



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

DISEÑO DE UN DRONE DE BAJO COSTO PARA LA FERTILIZACIÓN DE PLANTACIONES DE CAFÉ A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE ASPERSIÓN Y RIEGO, UTILIZANDO LA PLACA PROGRAMABLE BASADA EN EL MICROCONTROLADOR ATMEGA2560 Y ATMEGA328P. EN LA FINCA MORALFA, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO, MUNICIPIO DE COATEPEQUE

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J. Gómez'.

Firmado electrónicamente por: José Francisco Gómez Rivera
Motivo: Informe final TESIS
Fecha: 23/04/2024 13:36:35
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Jaime Salvador Pineda Paz

Asesorado por el Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz

Guatemala, abril de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN DRONE DE BAJO COSTO PARA LA FERTILIZACIÓN DE PLANTACIONES DE CAFÉ A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE ASPERSIÓN Y RIEGO, UTILIZANDO LA PLACA PROGRAMABLE BASADA EN EL MICROCONTROLADOR ATMEGA2560 Y ATMEGA328P. EN LA FINCA MORALFA, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO, MUNICIPIO DE COATEPEQUE

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JAIME SALVADOR PINEDA PAZ

ASESORADO POR EL ING. KENNETH ISSUR ESTRADA RUIZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, ABRIL DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
EXAMINADOR	Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salome Rodríguez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UN DRONE DE BAJO COSTO PARA LA FERTILIZACIÓN DE PLANTACIONES DE CAFÉ A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE ASPERSIÓN Y RIEGO, UTILIZANDO LA PLACA PROGRAMABLE BASADA EN EL MICROCONTROLADOR ATMEGA2560 Y ATMEGA328P.
EN LA FINCA MORALFA, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO, MUNICIPIO DE COATEPEQUE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 17 de mayo del 2022.



Jaime Salvador Pineda Paz

Guatemala 16 de noviembre de 2023

Ing. Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador del area de electrónica
Escuela de ingeniería mecánica eléctrica
Facultad de ingeniería
Universidad de San Carlos De Guatemala

Estimado Ingeniero Solares:

Por este medio le informo que he revisado el trabajo de graduación titulado "DISEÑO DE UN DRONE DE BAJO COSTO PARA LA FERTILIZACIÓN PLANTACIONES DE CAFÉ A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE ASPERSIÓN Y RIEGO, UTILIZANDO LA PLACA PROGRAMABLE BASADA EN EL MICROCONTROLADOR ATMEGA2560 Y ATMEGA328P. EN LA FINCA MORALFA, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO, MUNICIPIO DE COATEPEQUE", elaborado por el estudiante Jaime Salvador Pineda Paz.

El mencionado trabajo llena los requisitos para dar mi aprobación, e indicarle que el autor y mi persona somos responsables por el contenido y conclusión de este.

Atentamente.


Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Colegiado No. 6271
Ing. Kenneth Issur Estrada Ruiz
Colegiado no.6271
asesor



Guatemala, 26 de febrero de 2024

Señor director
Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC

Estimado Señor director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UN DRONE DE BAJO COSTO PARA LA FERTILIZACIÓN PLANTACIONES DE CAFÉ A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE ASPERSIÓN Y RIEGO, UTILIZANDO LA PLACA PROGRAMABLE BASADA EN EL MICROCONTROLADOR ATMEGA2560 Y ATMEGA328P. EN LA FINCA MORALFA, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO, MUNICIPIO DE COATEPEQUE**, desarrollado por el estudiante **Jaime Salvador Pineda Paz**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Julio César Solares Peñate'.

Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica

SIST.LNG.DIRECTOR.3.EIME.2024

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante Jaime Salvador Pineda Paz: DISEÑO DE UN DRONE DE BAJO COSTO PARA LA FERTILIZACIÓN PLANTACIONES DE CAFÉ A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE ASPERSIÓN Y RIEGO, UTILIZANDO LA PLACA PROGRAMABLE BASADA EN EL MICROCONTROLADOR ATMEGA2560 Y ATMEGA328P EN LA FINCA MORALFA, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO, MUNICIPIO DE COATEPEQUE, procede a la autorización del mismo.

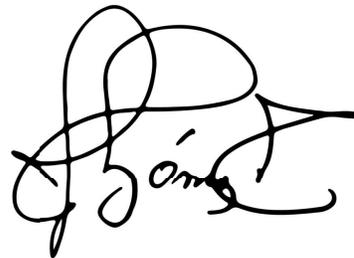


Ingeniero Armando Alonso Rivera Carrillo
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

Guatemala, abril de 2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN DRONE DE BAJO COSTO PARA LA FERTILIZACIÓN PLANTACIONES DE CAFÉ A TRAVÉS DE UN SISTEMA DE ASPERSIÓN Y RIEGO, UTILIZANDO LA PLACA PROGRAMABLE BASADA EN EL MICROCONTROLADOR ATMEGA2560 Y ATMEGA328P. EN LA FINCA MORALFA, DEPARTAMENTO DE QUETZALTENANGO, MUNICIPIO DE COATEPEQUE**, presentado por: **Jaime Salvador Pineda Paz** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Firmado electrónicamente por: José Francisco
Gómez Rivera
Motivo: Informe final TESIS
Fecha: 23/04/2024 13:31:35
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, abril de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 170 CUI: 2916581561609

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por permitirme concluir esta etapa tan importante en mi vida y guiar mi camino.
- Mi madre** Bertha Odilia Paz López, por su apoyo incondicional, sus consejos y su ejemplo de dedicación, perseverancia y superación.
- Mi padre** Jaime Antonio Pineda Paz, por su apoyo y acompañamiento en toda mi etapa estudiantil.
- Mi hermana** Ana Gabriela Pineda Paz, por todos los consejos, paciencia y apoyo incondicional.
- Mi abuelo** Luis Antonio Pineda Alvarez (q. e. p. d.), por la inspiración, apoyo, consejos y sobre todo por compartir su conocimiento y herramientas.
- Mi familia** Por su apoyo y ejemplo para alcanzar mis metas.

AGRADECIMIENTOS A:

- | | |
|---|--|
| Universidad de San Carlos de Guatemala | Por brindarme los conocimientos y herramientas necesarias para desenvolverme como profesional. |
| Mis amigos | Christian Aacajabon, Gabriel Estupinian, Julio Flores, Oscar Escalante, Pablo Valiente, por su apoyo, compañía y cariño. |
| Ingenieros | Ing. Jorge Ballsels, por su apoyo y aporte de conocimientos en el área de desarrollo y diseño electrónico. |

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Historia	1
1.2. Visión.....	1
1.3. Misión	1
1.4. Organigrama de labores	2
1.5. A que se dedica.....	3
1.5.1. Área geográfica	3
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Vehículo aéreo	5
2.2. Tipos de vehículos aéreos.....	6
2.2.1. Tripulados.....	7
2.2.2. No tripulados.....	7
2.2.2.1. Vuelo controlado remotamente.....	8
2.2.2.2. Vuelo programado	8
2.3. Drone.....	8
2.3.1. Tipos de drones	9
2.3.1.1. Ala fija.....	9

2.3.1.2.	Ala rotativa	10
2.3.1.2.1.	Cuadróptero.....	11
2.3.1.2.2.	Octacóptero.....	12
2.3.2.	Elementos que componen a un drone.....	13
2.3.2.1.	Controlador de vuelo	13
2.3.2.1.1.	Placa programable basada en Atmega2560.....	14
2.3.2.1.2.	Firmware	15
2.3.2.1.3.	Mission Planner.....	15
2.3.2.2.	Motorización	17
2.3.2.2.1.	Constante de velocidad por voltio aplicado	18
2.3.2.3.	Hélice	19
2.3.2.4.	Radio control	20
2.3.2.4.1.	Emisor de radio frecuencia.....	21
2.3.2.4.2.	Receptor de radio frecuencia.....	22
2.3.2.5.	Batería.....	22
2.3.2.6.	Sensor.....	24
2.3.2.6.1.	Sensor de presión	25
2.3.2.7.	Módulos.....	25
2.3.2.7.1.	Magnetómetro	25
2.3.2.7.2.	Acelerómetro.....	26
2.3.2.7.3.	Variador de velocidad ..	26
2.3.2.7.4.	GPS	28
2.3.2.8.	Payload	29

	2.3.2.8.1.	Consideraciones para Payload Aéreo	29
	2.3.2.8.2.	Propuesta de Payload aéreo	30
2.4.	Fertilizante		30
2.4.1.	Tipos de fertilizante.....		30
	2.4.1.1.	Fertilizante sintético	31
	2.4.1.2.	Fertilizante orgánico	31
3.	BASE DE DISEÑO		33
3.1.	Diseño de dron de bajo costo		33
3.1.1.	Cálculos para el diseño del dron de bajo costo		33
	3.1.1.1.	Cálculo de presupuesto de peso	34
3.1.2.	Selección de componentes.....		36
	3.1.2.1.	Selección de sistema de motores, hélice y variador de velocidad.....	36
	3.1.2.2.	Selección de placa controladora de vuelo	41
	3.1.2.3.	Selección de GPS.....	42
	3.1.2.4.	Selección de batería	42
	3.1.2.5.	Selección de radio control	46
3.2.	Diseño chasis y ensamblaje de estructura de dron multirroto		47
3.3.	Programación y configuración de tarjeta controladora de vuelo.....		58
3.4.	Diseño de conexión de electrónica y ensamblaje a la estructura del dron		65
3.5.	Diseño Payload		67
	3.5.1.	Diseño de piezas en 3D.....	67

