroyo Carillo, R., & Rodríguez Molleda, W. (2018). Diseño E Implementación De Un Drone Hexacóptero Con Software De Geolocalización Para Señalizar Puntos De Siembra En El Fundo De Palma Aceitera Witpalm. *Universidad Ricardo Palma*, 1–133.

Chávez, J. E. (2017). *Análisis Y Diseño De Una Aeronave No Tripulada Para Uso Agrícola*. Madrid: European Scientific Journal.

Cordero, C. S., & Curutchet, O. P. (2017). Análisis, diseño estructural y construcción de un dron para la detección de minas antipersona.

Drones. (2021). Qué es la tecnología FPV de la cámara en drones y los mejores usos | Guía Drones. Retrieved May 19, 2021, from <https://guiadrones.com/base-de-conocimiento/que-es-la-tecnologia-fpv-de-la-camara-en-drones-y-los-mejores-usos/>

Drone, D. I. (18 de 07 de 2018). *Flickr*. Obtenido de Flickr: <https://flic.kr/p/29btFN7>

Dron-isteria (Dirección). (2018). *Cómo calcular la relación peso potencia para un dron* [Película].

Fajardo, C. (2014). *APOYO A LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN COLOMBIA A PARTIR DE IMÁGENES ADQUIRIDAS DESDE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (UAV'S)*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, BOGOTÁ. Retrieved from <http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1430IS05>

Gastón, A., & Lance, P. (2014). [www.econstor.eu](http://www.econstor.eu).

Giraldo Fausto. (2020, September 18). Lo más seguro es la inseguridad en Ibarra. Retrieved June 6, 2021, from <https://www.elvanguardistaonline.com/editoriales/375-lo-mas-seguro-es-la-inseguridad-en-ibarra>

Gómez, J., & Bautista, J. (2019). *Desarrollo de una aeronave no tripulada con detector de metales para la búsqueda de minas antipersonales*. Fundación Universitaria Los Libertadores. Retrieved from [https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2293/Bautista\\_Jessica\\_Gómez\\_John\\_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.libertadores.edu.co/bitstream/handle/11371/2293/Bautista_Jessica_Gómez_John_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Gomez, R. (2009). *Control Inteligente de un Aeroplano a Escala-Edición Única*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Monterrey. Retrieved from <https://repositorio.tec.mx/handle/11285/569272>

Gottfried, M. (13 de 11 de 2011). *Flickr*. Obtenido de Flickr: <https://flic.kr/p/aLKodi>

Guido Matamoros Ruíz. (2010, June 20). el uso de las tecnologías de aeronaves

- no tripuladas en la prevencion de desastres. Retrieved May 16, 2021, from <http://revistaentorno.desastres.hn/pdf/spa/doc2003/doc2003-contenido.pdf>
- Guillén, M. (2018, May 9). Tipos de drones aéreos - Drone Spain. Retrieved August 2, 2021, from <https://dronespain.pro/tipos-de-drones-aereos/>
- Graham, T. (11 de 09 de 2012). *Flickr*. Obtenido de Flickr: <https://flic.kr/p/dhpDam>
- Hassanalain, M., & Abdelkefi, A. (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99–131. <https://doi.org/10.1016/J.PAEROSCI.2017.04.003>
- Hisen, L. (31 de 1 de 2018). *Flickr*. Obtenido de Flickr: <https://flic.kr/p/2mLgMov>
- Hisen, L. (20 de 07 de 2020). *Flickr*. Obtenido de Flickr: <https://flic.kr/p/2jo4MQU>
- Ingen, M. (2016). Aeroplanos - significado de aeroplanos diccionario. Retrieved August 2, 2021, from <https://es.thefreedictionary.com/aeroplanos>
- Kardasz, P., Duskocz, J., Hejduk, M., Wiejkut, P., & Zarzycki, H. (2016). Drones and Possibilities of Their Using *Journal of Civil & Environmental Engineering Drones and Possibilities of Their Using*, 6, 2. <https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000233>
- Kvisberg, O. B. (12 de 2 de 2011). *Flickr*. Obtenido de Flickr: <https://flic.kr/p/9jqAEC>
- Macho, J. (2021). configuraciones multirrotores | Tienda y Tutoriales Arduino. Retrieved August 11, 2021, from <https://www.prometec.net/configuraciones-multirrotores/>
- Maluegha, W. (2016). DJI Mavic CLone. Retrieved from <http://www.maluegha.com/?p=460>
- Moguel Márquez, J. E. (2018). Una arquitectura orientada a servicios y dirigida por eventos para el control inteligente de UAVs multipropósito, 180. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=212831&info=resumen&idioma=ENG>
- Mora, J. (2018). *Implementación de un sistema de transmisión de video en tiempo*

*real utilizando el módulo de comunicación Wolf whoop Q3 5.8 GHz para un robot volador de carreras.* UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL, Guayaquil. Retrieved from <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10230/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-280.pdf>

Newton, A. (23 de 04 de 2015). *Flickr*. Obtenido de Flickr: <https://flic.kr/p/rYZrkN>

Orna Chávez, J. E., & Sebastián Dávila, A. P. (2015). Diseño, construcción y control de un hexacóptero de monitoreo, 237.

Passuni Córdova, J. (2017). Diseño y programación de add-on para el software de control y monitoreo “Mission Planner” que permita visualizar el área fotografiada de cada imagen. *Pontificia Universidad Católica Del Perú*. Retrieved from <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/163476>

Qempo. (2017, March 20). Conoce el dron que puede resistir golpes y caídas - Qempo. Retrieved May 19, 2021, from <https://www.qempo.com/blog/conoce-dron-resiste-golpes-caidas/>

Quintero, A. (2018). *IMPLEMENTACION DE UN DRONE DE APOYO AL CENTRO DE VIGILANCIA DE UNICENTRO BOGOTÁ*. Unidad Piloto de olombia, Bogotá. Retrieved from <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004614.pdf>

Ruipérez, P. (2015). Diseño y fabricación de un Dron, 119. Retrieved from [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73170/RUIPÉREZ - Diseño y fabricación de un dron mediante impresión 3D.pdf?sequence=5](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73170/RUIPÉREZ%20-%20Diseño%20y%20fabricación%20de%20un%20dron%20mediante%20impresión%203D.pdf?sequence=5)

Santos, M. M. D., Stemmer, M. R., & Vasques, F. (2002). *UMA REDE CAN APLICADA AO CONTROLE DE UMA AERONAVE NÃO TRIPULADA-O HELICÓPTERO HELIX*.

Sarche Carrion Felipe Esteban, V. F. K. J. (2012). Diseño y Construcción de un Prototipo de Tricóptero Controlado de Forma Remota Mediante Radiofrecuencia.

Sevilla, F. A. (24 de 03 de 2018). *Flickr*. Obtenido de Flickr:  
<https://flic.kr/p/25sgKuV>

Stanley. (26 de 11 de 2015). *Flickr*. Obtenido de Flickr: <https://flic.kr/p/BnJopw>

Stonehouse, K. (18 de 10 de 2018). *Flickr*. Obtenido de Flickr:  
<https://flic.kr/p/2b58ktb>

Skymotion. (2020, September 30). Programa de mantenimiento de drones -  
SkyMotion. Retrieved May 19, 2021, from <https://skymotion.com.co/programa-de-mantenimiento-de-drones/>

Yedamale, P. (2003). Brushless DC (BLDC) Motor Fundamentals. *MICROCHIP*, 1.  
Retrieved from <http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/00885a.pdf>