3.5.2.	Selección de componentes electrónicos y mecánicos	69
3.5.2.1.	Microcontrolador atmel328P.....	69
3.5.2.2.	Bomba de compresión de aire.....	69
3.5.2.3.	Selección de sensor de presión	70
3.5.3.	Programación de Payload.	71
3.5.4.	Ensamblaje de Payload.....	72
4.	MANUAL DE USUARIO.....	75
4.1.	Descripción	75
4.2.	Funcionamiento.....	75
4.3.	Consideraciones	77
5.	MANUAL DE MANTENIMIENTO	79
5.1.	Mantenimiento preventivo	79
5.2.	Mantenimientos correctivos.....	80
6.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	81
6.1.	Análisis de costo de componentes electrónicos y mecánicos del drone.....	81
6.2.	Análisis de costo del desarrollo de estructura del drone	81
6.3.	Análisis de costo del diseño de Payload	82
6.4.	Costos de mantenimientos futuros del drone	83
6.5.	Costos totales del diseño de drone.	84
	CONCLUSIONES.....	85
	RECOMENDACIONES	87
	REFERENCIAS	89
	ANEXO.....	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Organigrama de la finca.....	2
Figura 2.	Vista aérea de finca Moralfa	3
Figura 3.	Chasis de drone Cuadricóptero.	11
Figura 4.	Diseño de octacoptero	13
Figura 5.	Diseño de octacoptero	15
Figura 6.	Pantalla de lanzamiento de Aplicación MissionPlanner	16
Figura 7.	Motor Brushless de 960KV	17
Figura 8.	Distintos modelos de hélices.	20
Figura 9.	Control emisor de radio frecuencia	21
Figura 10.	Receptor de radio frecuencia	22
Figura 11.	Módulo variador de velocidad	28
Figura 12.	Hoja de datos de motor Brushless.....	38
Figura 13.	Gráfica de comportamiento de corriente vs aceleración	40
Figura 14.	Batería seleccionada para la propuesta de Drone	45
Figura 15.	Placa base estructural de chasis	48
Figura 16.	Soporte estructural superior.....	48
Figura 17.	Soporte estructural inferior.....	49
Figura 18.	Ubicación de soporte estructural inferior.....	50
Figura 19.	Ubicación de soporte estructural superior.....	50
Figura 20.	Diseño de porta baterías.....	51
Figura 21.	Instalación de porta baterías.....	52
Figura 22.	Sujeción de porta baterías	53
Figura 23.	Instalación de variadores de velocidad en chasis	54

Figura 24.	Instalación de motores en adaptadores y en chasis.....	55
Figura 25.	Instalación de motores en adaptadores y en chasis.....	56
Figura 26.	Instalación de hélices en motores	57
Figura 27.	Configuración de hélices y giro de motores.....	57
Figura 28.	Inicio de programa Mission Planner	58
Figura 29.	Pantalla de inicio de Mission Planner	59
Figura 30.	Primera conexión de tarjeta controladora de vuelo	60
Figura 31.	Configuración de puerto para tarjeta controladora de vuelo.....	61
Figura 32.	Configuración de vehículo que se utilizara	61
Figura 33.	Configuraciones adicionales de la tarjeta controladora de vuelo.....	62
Figura 34.	Configuraciones de canal de entrada para el control de acción de Payload	63
Figura 35.	Configuraciones de canal de entrada para el control de acción de Payload	64
Figura 36.	Diagrama visual de interconexión entre módulos electrónicos.....	65
Figura 37.	Diagrama visual, ubicación de módulos electrónicos en la estructura del drone.....	66
Figura 38.	Diseño 3D de tanque para sistema de fertilización.....	68
Figura 39.	Diseño de acoplamiento para distintos componentes	68
Figura 40.	Código de programación en Arduino para control de presión de Payload	71
Figura 41.	Ubicación de componentes electrónicos en Payload	72
Figura 42.	Payload instalada en el drone	73

TABLAS

Tabla 1.	Símbolos de número de celdas	23
Tabla 2.	Modelos de variadores de velocidad más comunes	27

Tabla 3.	Presupuesto de peso estimado del drone.....	34
Tabla 4.	Presupuesto de corriente estimado	43
Tabla 5.	Presupuesto de voltaje estimado	43
Tabla 6.	Presupuesto de potencia estimado.....	43
Tabla 7.	Tabla de datos del sistema de emisor radio frecuencia seleccionado.....	46
Tabla 8.	Tabla de datos del Sistema de Receptor Radio frecuencia Seleccionado	47
Tabla 9.	Características de bomba elegida	70
Tabla 10.	Características del sensor elegido.....	70
Tabla 11.	Costo de componentes electrónicos y mecánicos de drone	81
Tabla 12.	Costo de desarrollo de estructura	82
Tabla 13.	Costo de componentes electrónicos, mecánicos y estructurales de Payload.....	82
Tabla 14.	Costo de componentes electrónicos y mecánicos	84
Tabla 15.	Costo de componentes electrónicos y mecánicos	84

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ah	Amperios hora
S	Celdas de batería
Kv	Constante de velocidad por voltio aplicado
I	Corriente eléctrica o Intensidad eléctrica
LiPo	Polímero de litio
Q	Quetzales
RF	Radio frecuencia
A	Símbolo de amperaje
V	Símbolo de voltaje
W	<i>Watts</i> , símbolo de potencia

GLOSARIO

ArduPilot	Es un paquete de programas de autopiloto de código abierto para vehículos no tripulados, capaz de controlar de forma autónoma.
ESC	Variador de velocidad, o por sus siglas en inglés, <i>electronic speed controller</i> .
FET	Transistor de efecto campo, o por sus siglas en inglés <i>field effect transistor</i> .
GPS	Sistema de posicionamiento global o por sus siglas en inglés <i>global positioning system</i> .
Payload	Carga útil, es todo aquel equipo o dispositivo a transportar por un vehículo o robot, utilizado para desempeñar un trabajo o tarea específica.
PETG	Tereftalato de polietileno con glicol, es un material plástico utilizado para la impresión 3D.
UAV	Vehículo aéreo no tripulado o por sus siglas en inglés <i>unmanned aerial vehicle</i> .
VANT	Vehículo aéreo no tripulado.

RESUMEN

El denominado *Diseño de un dron de bajo costo para la fertilización de plantaciones de café a través de un sistema de aspersión y riego, utilizando la placa programable basada en el microcontrolador atmega2560 y atmega328p. en la finca Moralfa, departamento de Quetzaltenango, municipio de Coatepeque.*

En este diseño se plantea un dron de bajo costo para la fertilización con un sistema de aspersión y riego, que estará destinado a la plantación de Café, el dron como herramienta de apoyo para la fertilización, propone resolver la problemática del acceso a lugares escabrosos o complicados del terreno delimitado para la siembra, así como la reducción de tiempo en el recorrido de fertilización de las plantas, incrementando la eficiencia en los procesos y reduciendo posibles accidentes para la mano de obra humana.

Así mismo, se aplicarán los conceptos teóricos para el desarrollo de la comunicación entre el controlador de vuelo basado en un ATMEGA2560 y la placa de control del sistema de aspersión y riego basada en el microcontrolador ATMEGA328P, así como las distintas configuraciones de los módulos internos dentro de la placa de desarrollo para el control de vuelo basada en el microcontrolador ATMEGA2560.

En este trabajo de graduación se describen de forma detallada los fundamentos teóricos, planes de trabajo, recursos humanos y materiales con los que se trabajará el desarrollo, el tipo de placas programables y el firmware de configuración a utilizar, las características del prototipo de dron y de los dispositivos a utilizar en el sistema de fertilización a través de aspersión y riego.

OBJETIVOS

General

Diseñar un dron de bajo costo para la fertilización plantaciones de café a través de un sistema de aspersión y riego, utilizando la placa programable basada en el microcontrolador atmega2560 y atmega328p. en la finca Moralfa, departamento de Quetzaltenango, municipio de Coatepeque.

Específicos

1. Determinar los componentes electrónicos a utilizar en el diseño de un sistema de fertilización a través de aspersión y riego con drones de acuerdo con los requerimientos físicos de la finca Moralfa.
2. Diseño de chasis de un dron para el transporte del sistema de aspersión y riego de fertilizantes.
3. Diagrama de conexión de módulos electrónicos.
4. Generar diagramas para la comprensión correcta del diseño de dron propuesto.
5. Desarrollar los manuales de usuario y mantenimiento del prototipo.

INTRODUCCIÓN

El trabajo presentado aborda una solución ante la problemática actual que se tiene referente a la deforestación, en Guatemala los bosques están conformados por el 33 % del territorio nacional, un aproximado de 1,072,273 hectáreas, según estimaciones realizadas anualmente se pierden alrededor de 18,000 hectáreas de bosque consumidas por la tala indiscriminada e incendios forestales que se presentan en las temporadas de calor, o por descuidos humanos, dejando muchas tierras devastadas, y no solo afectando la flora del país si no como daño colateral la fauna, ya que los bosques son hábitats de distintas especies de animales, y algunas de ellas en peligro de extinción.

Una de las soluciones a esto, es la reforestación de los bosques afectados para la reconstrucción de los ecosistemas, pero esto presenta distintas problemáticas, unas de ellas es el tiempo para realizarla ya que al ser terrenos demasiado grandes, la reforestación podría tardar meses, sin contar la inversión económica demasiado grande que se debe hacer para adquirir herramientas, personal y vehículos para la movilización, esto abre espacio a de nuevas propuestas de tecnología y métodos de reforestación, como lo son la implementación de robots aéreos, mejor conocidos como drones, los cuales se les asigna la tarea de aspersión de semillas, permitiendo cubrir un terreno amplio en un menor tiempo, así como una movilización ágil a las áreas afectadas de difícil acceso, y de esta forma reducir los gastos de inversión, y a su vez promover el conocimiento y desarrollo de nuevas tecnologías en el país, otorgando trabajos mejor desarrollados y especializados.

1. ANTECEDENTES GENERALES FINCA MORALFA

1.1. Historia

La Finca Moralfa fue fundada en el año 1792 en el municipio de Quetzaltenango siendo una de las fincas del expresidente Manuel Lisandro Barillas, y en ese entonces se conocía como finca Barillas, con una extensión territorial aproximada de 3.5 caballerías, de las cuales una es utilizada para la siembra, con esto último perteneciente al grupo de Anacafé como la 3ra finca con mejor producción de café en la categoría Volcanic San Marcos en la región I en el año 2021-2022 en la competencia de Cafés en la región, demostrando que los procesos de siembra, cuidado y cultivo que se tienen dentro de la finca son de los mejores con el afán de mantener la mejor calidad en un producto final entregado a los consumidores.

1.2. Visión

Brindar productos de alta calidad y sostenibles al mercado nacional e internacional, con el fin de contribuir al desarrollo económico y social de la región y del país en su conjunto. Nos comprometemos a trabajar de manera responsable y ética, promoviendo la conservación del medio ambiente y el bienestar de nuestros trabajadores y comunidades aledañas.

1.3. Misión

Tenemos la visión de convertirnos en líderes en la producción de café y aguacate Hass sostenibles, reconocidos por la calidad y la excelencia de

nuestros productos a nivel nacional e internacional. Buscamos ser una empresa innovadora y comprometida con la preservación del medio ambiente y el desarrollo económico y social de nuestras comunidades aledañas. Además, aspiramos a ser una empresa rentable y sostenible a largo plazo, que genere empleo y contribuya al bienestar de nuestra región y del país.

1.4. Organigrama de labores

En la figura 1 se muestra el organigrama de la finca.

Figura 1.

Organigrama de la finca



Nota. Jerarquía de la empresa. Elaboración propia, realizado con Word.

1.5. A que se dedica

La Finca Moralfa se dedica a la producción de aguacate Hass y de distintas especies de café, como lo son el café Borbón, café Cachimorro, con un aproximado de 9 mil árboles de aguacate Hass y 70 cuerdas de café de las distintas especies mencionadas previamente.