## Anexos

### Anexo 1. Modelo 3D de la estructura seleccionada

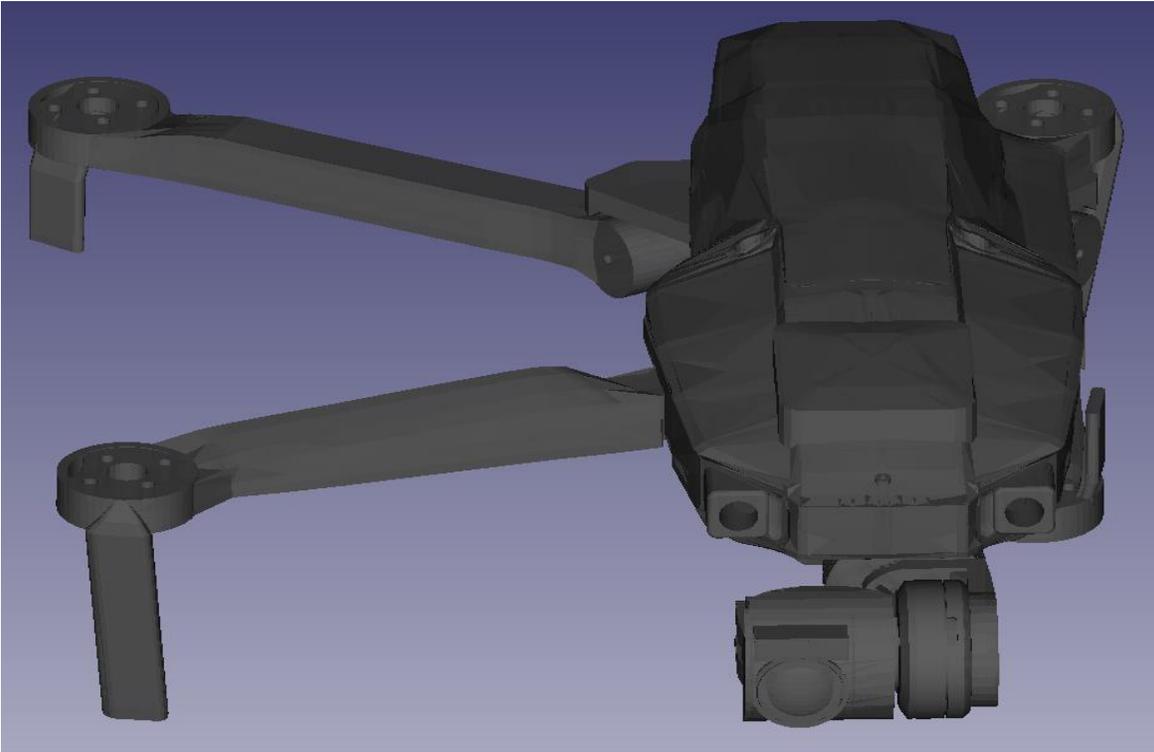


Figura. A.1. Estructura DJI visualización en 3D. Fuente: (Maluegha, 2016).

### Anexo 2. Impresión de las piezas en 3D

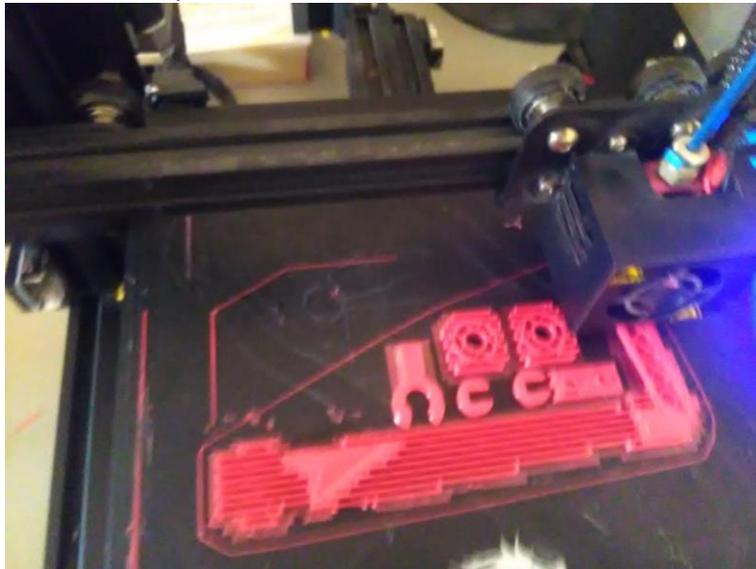


Figura. A.2. Impresión de las piezas en material PETG.



Figura. A. 3 Piezas terminas de imprimir

### Anexo 3. Armado e implementación

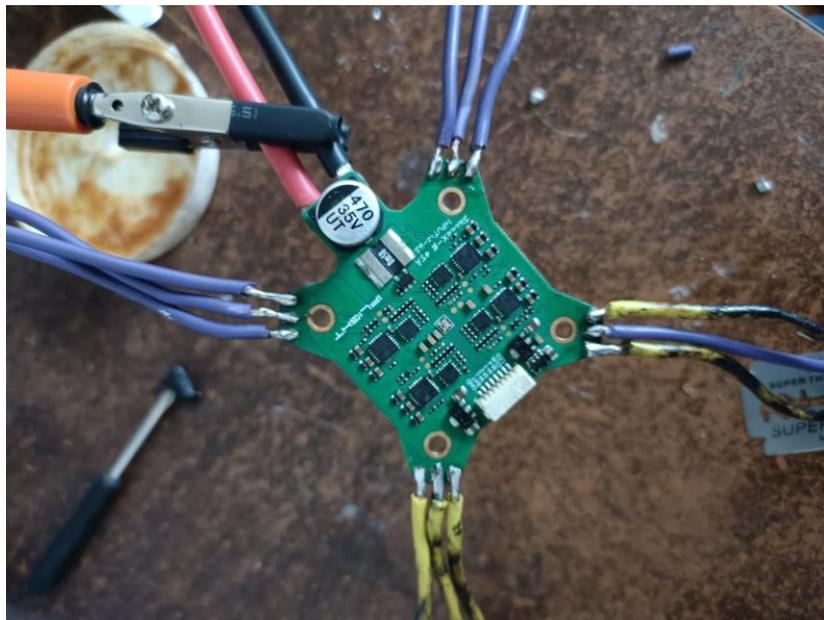


Figura. A. 4 Soldadura del ESC con los motores brushless



Figura. A. 5 Montaje de los motores en los brazos impresos

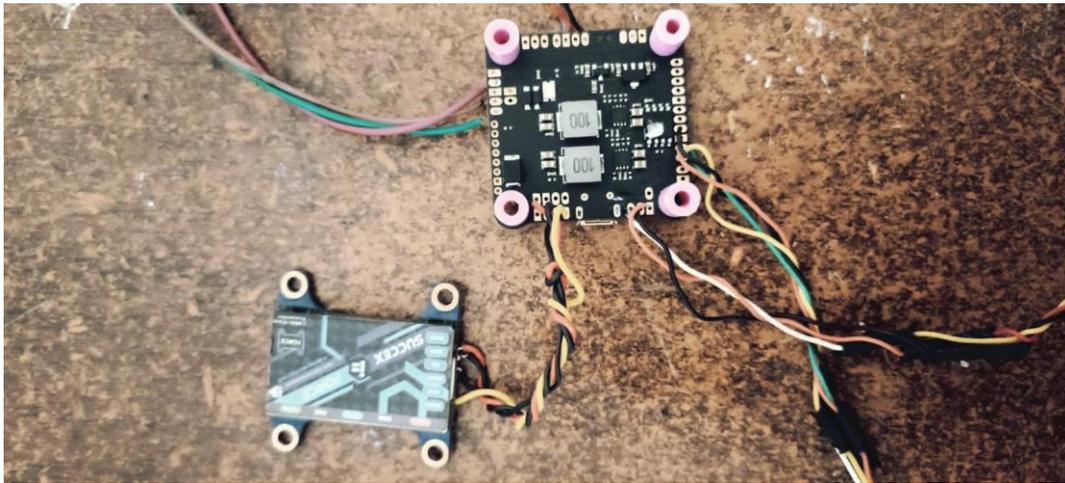


Figura. A. 6 Conexión del Transmisor de video

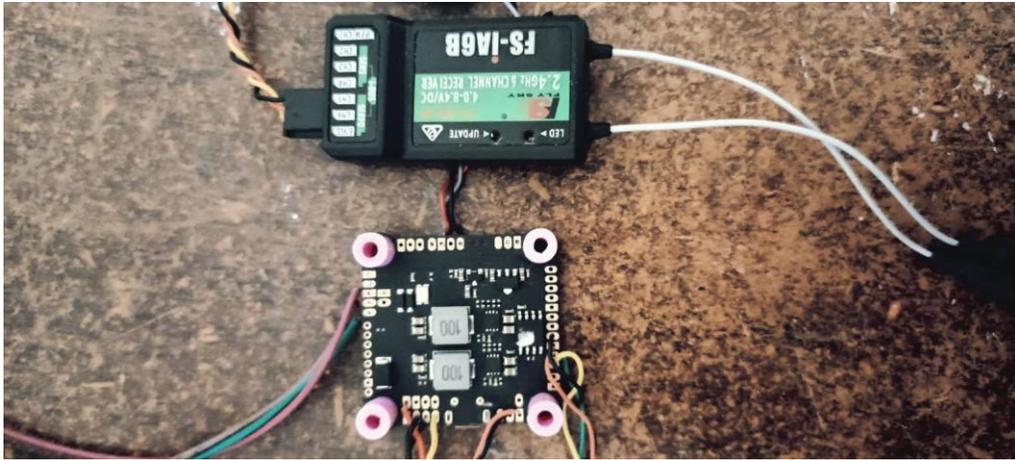


Figura. A. 7 Conexión del Receptor



Figura. A. 8 Conexión de la cámara FPV.



Figura. A. 9 Montaje de componentes dentro de la estructura



Figura. A. 10 Estructura final terminada

#### Anexo 4. Pruebas de Vuelo



Figura. A. 11 Primera prueba a 10 metros de altura



Figura. A. 12 Primera prueba a 25 metros de altura



Figura. A. 13 Primera prueba a 30 metros de altura



Figura. A. 14 Accidente durante primera prueba de vuelo



Figura. A. 15 Segunda prueba de vuelo a 30 metros de altura



Figura. A. 16 Segunda prueba de vuelo a 35 metros de altura.