1.5.1. Área geográfica

La finca Moralfa se localiza en el municipio de Colomba costa cuca, del departamento de Quetzaltenango, a una distancia de 250 Km de la ciudad de Guatemala, colinda Con las fincas Miramar, Finca San Juan, Finca Blanca Flor y finca Santa Audalía, con una altura promedio de elevación de 4500 metros sobre el nivel del mar.

Figura 2.

Vista aérea de finca Moralfa



Nota. Ubicación de la finca. Obtenido de Google Earth (s.f.). *Ubicación.* (<https://earth.google.com/web/search/14%c2%b048%2738.5%22N+91%c2%b044%2753.1%22W/@14.8111526,-91.74460814,1587.65099776a,783.31283656d,30y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCZ3dPCrFoDrAEaNvNcr-uTvAGQ8oAwKITGNAId4krqCDF2NA>), consultado el 22 marzo 2023. De dominio público.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Vehículo aéreo

La historia de los vehículos aéreos no tripulados, conocidos popularmente como drones, se remonta a la Primera Guerra Mundial, cuando los militares utilizaban globos y dirigibles con fines de reconocimiento. Sin embargo, el primer modelo de dron moderno fue creado en 1959 por la compañía Radioplane, fundada por el pionero en aviación (Kauf, 2018).

En la década de los 80, los avances en la tecnología permitieron la creación de drones más sofisticados, con sistemas de control de vuelo más precisos y capaces de realizar tareas más complejas. Hoy en día, los drones se utilizan en una amplia variedad de áreas, como la agricultura, la vigilancia, la fotografía y el cine, entre otras (Acerenza, 2019).

Sin embargo, el uso de drones también ha planteado importantes desafíos legales y éticos en cuanto a la privacidad y la seguridad. Es por ello que se han desarrollado normas y regulaciones para su uso, como la Ley de Aviación Civil de Estados Unidos y las regulaciones de la Agencia Federal de Aviación (FAA, por sus siglas en inglés) (Garrison, 2019).

Estos avances y desafíos son importantes de considerar en la comprensión del origen y evolución de los drones como vehículos aéreos.

2.2. Tipos de vehículos aéreos

La clasificación de los tipos de vehículos aéreos es un tema de gran relevancia en la actualidad. Según la revista especializada en tecnología, los vehículos aéreos no tripulados, también conocidos como drones, se pueden clasificar en diferentes categorías según su diseño y aplicación. Los drones de ala fija son similares a los aviones convencionales y se utilizan principalmente en tareas de reconocimiento y vigilancia, mientras que los drones de rotor único y múltiple son ideales para tareas que requieren maniobrabilidad y estabilidad en espacios reducidos.

Por otro lado, la empresa líder en tecnología de drones, Murison (2020), destaca que los drones híbridos combinan características de los drones de ala fija y los de rotor múltiple, lo que les permite tener un mayor alcance y una mayor capacidad de carga útil. Además, la empresa especializada en soluciones aéreas, las aeronaves tripuladas, como los aviones y los helicópteros, también tienen diferentes tipos según su tamaño, diseño y aplicación, lo que los hace adecuados para diferentes tareas y entornos.

En el libro *Introducción a los drones* de Vargas (2017) se hace una revisión de los diferentes tipos de drones que existen y sus aplicaciones en diferentes campos, desde la fotografía y la filmación hasta la vigilancia y la seguridad. Los autores destacan la importancia de conocer las regulaciones y normativas para el uso de drones, así como las mejores prácticas para su operación.

La evolución de la aviación y se hace una reflexión sobre las tendencias futuras en la industria. Los autores destacan la importancia de la innovación tecnológica en la creación de nuevos tipos de vehículos aéreos, como los aviones eléctricos o los taxis aéreos autónomos. Además, se menciona la necesidad de

una regulación adecuada y una mayor conciencia ambiental en el desarrollo de estos nuevos vehículos.

2.2.1. Tripulados

Los vehículos aéreos tripulados son aquellos que requieren la presencia de un piloto humano a bordo para su operación. Este tipo de vehículos han sido utilizados durante décadas en actividades militares y de seguridad, pero en los últimos años también se han desarrollado aplicaciones civiles. La amplia versatilidad de los vehículos aéreos tripulados los hace ideales para una amplia gama de tareas, desde el transporte de personas y carga hasta la exploración científica y la vigilancia ambiental (Alonso, Castejón, López y Castejón, 2019).

El uso de vehículos aéreos tripulados también presenta desafíos y riesgos, los pilotos humanos son vulnerables a factores como la fatiga, el estrés y las limitaciones fisiológicas, lo que puede afectar su capacidad para operar el vehículo de manera segura y eficiente. Además, los vehículos tripulados pueden ser costosos de operar y mantener, y su uso puede estar restringido por regulaciones de aviación (González, 2018).

2.2.2. No tripulados

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT), comúnmente conocidos como drones, se han convertido en una herramienta cada vez más utilizada en diversas aplicaciones, desde la industria militar hasta la agricultura y la fotografía aérea. Los drones han revolucionado el campo de la tecnología y la ingeniería, y su uso se ha expandido en áreas como la cartografía y el monitoreo ambiental. Los drones también se utilizan en la investigación científica, como en el estudio de la fauna y la flora, y en la inspección de infraestructuras.

2.2.2.1. Vuelo controlado remotamente

Un dron controlado remotamente es el que es dirigido mediante un radio control manipulado por el piloto. Es el método de control más habitual y utilizado.

2.2.2.2. Vuelo programado

El vuelo programado es una técnica utilizada en drones para automatizar misiones y realizar vuelos precisos y repetitivos. Este tipo de vuelo se programa mediante *software* especializado que permite al usuario definir rutas, altitudes, velocidades y otras variables de vuelo. El objetivo de esta técnica es reducir la carga de trabajo del operador del dron y mejorar la precisión y repetibilidad de las misiones, el vuelo programado es una técnica importante en el monitoreo de cultivos y en la vigilancia y seguridad en áreas remotas. Además, el uso de esta técnica puede mejorar la eficiencia de las misiones y reducir el riesgo de errores humanos (Razali, Zainal, Suaib & Zakaria, 2020).

2.3. Dron

Un dron es una aeronave que no requiere de un piloto a bordo para ser operado, y que puede ser controlado remotamente o programado para realizar misiones específicas de manera autónoma, han ganado popularidad en los últimos años debido a su versatilidad y amplio rango de aplicaciones (Valero, 2023).

Los drones tienen un impacto en el campo de energías renovables, geología, industria 4.0 y la agricultura 4.0, además, el hecho que la tecnología este entrando en estos campos trae múltiples beneficios, en caso de vigilancia de zonas boscosas y áreas de cultivo, al hacer las tareas repetitivas y disminuye

los tiempos de ejecución y respuesta al momento de tener una emergencia, así como la realización de tareas riesgosas para personal humano.

2.3.1. Tipos de drones

Los drones pueden clasificarse de distintas formas según sea la orientación de la investigación, se podrían clasificar por funcionalidad o diseño, al momento de diseñar el drone para un ambiente utilitario, no nos interesan los demás ambientes (recreativo, fotográfico o de competencia), haremos énfasis en clasificar los drones según su diseño y características estructurales (Aerial Insights, 2019).

Los drones pueden ser utilizados para mejorar la eficiencia y la precisión en la aplicación de fertilizantes y pesticidas. Los autores señalan que el uso de drones puede reducir el desperdicio de productos químicos y mejorar la calidad del suelo y el rendimiento de los cultivos. Además, la tecnología de detección remota de drones puede ser utilizada para identificar áreas específicas que requieren tratamiento, lo que ahorra tiempo y recursos (Zhang, 2021).

2.3.1.1. Ala fija

Este tipo de drones se caracteriza por tener una estructura similar a la de un avión, con alas fijas que le permiten planear y deslizarse en el aire sin necesidad de aletear. Estos drones son ideales para misiones de larga duración, ya que tienen una mayor eficiencia energética y una mayor autonomía que los drones de ala rotatoria, aunque su capacidad de carga es menor al tener una cantidad menor de rotores de empuje (motores) (Aerial Insights, 2019).

Las aplicaciones más comunes de los drones de ala fija, como la cartografía, la agricultura de precisión, la vigilancia y la inspección de infraestructuras. Además, se destaca la importancia de la seguridad al operar estos drones, ya que su tamaño y velocidad los hacen más peligrosos que los drones de ala rotatoria. (Aerial Insights, 2019)

2.3.1.2. Ala rotativa

Los drones de ala rotatoria tienen una estructura similar a la de un helicóptero, con una o varias hélices que giran para proporcionar sustentación y dirección. Estos drones son muy versátiles y se utilizan en diversas aplicaciones industriales, desde la fotografía aérea hasta la inspección de infraestructuras y la entrega de paquetes (Innovation, 2023).

Una de las principales ventajas de los drones de ala rotatoria es su capacidad de despegar y aterrizar en espacios reducidos, También tienen la capacidad de volar a bajas alturas y velocidades (Iberf drone, 2023).

Otra de sus ventajas se encuentra en la capacidad de mantenerse en el aire de manera estacionaria y la posibilidad de girar en cualquier dirección, ideal para tareas de difícil acceso esto les permite realizar trabajos de agricultura de precisión. Además, los drones multirrotores son más económicos que los drones de ala fija, y ofrecen una mayor flexibilidad y maniobrabilidad en el aire (Murison, 2020).

Por otro lado, los drones multirrotores también presentan algunas limitaciones, como su menor eficiencia energética y autonomía más limitada que los drones de ala fija. Además, los drones multirrotores son más sensibles a las

condiciones climáticas adversas y pueden ser más ruidosos que los drones de ala fija (Murison, 2020).

2.3.1.2.1. Cuadricoptero

Un cuadricóptero es un tipo de dron que utiliza cuatro rotores o hélices para generar la sustentación y el movimiento en el aire. Estos rotores se colocan en configuración de X en el chasis del dron, con dos rotores que giran en sentido horario y los otros dos en sentido antihorario (Frackiewicz, 2023).

Al ser un dron multirotor, cuenta con todas las ventajas mencionadas previamente en el subtítulo anterior, así como las desventajas del tiempo de vuelo.

Figura 3.

Chasis de dron Cuadricóptero



Nota. Chasis de dron cuadricóptero base de acrílico visto desde arriba. Elaboración propia.