Figura. A. 17 Segunda prueba de vuelo a 40 metros de altura

## Anexo 5. Sistema de Carga Inalámbrica

### Pruebas de voltaje

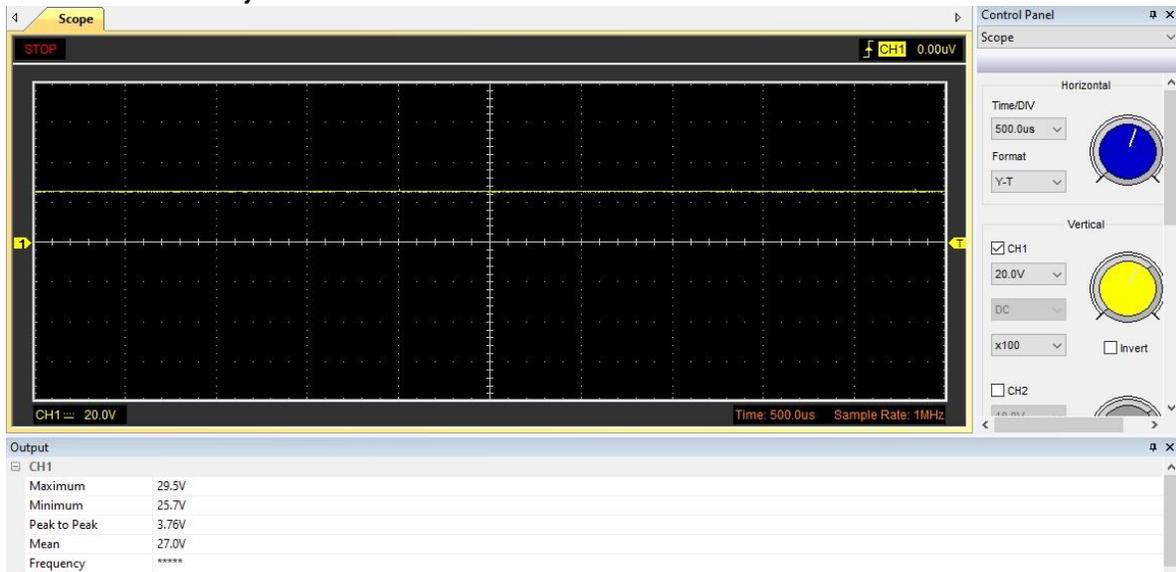


Figura. A. 18 Voltaje a la entrada del BMS

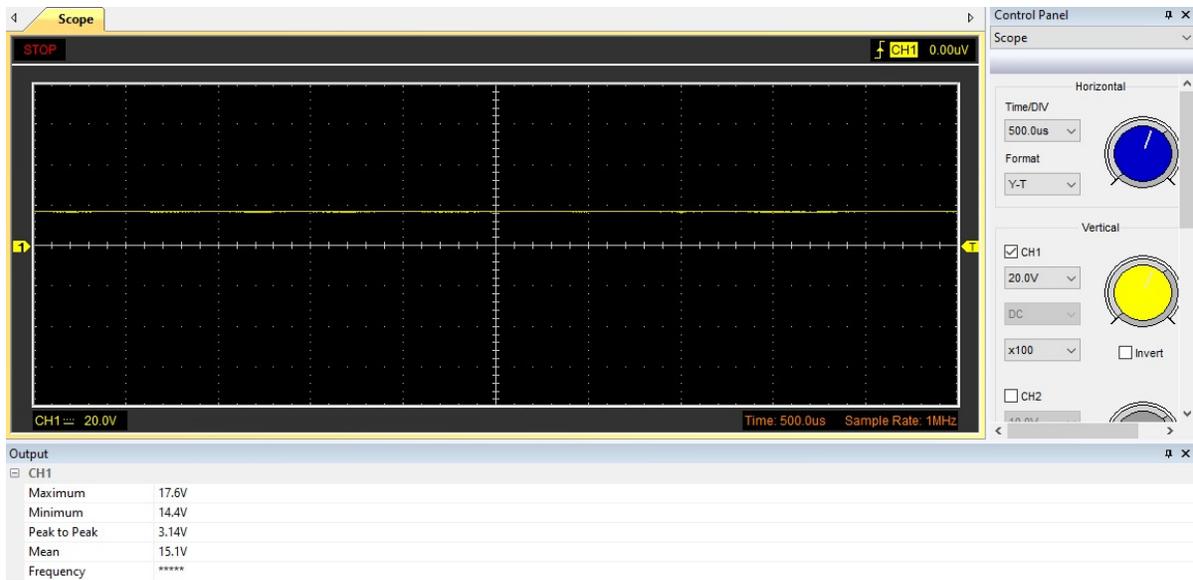


Figura. A. 19 Prueba en la primera salida 12.6V del BMS

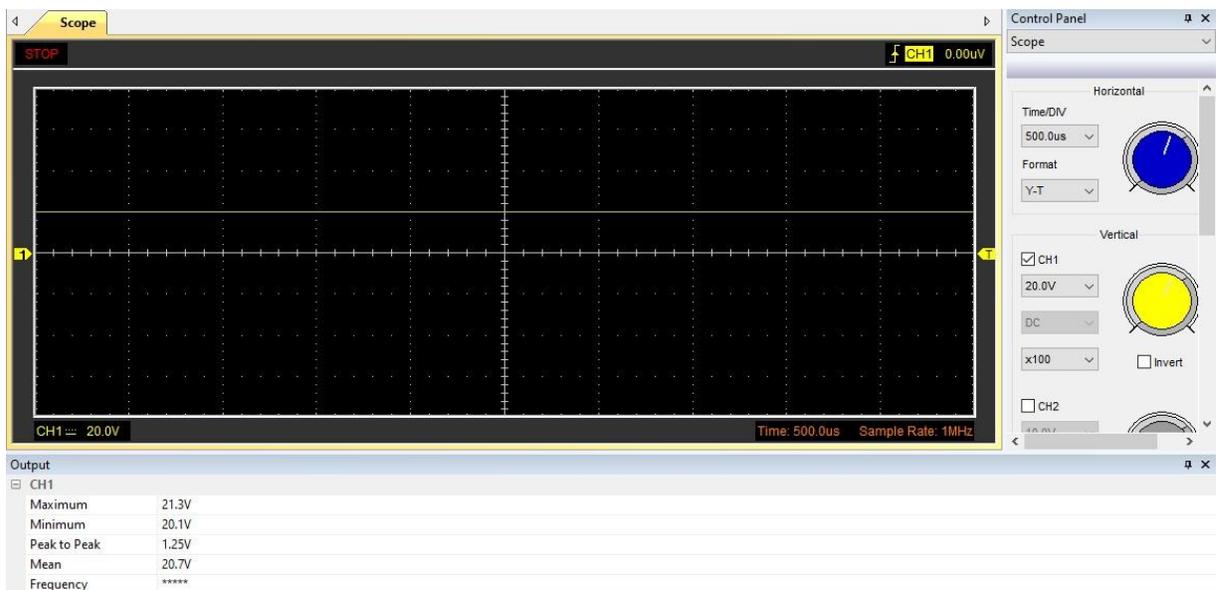