2.3.1.2.2. Octacóptero

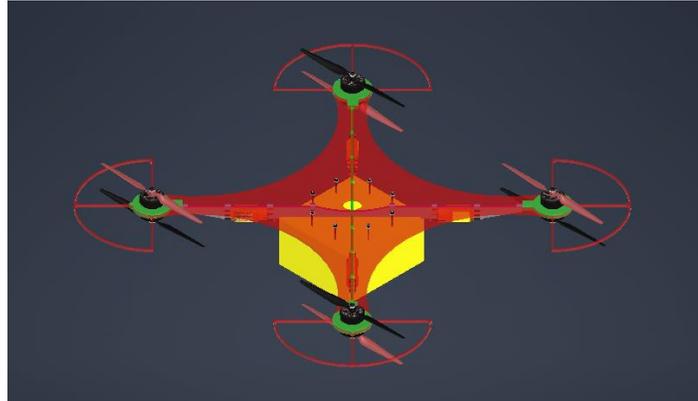
Los octacópteros son un tipo de dron que se caracteriza por utilizar ocho rotores para generar la sustentación y el movimiento en el aire, los octacópteros son ideales para aplicaciones en agricultura debido a que pueden transportar cargas útiles más pesadas que los cuadricópteros y realizar inspecciones y mapeo de grandes extensiones de terreno. Además, los octacópteros son capaces de mantener una posición estacionaria en el aire con mayor estabilidad que otros tipos de drones (Kogut, 2022).

Los octacópteros pueden ser utilizados en agricultura para mapear y monitorear cultivos, detectar enfermedades o plagas, y aplicar fertilizantes o pesticidas de manera más precisa y eficiente. El uso de octacópteros en agricultura puede reducir el tiempo y los costos de los procesos de mapeo y monitoreo, y mejorar la precisión y eficacia de la aplicación de productos químicos (CropLife, 2021).

En general los octacópteros son una herramienta de alto impacto en la agricultura por su capacidad de transportar cargas útiles de mayor peso y mantener su posición estacionaria y realizar movimientos con mayor estabilidad que otro tipo de drones multirrotores.

Figura 4.

Diseño de octacoptero



Nota. Diseño 3D de dron octacoptero elaborado en inventor. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

2.3.2. Elementos que componen a un dron

En los siguientes incisos se describen los elementos que componen un dron.

2.3.2.1. Controlador de vuelo

El controlador de vuelo es un módulo electrónico sumamente importante para el vuelo seguro y estable de los drones. Según Javier Arroyo en su libro *Drones: Guia básica para Principiantes*, el controlador de vuelo es responsable de tomar las decisiones de vuelo, controlar los motores y las hélices del dron, y mantener el vuelo del dron estable y seguro. Este dispositivo electrónico se compone de un microcontrolador, sensores, actuadores y firmware que se encargan de recopilar y procesar información sobre el vuelo del dron, como la velocidad, la altitud, la dirección y la posición (Arroyo, 2017)

El diseño y la calidad del controlador de vuelo pueden tener un gran impacto en la calidad y la experiencia del vuelo. Un controlador de vuelo bien diseñado y de alta calidad puede permitir un vuelo más preciso y estable, mientras que uno de baja calidad puede tener problemas de estabilidad y seguridad en el vuelo (Peñafiel, 2018).

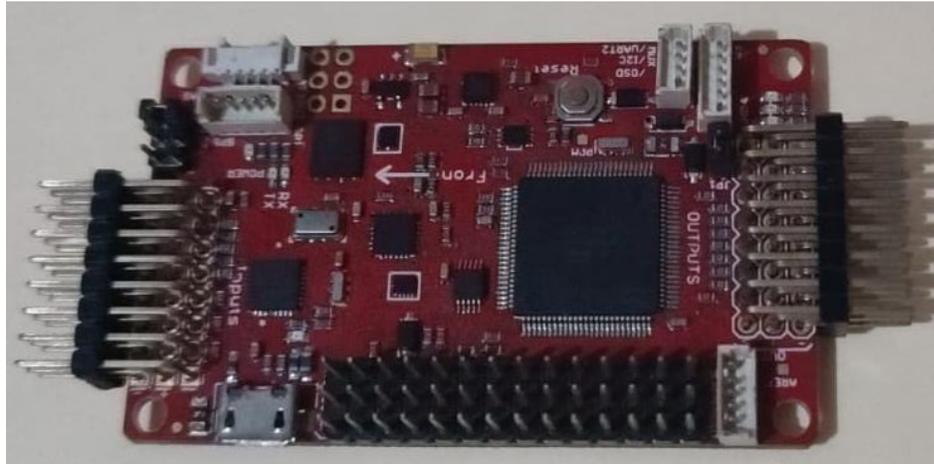
2.3.2.1.1. Placa programable basada en Atmega2560

Según el sitio *web* oficial de ArduPilot, el APM 2.5 es una de las placas de control de vuelo más populares y utilizadas en la industria de los drones, Desarrollada desde 2012 por la compañía 3D Robotics (ArduPilot Dev Team, 2019).

La placa incluye sensores (acelerómetro, un giroscopio, un magnetómetro) para medir la orientación, velocidad, aceleración y posición del vehículo, así como también puertos para conectar motores, servos, GPS y otros dispositivos. Utiliza un microcontrolador Atmel AVR de 8 bits, específicamente el modelo ATmega2560 para procesar los datos y ejecutar las instrucciones de vuelo (Torrente, 2013).

Figura 5.

Diseño de octacoptero



Nota. Fotografía frontal de placa controladora de vuelo basada en atmega2560 sin conexiones. Elaboración propia.

2.3.2.1.2. Firmware

El firmware es el *software* que se ejecuta en el microcontrolador y es el que se encarga de traducir la información de los sensores y tomar las decisiones necesarias para mantener el vuelo del dron estable y seguro. Un firmware bien diseñado y actualizado puede mejorar la estabilidad y seguridad del vuelo del dron (Crespo, 2019).

2.3.2.1.3. Mission Planner

Mission Planner es una herramienta de *software* de código abierto que permite la configuración, planificación y monitoreo de misiones en drones. Fue desarrollado por Michael Osborne para trabajar con diferentes plataformas de vuelo, incluyendo ArduPilot y PX4. Esta herramienta es compatible con sistemas

operativos Windows y tiene una interfaz fácil de usar para programar vuelos autónomos, establecer puntos de referencia, programar la cámara, configurar los parámetros de vuelo y mucho más, Mission Planner es una herramienta esencial para la configuración y monitoreo de drones, ya que permite una fácil configuración de los parámetros de vuelo y la planificación de misiones con una interfaz gráfica de usuario intuitiva (Jahanzaib, 2020).

Además, Mission Planner es compatible con diferentes tipos de drones, lo que lo hace ideal para su uso en entornos de investigación y desarrollo.

Figura 6.

Pantalla de lanzamiento de Aplicación MissionPlanner



Nota. Pantalla de lanzamiento de programa Mission Planner. Elaboración propia, realizado con captura de pantalla.

2.3.2.2. Motorización

Los motores Brushless, también conocidos como motores sin escobillas, son una opción popular para muchas aplicaciones, desde drones hasta vehículos eléctricos. Estos motores funcionan mediante la creación de un campo magnético a través de imanes permanentes y la rotación de un rotor interno sin necesidad de escobillas de carbono. Los motores Brushless tienen una mayor eficiencia y un menor desgaste que los motores de corriente continua convencionales (Sánchez-López, 2014).

Figura 7.

Motor Brushless de 960KV



Nota. Fotografía frontal de motor Brushless. Elaboración propia.

2.3.2.2.1. Constante de velocidad por voltio aplicado

Dentro de las especificaciones técnicas que se tienen en los motores sin escobillas, se encuentran el voltaje de operación, la corriente máxima según el tamaño de la hélice, y las revoluciones por minuto por cada voltio aplicado con el símbolo Kv, este dato no tiene nada que ver con la potencia del motor.

Kv es la constante de velocidad por voltio y no debe confundirse con kV (kilovoltio), este valor nos ayuda a tener una noción de que motor pertenece a qué aplicación, avión, dron, hélices grandes o pequeñas, entre otros. Podemos mencionar que entre menos Kv tenga especificado el motor se necesita más voltaje y menos amperaje para lograr más velocidad, o puede tener más torque que los motores con mayor Kv usando el mismo voltaje.

Como regla general los motores que tienen más Kv usan hélices más pequeñas ya que giran muy rápido y los motores con menos Kv pueden usar hélices más grandes ya que tienen el torque o par motor necesario para moverlas a revoluciones menores, dentro de las configuraciones comerciales solemos encontrar que los drones de uso deportivo o de pequeña envergadura tienen un Kv mayor, esto dado a que sus requerimientos no exigen un empuje por motor elevado y pueden cumplir las exigencias de maniobrabilidad con hélices de menor tamaño, a diferencia de los drones utilitarios, los cuales deben movilizar cargas mucho mayores, que pueden superar hasta el doble del peso de su estructura, por ende utilizan hélices de mayor tamaño, necesitando un motor con una constante de velocidad por debajo de los 1000 Kv.

2.3.2.3. Hélice

Las hélices son unos de los componentes más importantes del UAV, ya que de ellas dependerá la fuerza de empuje de cada uno de los sistemas propulsores, para un mismo motor seleccionado puede variar su eficiencia en función de la hélice que se asocie. Las hélices son caracterizadas por dos parámetros que indican su comportamiento de vuelo. La longitud de las hélices, o distancia entre las puntas. Un tamaño de hélice mayor genera un mayor empuje, por consiguiente podremos soportar más carga.

El paso de la hélice, indica la distancia teórica que la hélice avanzará a lo largo del eje de rotación en una revolución completa, es capacidad de la hélice para mover el aire y generar empuje, se tienen valores comerciales ya preseleccionado y por lo regular los códigos de modelos nos dan la información a considerar de la hélice, son 4 números, donde los 2 primeros de izquierda a derecha representan el diámetro total de la hélice, y los segundos 2 números nos dan el avance por revolución que nos pueden otorgar, si tenemos una hélice con un código de 1045, significa que tenemos un diámetro de 10 pulgadas, y 4.5 pulgadas de avance por rotación completa realizada (Martín, 2018).

Figura 8.

Distintos modelos de hélices



Nota. Fotografía vista desde arriba de hélices de diferentes tamaños y configuraciones. Elaboración propia.

2.3.2.4. Radio control

Consiste en un transmisor que permite al piloto manipular el dron de forma remota, para esto, el transmisor envía una señal de control a un receptor ubicado en el dron, el receptor decodifica la señal de radio frecuencia (RF) y la envía al FC, a través de cables, en forma de pulsos eléctricos. Esta comunicación es a través de canales de los cuales debemos contar con 4 canales básicos, los cuales son Throttle para controlar el empuje vertical, Aileron para el alabeo, Rudder para la guiñada y Elevator para el cabeceo. A estos cuatro canales básicos se les puede añadir todo tipo de señales analógicas y digitales, como pueden ser interruptores, ajuste de parámetros con ruedas variables, gatillo de apagado de emergencia (failsafe).

2.3.2.4.1. Emisor de radio frecuencia

Los transmisores de radiofrecuencia son componentes esenciales en los sistemas de control de drones, lo que permite a los pilotos controlar y navegar los drones de forma remota. Los transmisores de RF funcionan enviando señales a un receptor en el dron, que luego traduce esas señales en comandos específicos para que el dron los ejecute (Frackiewicz, 2023).

Si bien existen otros métodos de control de drones disponibles, como GPS y sistemas de vuelo autónomos, los transmisores de RF siguen siendo el método de control de drones más popular y ampliamente utilizado. Esto se debe a su versatilidad, facilidad de uso y asequibilidad.

Figura 9.

Control emisor de radio frecuencia



Nota. Fotografía de emisor de Radio Frecuencia, también conocido como control remoto. Obtenido de FlySky-cn. (s.f.). FS-CT6B. (<https://www.flysky-cn.com/ct6b-gaishu>), consultado el 22 marzo 2023. De dominio público.

2.3.2.4.2. Receptor de radio frecuencia

Los sistemas de RF se componen de dos componentes principales: el transmisor y el receptor. El transmisor es el encargado de enviar las señales, mientras que el receptor las capta y procesa. En el control de drones, se utilizan receptores de radiofrecuencia (RX) para recibir señales del transmisor (TX) en tierra, lo que permite al operador controlar los movimientos del dron.

Figura 10.

Receptor de radio frecuencia



Nota. Fotografía de emisor de Radio Frecuencia, también conocido como control remoto. Obtenido de FlySky-cn. (s.f.). FS-CT6B. (<https://www.flysky-cn.com/ct6b-gaishu>), consultado el 22 marzo 2023. De dominio público.

2.3.2.5. Batería

Las baterías más populares para drones son las baterías fabricadas con Polímero de Litio, conocidas como LiPo. Su alta densidad de energía, alta velocidad de descarga y peso ligero hacen de esta batería la ideal para funcionar con multicopteros (Liang, 2017).

Las baterías LiPo son construidas con celdas conectadas en serie identificadas con la letra S, cada celda tiene un voltaje nominal de 3.7 V y a mayor

número de celdas conectadas en serie se aumenta el voltaje, en la Tabla se muestra la configuración de celdas en una batería.

Tabla 1.

Símbolos de número de celdas

Símbolo	Número de celdas	Voltaje nominal(V)
1S	1	3.7
2S	2	7.4
3S	3	11.1
4S	4	14.8
5S	5	18.5
6S	6	22.2

Nota. Implementación de un multicópielo con capacidad de 1.3KG. Elaboración propia, realizado con Excel.

El voltaje afecta directamente a las revoluciones por minuto por voltio aplicado (KV) del motor, a mayor voltaje, el motor girará más rápido. Se debe tener en cuenta que los demás elementos del dron deberán trabajar en el voltaje que aporta la batería por celda (4.2 V). Descargar una celda de menos de 3 V puede causar daños irreversibles en la batería. Sobre cargar una batería a más de 4.4 V puede ser peligroso debido al material con la que están compuestas puede sobrecalentarse y explotar (Liang, 2017).

Es aconsejable dejar de descargar cuando la batería alcance los 3.5 V para mantener su vida útil. Por ejemplo, un dron con una batería 4S (14.8 V) se debe aterrizar cuando la batería esté en 14 V (3.5 V por celda), dentro de los trabajos que tiene el controlador de vuelo es mantener un monitoreo del voltaje de las baterías y emitir un aviso cuando estas se encuentran en voltaje crítico

para evitar daños en las baterías o caídas del dron en plena operación (Liang, 2017).

2.3.2.6. Sensor

Los sensores electrónicos son dispositivos que están diseñados para detectar y responder a estímulos físicos del entorno. Estos sensores se usan ampliamente en varios campos, incluidos la ingeniería, la medicina y el monitoreo ambiental, por nombrar algunos. Un sensor eléctrico es un dispositivo que transforma una cantidad física, como la temperatura, la presión o la luz, en una señal eléctrica que se puede medir y analizar (Rodríguez, 2023).

La función principal de los sensores electrónicos es capturar un estímulo del entorno y traducir esa información en una señal medible (Smith, 2020).

Hay varios tipos de sensores electrónicos, cada uno con sus propias características y aplicaciones únicas. Algunos de los tipos más comunes de sensores electrónicos incluyen sensores de temperatura, sensores de presión, sensores de flujo, sensores de nivel y sensores de proximidad (Rodríguez, 2023).

Los sensores de distancia, los sensores de frecuencia de luz, los sensores de humedad y los sensores de luz son otros tipos de sensores que se utilizan ampliamente en diversas aplicaciones (Mathas, 2014).

Estos sensores se pueden clasificar según su función, como la detección de temperatura, presión o proximidad, y se pueden clasificar según su diseño y tecnología (Argüello, 2022).

2.3.2.6.1. Sensor de presión

Los sensores de presión de aire son dispositivos electrónicos que detectan o monitorean la presión de un gas o líquido y convierten esa presión en una señal eléctrica que se puede medir y analizar (HBK). Estos sensores se utilizan en una variedad de aplicaciones, incluidos entornos automotrices, aeroespaciales, médicos e industriales, para medir y monitorear cambios de presión en tiempo real. La función de los sensores de presión de aire es medir con precisión los cambios de presión y proporcionar datos que se puedan usar con fines de control y monitoreo. En general, los sensores de presión funcionan como un transductor, generando una señal en función de la presión a la que están sometidos (Oñate, 2023).

2.3.2.7. Módulos

Dentro de los dispositivos electrónicos se encuentran los módulos, y estos son una serie de componentes electrónicos que cumplen con una función predefinida, a diferencia de los sensores los módulos nos entregan información ya procesada, como lo pueden ser datos de inclinación, presión, velocidad entre otros. O pueden actuar de manera independiente, pueden ser programados e incluso configurados para realizar distintas tareas dentro de sus alcances.

2.3.2.7.1. Magnetómetro

Un magnetómetro es un sensor que mide la fuerza y la dirección del campo magnético en su entorno. En el contexto de los drones, los magnetómetros se utilizan en los controladores de vuelo para ayudar en la orientación y el posicionamiento. los magnetómetros son una parte crucial del sistema de navegación de los drones, ya que permiten al controlador de vuelo detectar la

dirección y la intensidad del campo magnético terrestre para calcular la orientación y la ubicación del dron, y también son utilizados para la calibración de la brújula y para validar información sobre la orientación del dron (Huang, 2017).

2.3.2.7.2. Acelerómetro

Un acelerómetro es un dispositivo que mide la aceleración de un objeto en movimiento. Este sensor es comúnmente utilizado en drones y otros vehículos autónomos para medir la aceleración en las tres direcciones del espacio y determinar la orientación y velocidad del vehículo, los acelerómetros más comunes en drones son los de tipo MEMS (*micro electro mechanical systems*), los cuales utilizan un microchip para medir la aceleración. Estos sensores son pequeños, ligeros y de bajo costo, lo que los hace ideales para su uso en vehículos aéreos no tripulados (Dong, 2018).

2.3.2.7.3. Variador de velocidad

Un variador de velocidad de motor o ESC (*Electronic Speed Controller*) es un componente fundamental en el sistema de propulsión de un dron o cualquier vehículo aéreo no tripulado (UAV). Su función principal es controlar la velocidad del motor eléctrico del dron, lo que permite controlar su altitud y velocidad. Los ESC se componen de un microcontrolador, un circuito de potencia y un circuito de control. El circuito de potencia está encargado de recibir la señal del microcontrolador y proporcionar la potencia necesaria al motor para hacerlo funcionar. El circuito de control se encarga de monitorear la velocidad del motor y ajustar la señal del microcontrolador en consecuencia (Chen, 2019).

Un variador de velocidad (ESC) está compuesto por un circuito con varios componentes. El propósito del variador es variar la velocidad de un motor eléctrico junto con el sentido de giro. Independiente del tipo de motor eléctrico al que conectemos el variador, el ESC interpreta información de control. Antiguamente, cuando la tecnología estaba limitada, los variadores eran mecánicos y actuaban a través de servos. En las nuevas versiones, los ESC varían la ratio de cambio de una red de transistores de efecto de cambio (FET). La variación en los cambios de estos transistores es lo que causa el sonido característico de los motores eléctricos. Este grupo de transistores hace posible un control más suave y preciso de la velocidad de giro de los motores. Gracias a esto también se consigue una mejora en la eficiencia con respecto a los mencionados variadores mecánicos. La mayoría de los ESC incorporan un sistema BEC, el cual, hace posible regular un voltaje estable para hacer funcionar el receptor y los servos. Esto elimina la necesidad de llevar una batería extra dentro de nuestro dron para alimentar estos componentes (FPVMAX, 2016).

Tabla 2.

Modelos de variadores de velocidad más comunes

Modelo	Corriente máxima (A)
10 A	10
20 A	20
30 A	30
40 A	40
50 A	50

Nota. Variadores de velocidad. Elaboración propia, realizado con Excel.

Figura 11.

Modulo variador de velocidad



Nota. Fotografía de modulo variador de velocidad visto desde arriba. Elaboración propia.

2.3.2.7.4. GPS

El sistema de posicionamiento global (GPS) es una tecnología que utiliza satélites para determinar la ubicación geográfica precisa de un dispositivo en la tierra. Los receptores GPS son ampliamente utilizados en aplicaciones de drones para proporcionar información de ubicación y orientación, a medida que se integran más satélites al sistema, el error se reduce a centímetros. Los circuitos integrados hacen posible que esta tecnología sea asequible a la mayor parte del mercado, por lo tanto, es utilizado por varios dispositivos entre ellos los drones. (DRONEOMEGA, 2020).

Algunos de los modelos de GPS más populares para drones incluyen el módulo GPS GEO-8M fabricado por U-blox, que es ampliamente utilizado en

sistemas de control de vuelo de drones comerciales y de bricolaje. El GEO-8M ofrece una alta precisión de posición y velocidad, así como una rápida adquisición de satélites y un bajo consumo de energía (U-Blox, 2012).

2.3.2.8. Payload

Antes debemos aclarar que Payload es la referencia utilizada normalmente en el ámbito de drones, aeronaves y naves espaciales, pero su traducción al español es carga útil, en resumen, la carga útil es el peso que puede transportar un dron o un vehículo aéreo no tripulado (UAV). Por lo general, se cuenta fuera del peso del dron e incluye cualquier cosa adicional al dron, como cámaras, sensores o paquetes adicionales para la entrega (Jackson, 2021).

2.3.2.8.1. Consideraciones para Payload aéreo

Como ya sabemos, Payload es un dispositivo extra en el dron, con el objetivo de cumplir una tarea, este tendrá un consumo de energía, y también agregará peso, por lo cual debemos tener ciertas consideraciones al momento de elegir una carga útil, una de ellas es la relación potencia-peso, cuanto mayor sea la relación potencia-peso que tenga su dron, mayor será la carga útil que puede transportar (Jackson, 2021).