Figura. A. 20 Prueba en la segunda salida 8.4V del BMS

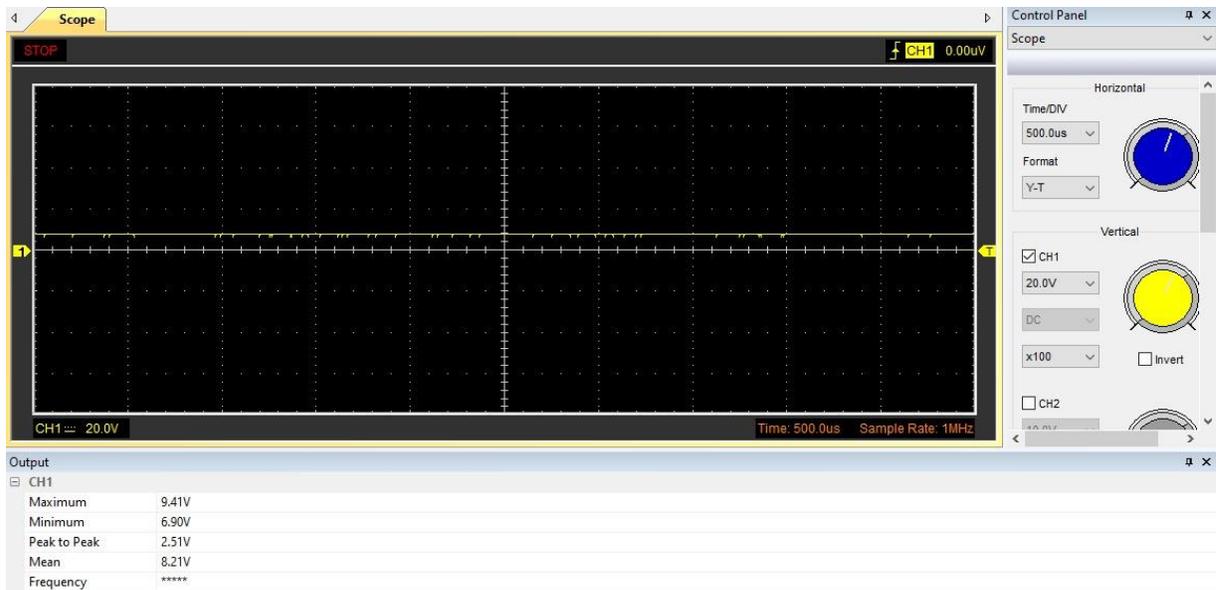


Figura. A. 21 Prueba en la tercera salida 4.2V del BMS