Debemos saber que entre más pesado sea el dron el tiempo de vuelo se verá afectado, ya que el consumo de potencia aumentará y la carga de la batería se verá consumida en un menor tiempo, Los drones más pesados tendrán cierto impacto en la potencia requerida para transportar grandes cargas útiles, y verás esta recompensa en las posibilidades de duración del vuelo. Siempre puede considerar actualizar la batería, pero una batería más grande significa una carga

útil más pesada, lo que restringe los dispositivos adicionales que se pueden agregar (Jackson, 2021).

2.3.2.8.2. Propuesta de Payload aéreo

Nuestra propuesta de Payload o carga útil, es un sistema de fertilización por riego y aspersión, el cual estará conformado por un tanque almacenamiento y una bomba de aire, de cual se tendrá control desde un microcontrolador de la familia Atmel, para ser exactos el Atmel 328P, desde el cual activaremos la bomba según sea requerido, y está subirá la presión de aire dentro del tanque y posteriormente comenzar el riego o aspersión de fertilizante desde la boquilla ubicada a un costado de este.

2.4. Fertilizante

Un fertilizante es una sustancia química o natural que se utiliza para enriquecer el suelo con nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Estos nutrientes pueden incluir nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, entre otros, los fertilizantes se aplican al suelo para mejorar su calidad y aumentar la producción de cultivos, Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) los fertilizantes son esenciales para mejorar la productividad de la tierra y aumentar la producción de cultivos (OMS, 2019).

2.4.1. Tipos de fertilizante

Los fertilizantes se pueden clasificar en dos categorías: orgánicos y sintéticos.

2.4.1.1. Fertilizante sintético

Entre los tipos de fertilizantes sintéticos, se encuentran los fertilizantes nitrogenados, fosfatados y potásicos. Los fertilizantes nitrogenados son los más utilizados en la agricultura debido a que el nitrógeno es un nutriente esencial para el crecimiento de las plantas. Los fertilizantes fosfatados son ricos en fósforo, que es importante para la fotosíntesis y el crecimiento de las raíces de las plantas (Khalid, 2020).

Finalmente, los fertilizantes potásicos contienen potasio, que ayuda a las plantas a resistir el estrés y aumentar la calidad de los cultivos.

2.4.1.2. Fertilizante orgánico

Los abonos orgánicos son sustancias elaboradas a partir de desechos de origen animal, vegetal o mixto que se añaden al suelo para mejorar sus propiedades físicas, biológicas y químicas. Estos pueden incluir residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha; cultivos de abono verde (principalmente leguminosas fijadoras de nitrógeno); residuos orgánicos del desarrollo agrícola (estiércol, purines); residuos orgánicos del procesamiento agrícola; sustancias); compost preparado con una mezcla de los compuestos anteriores (Borrero, 2020).

3. BASE DE DISEÑO

3.1. Diseño de dron de bajo costo

Diseñar un dron de bajo costo implica considerar varias opciones y hacer elecciones inteligentes en cuanto a los componentes y el diseño. Para comenzar, es necesario delimitar las tareas que desempeñará el dron y partiendo de estas podemos delimitar los requerimientos técnicos que el dron debe cumplir, como por ejemplo el tiempo de vuelo necesario para realizar la tarea asignada, el peso aproximado que deberá transportar de forma eficiente, posteriormente se calculan los distintos presupuestos como lo son: presupuesto de peso, presupuesto de potencia, presupuesto de comunicación y por último presupuesto económico.

3.1.1. Cálculos para el diseño del dron de bajo costo

Es importante elegir los componentes adecuados para el sistema de propulsión del dron, como los motores y los variadores de velocidad (ESC), así como la batería y el controlador de vuelo. Es posible encontrar opciones asequibles en el mercado que pueden funcionar bien para un dron de bajo costo.

Otro aspecto importante es el diseño del chasis del dron, que debe ser lo suficientemente resistente para soportar el peso y la vibración de los componentes, pero también lo suficientemente ligero para permitir un vuelo estable y eficiente. Se pueden considerar materiales como la fibra de carbono o el plástico reforzado con fibra de vidrio, o compensar con diseños estructurales para lograr un equilibrio adecuado entre resistencia y peso.

Además, es importante tener en cuenta la seguridad y la regulación, así como la necesidad de obtener permisos de vuelo y mantener el dron dentro del alcance visual del operador.

En general, diseñar un dron de bajo costo requiere hacer elecciones cuidadosas en cuanto a los componentes y el diseño, y considerar tanto el presupuesto como los requisitos específicos del proyecto.

3.1.1.1. Cálculo de presupuesto de peso

El presupuesto del peso es calculado con las especificaciones de peso estimado obtenidas de los fabricantes de los distintos componentes, así como un estimado del peso de la estructura y la carga útil.

Tabla 3.

Presupuesto de peso estimado del dron

Componente	Cantidad	Peso Unitario Estimado(g)	Peso Total (g)
Chasis	1	500	400
Batería	2	450	900
Tarjetas electrónicas	1	100	100
Motorización	8	60	480
Variador de velocidad	8	40	320
Cableado y conectores	1	200	200
Payload	1	3000	3000
		Total	5000

Nota. El peso es de importancia para el diseño del dron. Elaboración propia, realizado con Excel.

Para tener una operación dentro de rangos aceptables se recomienda siempre tener un empuje total por los motores igual al doble del peso, esto nos asegurará que estaremos trabajando siempre al 50 % de la capacidad de operación de los motores, evitando sobreesfuerzos en los mismos, al tener un Payload o carga útil que supera el doble del peso de la estructura, por ende, procedemos a calcular la fuerza de empuje que se deberá tener en cada motor.

Si sabemos que el peso total del drone será de 5000 g, procedemos a multiplicar esto por 2, ya que de esta forma tendremos que el peso total de la aeronave no tripulada será del 50 % del empuje máximo que nuestros motores pueden ofrecer.

Ecuación de empuje requerido:

- E_n = empuje requerido
- M_{total} = masa total del drone(g).

$$E_n = M_{total} * 2 \quad (\text{Ec. 1})$$

Sustituyendo los datos en la ecuación:

$$E_n = 5000g * 2$$

Se tiene:

$$E_n = 10000g$$

Por ende, sabemos que el empuje requerido es de 10,000 g o igual a 10 Kg.

3.1.2. Selección de componentes

En los siguientes incisos se describe la selección de los componentes a utilizar.

3.1.2.1. Selección de sistema de motores, hélice y variador de velocidad

Con la información obtenida del presupuesto de peso de nuestra aeronave procedemos a calcular el empuje requerido por cada uno de los motores, sabiendo que el sistema de motorización de la aeronave será de 8 motores en total.

- E_m = empuje requerido por motor
- n_m = número de motores

Se sabe que la ecuación para calcular el empuje requerido por motor es la siguiente.

$$E_m = \frac{E_m}{n_m} \quad (\text{Ec. 2})$$

Se sustituyen los datos en la ecuación.

$$E_m = \frac{10000 \text{ g}}{8}$$

$$E_m = 1250 \text{ g}$$

Se obtiene que el empuje requerido por motor es de 1250 g, de esta manera aseguraremos que el peso total del drone será equivalente al 50 % de la operación de nuestro motor, permitiéndonos una manipulación segura y alejada de rangos de operación crítica.

Para la selección del motor se tomará en cuenta lo mencionado en el apartado de motorización, los drones utilitarios comerciales vienen preconfigurados con motores por debajo de los 1000 Kv, esto es por la necesidad un par motor mayor, para realizar el desplazamiento de la hélice y poder generar el empuje necesario, por lo general las marcas reconocidas en la industria suelen realizar pruebas de funcionamiento a sus motores y generar tablas de comportamiento preciso para ayudar a una selección adecuada de motores y componentes.

Por lo que procedemos a buscar distintos motores con la característica de velocidad por voltio aplicado (Kv) menor a 1000 Kv, seleccionando un motor comercial de 750 Kv, para proceder a revisar las distintas hojas de datos y encontraremos los distintos datos de empuje que el motor puede dar en cada una de sus configuraciones.

Figura 12.

Hoja de datos de motor Brushless

Cobra CM-4006/24 750Kv Motor Propeller Data										
Magnets 22-Pole	Motor Wind 24-Turn Wye	Motor Kv 750 RPM/Volt	No-Load Current I ₀ = 0.97 Amps @ 12v	Motor Resistance R _m = 0.062 Ohms	I Max 24 Amps	P Max (4S) 355 W				
Stator 24-Slot	Outside Diameter 45.5 mm, 1.791 in.	Body Length 22.0 mm, 0.866 in.	Total Shaft Length 29.2 mm, 1.150 in.	Shaft Diameter 4.00 mm, 0.157 in.	Motor Weight 40 gm, 1.41 oz					
Test Data From Sample Motor		Input I ₀ Value	10.0 V 0.89 A	12.0 V 0.97 A	14.0V 1.04 A	16.0V 1.14 A	Measured Kv value 772 RPM/volt @ 12V	Measured Rm Value 0.062 Ohms		
Prop Manf.	Prop Size	Li-Po Cells	Input Voltage	Motor Amps	Input Watts	Prop RPM	Pitch Speed in MPH	Thrust Grams	Thrust Ounces	Thrust Eff. Grams/W
APC	10x4.5-MR	3	11.1	10.61	117.8	7,462	38.9	806	28.43	6.84
APC	12x4.5-MR	3	11.1	13.44	149.2	7,197	37.5	1014	35.77	6.80
APC	12x4.5-MR	3	11.1	17.03	189.0	6,842	35.6	1241	43.77	6.56
APC	13x5.5-MR	3	11.1	22.12	245.5	6,352	33.1	1470	51.85	5.99
APC	14x5.5-MR	3	11.1	26.50	294.2	5,935	30.9	1653	58.31	5.62
GemFan	11x4-MR-W	3	11.1	11.87	131.8	7,326	27.8	925	32.63	7.02
GemFan	12x4-MR-W	3	11.1	15.63	173.5	6,956	26.3	1158	40.85	6.67
GemFan	13x4.5-MR-W	3	11.1	19.54	216.9	6,619	28.2	1368	48.25	6.31
GemFan	14x4.5-MR-W	3	11.1	22.78	252.9	6,313	26.9	1544	54.46	6.11
GemFan	15x4.5-MR-W	3	11.1	24.58	272.8	6,123	26.1	1607	56.68	5.89
RC-Timer	10x5.5-CF	3	11.1	9.10	101.0	7,590	39.5	690	24.34	6.83
RC-Timer	11x5.5-CF	3	11.1	13.62	151.2	7,174	37.4	951	33.54	6.29
RC-Timer	12x5.5-CF	3	11.1	20.27	225.0	6,533	34.0	1255	44.27	5.58
RC-Timer	13x5.5-CF	3	11.1	26.03	288.9	5,966	31.1	1441	50.83	4.99
Prop Manf.	Prop Size	Li-Po Cells	Input Voltage	Motor Amps	Input Watts	Prop RPM	Pitch Speed in MPH	Thrust Grams	Thrust Ounces	Thrust Eff. Grams/W
APC	8x4.5-MR	4	14.8	8.86	131.1	10,158	43.3	718	25.33	5.48
APC	9x4.5-MR	4	14.8	12.58	186.2	9,764	41.6	1012	35.70	5.44
APC	10x4.5-MR	4	14.8	16.82	248.9	9,325	39.7	1327	46.81	5.33
APC	11x4.5-MR	4	14.8	21.24	314.4	8,900	37.9	1623	57.25	5.16
APC	12x4.5-MR	4	14.8	26.85	397.4	8,288	35.3	1892	66.74	4.76
GemFan	10x4-MR-W	4	14.8	15.72	232.7	9,438	35.8	1280	45.15	5.50
GemFan	11x4-MR-W	4	14.8	18.09	267.7	9,196	34.8	1471	51.89	5.49
GemFan	12x4-MR-W	4	14.8	23.99	355.1	8,611	32.6	1800	63.49	5.07
RC-Timer	10x5.5-CF	4	14.8	14.37	212.7	9,582	49.9	1156	40.78	5.44
RC-Timer	11x5.5-CF	4	14.8	21.53	318.6	8,859	46.1	1502	52.98	4.71

Propeller Chart Color Code Explanation

- The prop is too small to get good performance from the motor. (Less than 50% power)
- The prop is sized right to get good power from the motor. (50 to 80% power)
- The prop can be used, but full throttle should be kept to short bursts. (80 to 100% power)
- The prop is too big for the motor and should not be used. (Over 100% power)

Nota. Motor de 750 Kv. Adaptado de Innov8tives Designs. (s.f.). *Cobra CM-4006/24 750Kv Motor Propeller Data.* (https://innov8tivedesigns.com/images/specs/Cobra_CM-4006-24_Specs.htm), consultado el 19 de agosto de 2022. De dominio público.

Se observa que la hoja de datos del motor contiene distintas configuraciones y nos indica el comportamiento que el motor tuvo durante las pruebas, donde el color azul indica que la hélice es demasiado pequeña para que el dron pueda funcionar de manera óptima, en color verde donde el dron trabaja de forma adecuada dentro del rango de 50 % a 80 % de su capacidad, en color amarillo se tienen los datos que la configuración indicada se puede usar, pero se debe operar el dron en un rango de 80 % a 100 %, y en rojo donde el dron estará trabajando en sobre esfuerzo ya que deberá entregar más del 100 % de su capacidad.

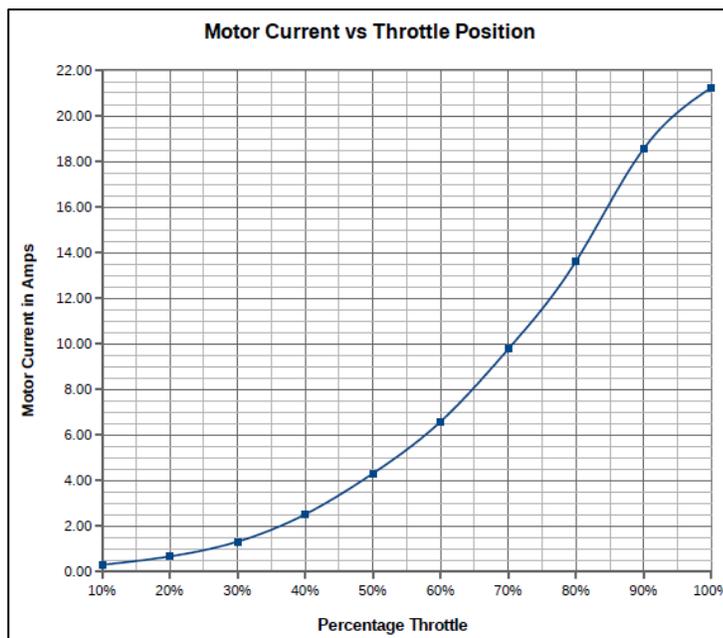
Sabiendo que el empuje necesario por motor es de 1250 g, procedemos a buscar el valor o un valor por encima de este en la figura anterior, en la columna denominada *Thrust Grams* (gramos de empuje), podemos observar que el valor más cercano por encima del requerido es el de 1327 g y se encuentra en color verde, si seguimos la misma línea nos dará los distintos datos de la configuración utilizada para obtener este empuje, donde la columna número 1 de izquierda a derecha denominada *Prop Mamf* hace referencia la marca de hélice utilizada, en la segunda columna *Prop Size* es el tamaño de la hélice, en este caso es de 10 pulgadas de diámetro, con 4.5 pulgadas de paso por rotación, seguido a esta tenemos la columna *Li-po Cells* que es la configuración de baterías con la que se realizaron las pruebas, una batería de 4 celdas de polímero de litio, en la columna *4 input Voltaje*, es el voltaje de entrada seguido de la corriente de operación durante la prueba en la columna *Motor Amps*.

Otro dato importante es el de la corriente máxima, esto nos servirá para determinar el variador de velocidad a utilizar para nuestro dron, este dato lo encontramos en la parte superior de la hoja de datos, en el apartado de *I max*, nos indica que la corriente máxima con la que puede operar de manera segura el motor es de 24 amperios, recordando el apartado de variadores de velocidad,

sabemos que los variadores de velocidad comerciales se encuentran en valores de 10 A, 20 A, 30 A, entre otros, donde esto indican la corriente máxima a la que pueden operar, en consecuencia de esto, nosotros elegiremos un variador de 30 A (30 amperios) ya que es el valor más cercano que se encuentra por arriba del valor de corriente máxima de operación del motor.

Figura 13.

Gráfica de comportamiento de corriente vs aceleración



Nota. Especificaciones. Obtenido de Innov8tives Designs. (s.f.). *Cobra CM-4006/24 Motor Test Data*, $K_v=750$. (<https://innov8tivedesigns.com/images/specs/CM-4006-24-GEM-14x45-MRW-Perf-3S.pdf>), consultado el 19 de agosto de 2022. De dominio público.

Procedemos a validar la información de la configuración y vemos que el comportamiento del motor nos estará otorgando un trabajo dentro del rango de 50 % a 90 % con el peso real del dron, lo que en otras palabras significa que al momento que el dron se encuentre en posición estacionaria en el aire los

motores solo estarán a un 50 % de su capacidad, permitiéndonos realizar maniobras de forma ágil y sin arriesgar los componentes eléctricos del drone, por consecuente la configuración seleccionada del drone será la de un motor de 750 Kv con variador de velocidad de 30 A, una hélice de 10 pulgadas de diámetro con un paso de 4.5 pulgadas, y una batería de 4 S (4 celdas).

3.1.2.2. Selección de placa controladora de vuelo

Ya teniendo la configuración de todo el mecanismo de vuelo (motores, variadores de velocidad, batería y hélice), procederemos a seleccionar el controlador de vuelo, en el mercado existen distintos controladores de vuelo, e incluso se pueden diseñar desde cero, pero no es recomendable ya que el desarrollo de un controlador de vuelo puede elevar el costo de la inversión y no ofrecer la misma calidad en diseño y acabados comparados con una placa ya desarrollada.

Dentro de los parámetros a considerar para la selección del controlador de vuelo se encuentran la cantidad de o módulos que se conectarán a este, la compatibilidad entre los módulos y el controlador de vuelo, la versatilidad del controlador de vuelo y su complejidad de implementación, nosotros tenemos la propuesta del controlador de vuelo APM 2.5 (arduplito), que está basado en el microcontrolador Atmega2560, el cual es de programación libre y al estar basado en el mismo controlador que el Arduino Mega, este ya tiene una interfaz intuitiva de configuración desarrollada por distintas comunidades y es de uso libre, no se necesita pagar por una licencia o realizar un contrato para que sea utilizado, otra de las ventajas de este controlador de vuelo es que ya cuenta con distintos módulos integrados en la placa física, lo que reduce riesgos de sufrir averías o desperfectos eléctricos al momento de estar operando el drone, esto por su

diseño sobre PCB evitando tener que utilizar cables externos y conexiones de pines adicionales.

3.1.2.3. Selección de GPS

Dentro de todas las gamas, familias y modelos de GPS, uno de los más utilizados es el modelo NEO UBLOX M8N, al ser un desarrollo comercial libre, cuenta con las mejores prestaciones ya que este no solo nos sirve como un GPS de ubicación si no también como Brújula ya que trae incorporado un módulo que nos ayuda a saber en qué dirección está avanzando el drone y esto se puede utilizar como un dato de validación agregando aún más precisión al momento de programar vuelos autónomos con el drone, agregando dentro de sus características primordiales el bajo costo en el mercado, lo hacen un módulo ideal para el desarrollo de nuestro proyecto.

3.1.2.4. Selección de batería

Las baterías son la parte fundamental para la operación del drone ya que son las que otorgan la energía para todos los sistemas, adicional a esto dependemos de la carga total que estas tengan para validar los tiempos de vuelo del drone, es importante una selección adecuada de esta ya que, al no hacerlo, podríamos tener un proyecto que no funcione o al momento de estar en el aire tener accidentes que terminen en una pérdida total del drone.

Para iniciar con la selección de la batería debemos saber el consumo de potencia total que se tendrá en el drone, debemos considerar todos los dispositivos que se conectarán a las baterías.

Tabla 4.*Presupuesto de corriente estimado*

Componente	Cantidad	Potencia unitaria (A)	Potencia total (A)
Controlador	1	1.5	1.5
Payload	1	2	2
GPS	1	1	1
Motorización (Max)	8	16.4	131.2
Motorización(promedio)	8	11	88

Nota. Presupuesto. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 5.*Presupuesto de voltaje estimado*

Componente	Cantidad	Potencia unitaria (V)	Potencia total (V)
Controlador	1	5	5
Payload	1	12	12
GPS	1	5	5
Motorización (por motor)	1	14.8	14.2

Nota. Presupuesto. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 6.*Presupuesto de potencia estimado*

Componente	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)
Controlador	1	7.5	7.5
Payload	1	24	24
GPS	1	5	5

Continuación de la Tabla 6.

Componente	Cantidad	Potencia unitaria (W)	Potencia total (W)
Motorización	8	355.2	2,841.6
		Total	2,878.1

Nota. Presupuesto. Elaboración propia, realizado con Excel.