## Prueba de corriente

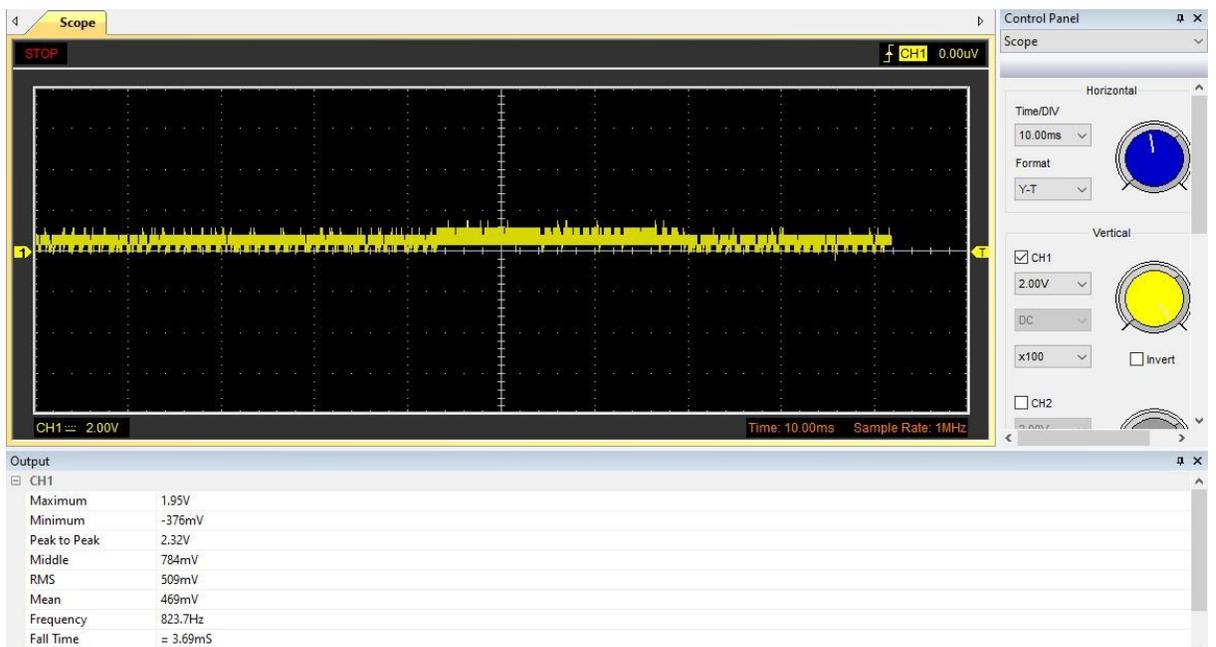


Figura. A. 22 Prueba en la primera salida del BMS

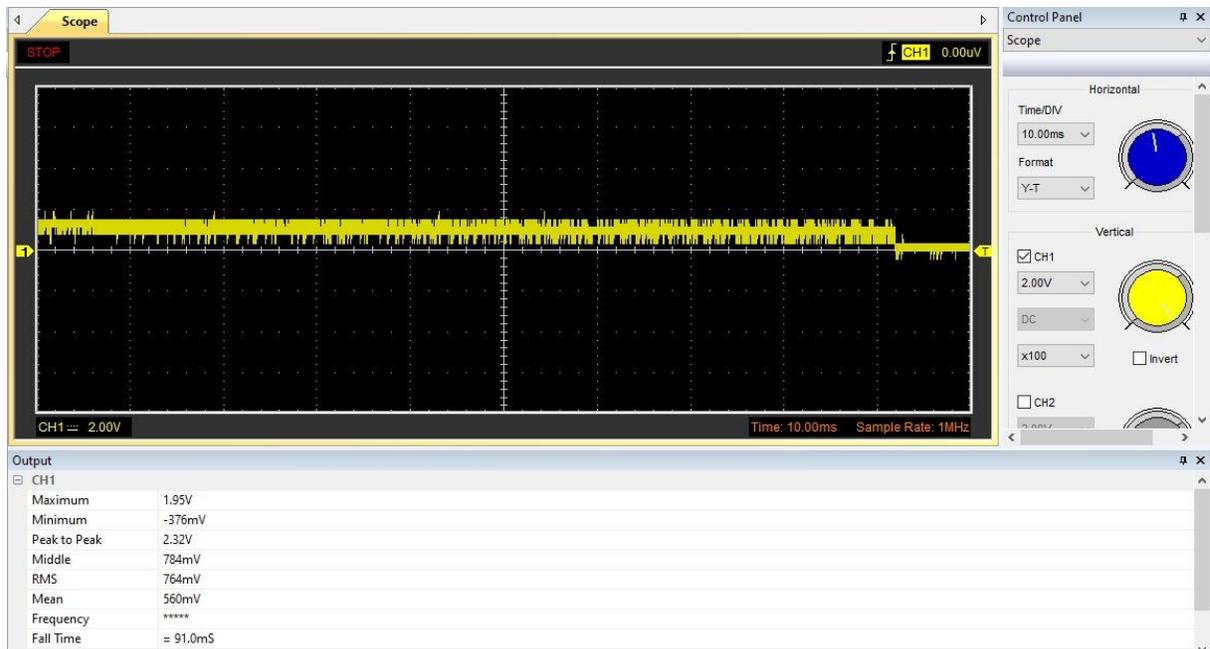


Figura. A. 23 Prueba en la segunda salida BMS