Obtenemos un consumo total de 2,878.1 Watts, considerando este dato como un caso extremo ya que todos los módulos deberían estar trabajando al mismo tiempo y con toda la potencia, esto es para asegurar el trabajo ante cualquier posible escenario.

Con los datos obtenidos en las tablas anteriores obtenemos una corriente de descarga total a máxima operación de 196.5 amperios, y una descarga promedio estimada de 92.5 amperios, con lo que procedemos a calcular la capacidad de carga que necesitaremos para mantener un vuelo operativo de 20 minutos.

La forma para calcular los amperios hora de la batería para lograr el tiempo de vuelo operativo es:

- I_h = corriente en amperios demandada por hora
- T_o = tiempo de operación requerido
- I_h = corriente de descarga en amperios hora de la batería

$$I_h = \frac{I_h * t_o}{60 \text{ min/hora}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Sustituimos los datos en la ecuación.

$$I_h = \frac{92.5 * 20 \text{ minutos}}{60 \text{ min/hora}}$$

Y obtenemos el dato de amperios hora

$$I_h = 30.83 \text{ Ah}$$

El dato de corriente de descarga de la batería es de 30.83 Ah, procedemos a buscar una batería comercial que cumpla estas especificaciones en conjunto con las de la configuración requerida del motor (batería de 4S), por cuestiones económicas y de practicidad se sugiere separar la carga en dos baterías, ya que solo se encuentran baterías comerciales de 16 Ah, y se seleccionan 2 de estas baterías, obteniendo un total de 32 Ah lo cual nos puede otorgar un tiempo adicional de operación.

Figura 14.

Batería seleccionada para la propuesta de drone



Nota. Batería de 16000mAh. Obtenido de HobbyKings.com. (s.f.). *Turnigy High Capacity 16000mAh 4S 12C Lipo Pack w/XT90*. (<https://hobbyking.com/es-es/turnigy-high-capacity-16000mah-4s-12c-multi-rotor-lipo-pack-w-xt90.html?store=es-es>), consultado el 16 de diciembre 2022. De dominio público.

3.1.2.5. Selección de radio control

Dentro de los requerimientos del área de trabajo tenemos una muy importante y es la delimitación física del terreno de cultivo, debemos considerar la distancia máxima que se tendrá de operación al momento de utilizar el drone en vuelo controlado, ya que si este pierde comunicación con el transmisor podría entrar en un bucle con la última orden recibida y podríamos ocasionar un accidente o perder el drone.

Al momento de delimitar los espacios de trabajo podemos observar que la distancia máxima que se tiene para cubrir es de 565 mts horizontales, pero debemos considerar que nuestro drone estará variando la altura de vuelo, y esta distancia vertical podría modificar la distancia real de transmisión, por lo que agregar una Holgura a la distancia final para la selección de nuestro control es una recomendación adicional.

Tabla 7.

Tabla de datos del sistema de emisor radio frecuencia seleccionado

Descripción	Especificación
Modelo	FS-CT6B
Frecuencia de transmisión	2.4 GHz
Potencia de transmisión	<20dBm
Distancia de transmisión	500 ~ 1000m (en aire)
Resolución por canal	1024
Baterías	1.5AA x 8
Cantidad de canales	6 CH

Nota. Datos de emisor de radio frecuencia seleccionado, obtenidos de hoja de datos Fly Sky CT6B. Elaboración propia, realizado con Excel.

Tabla 8.

Tabla de datos del sistema de receptor radio frecuencia seleccionado

Descripción	Especificación
Modelo	FS-R6B
Frecuencia de transmisión	2.4 GHz
Potencia de transmisión	<20dBm
Distancia de transmisión	500 ~ 1000m (en aire)
Puerto de datos	PWM
Baterías	4.0 – 6.5 V
Cantidad de canales PWM	6 CH

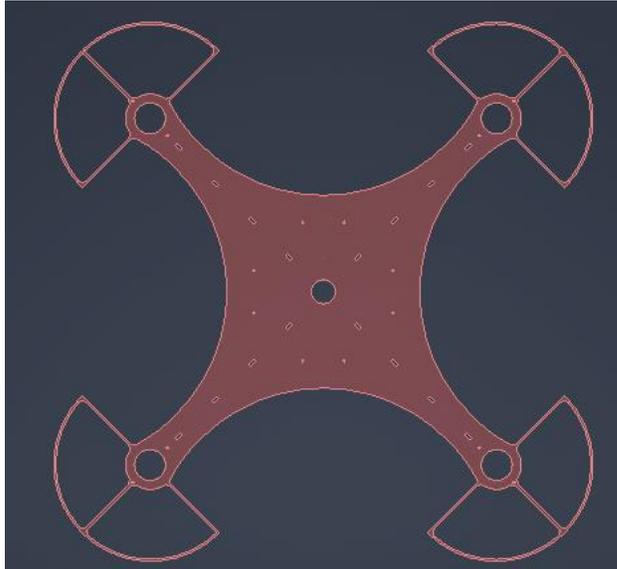
Nota. datos de receptor de radio frecuencia seleccionado, obtenidos de hoja de datos Fly Sky R6B. Elaboración propia, realizado con Excel.

3.2. Diseño chasis y ensamblaje de estructura de drone multirrotor

El diseño de drone es una compilación de recomendaciones de distintos desarrollos citados anteriormente, dentro de los cuales se buscaban materiales resistentes y de bajo peso, se está proponiendo una mezcla de diseño estructural partiendo de piezas de corte en 2D y al momento de ser ensamblados se busca obtener un refuerzo adicional sin aumentar el peso total del chasis y solo complementando el diseño con piezas de impresión 3D necesarias, estas realizadas en PETG para mantener el bajo peso en las piezas, además la consideración de materiales tiene como segunda prioridad el precio, esto para lograr un diseño de bajo costo y replicable de manera práctica, como beneficio los cambios de piezas en mantenimientos son mucho más simples ya que son fabricadas de forma local.

Figura 15.

Placa base estructural de chasis



Nota. Vista de planta. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Se utiliza una pieza de acrílico de 5 mm de espesor con un diseño para encajar el resto de las piezas y módulos del dron, podemos observar en la imagen distintos patrones, donde el patrón de cuadros sobre cada brazo del Dron es para ubicar las piezas de refuerzo estructural.

Figura 16.

Soporte estructural superior



Nota. Vista de perfil. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Dentro de las piezas estructurales contamos con una inferior y superior, las cuales están elaboradas de igual manera con acrílico de 5mm de espesor y cumplen con la función de evitar la flexión de la placa principal del drone al momento de realizar cualquier movimiento.

Figura 17.

Soporte estructural inferior

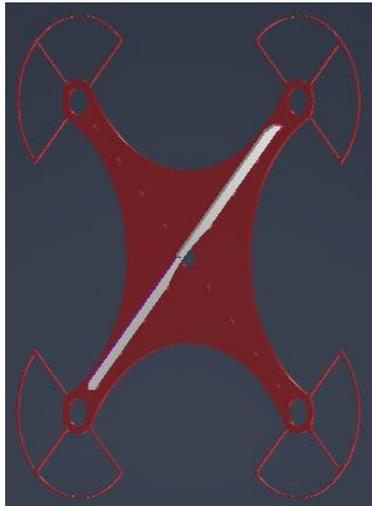


Nota. Vista de perfil. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

La pieza de soporte estructural inferior tiene la misma forma de la pieza superior a diferencia que esta cuenta con la muesca del centro en la parte superior, esto con el objetivo de encajar con la pieza estructural superior y trabajar de manera modular.

Figura 18.

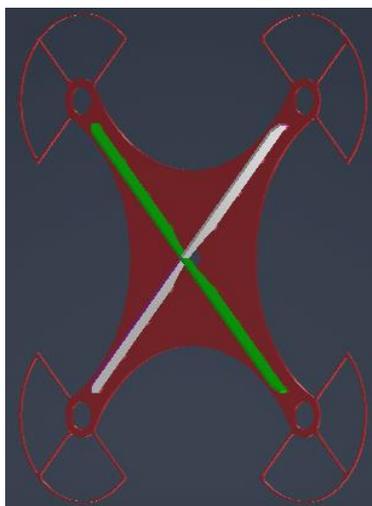
Ubicación de soporte estructural inferior



Nota. Vista de planta. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Figura 19.

Ubicación de soporte estructural superior



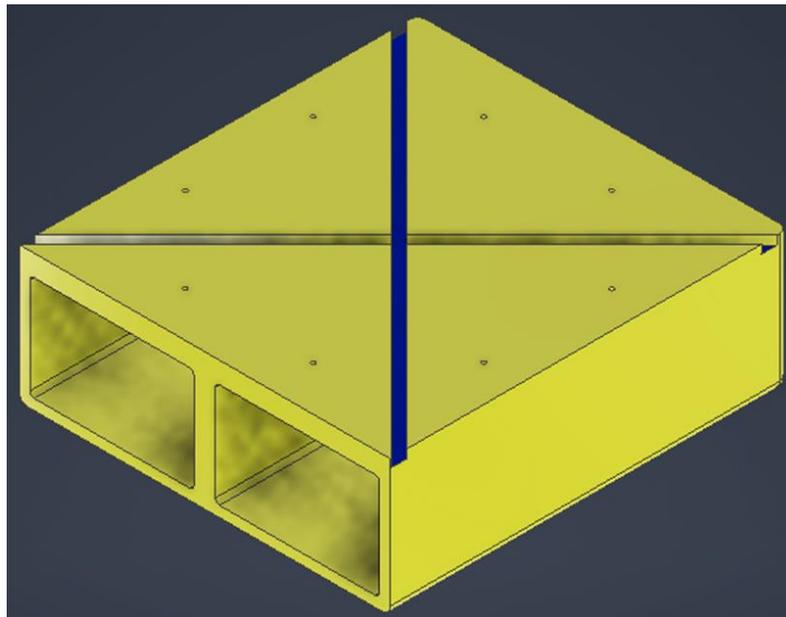
Nota. Vista de planta. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Se observa de qué manera se realiza el ensamblaje de las piezas estructurales en la placa base y de qué manera logramos solucionar el tema de flexibilidad del acrílico, otorgando una estructura rígida y liviana a la vez, con el soporte de las dos piezas sobre la placa base.

Posterior a la selección de las baterías para el diseño de drone, observamos que esta no tiene un paquete o sujetador para ubicarlo dentro de los drones, entonces parte del diseño estructural contempla el diseño de un porta baterías para lograr sujetar y ubicar las baterías dentro al chasis del drone y reducir vibraciones dentro de la estructura si la sujeción se realizará de manera provisional con cintas o cinchos plásticos, el diseño propuesto es con impresión 3D y en material PETG.

Figura 20.

Diseño de porta baterías

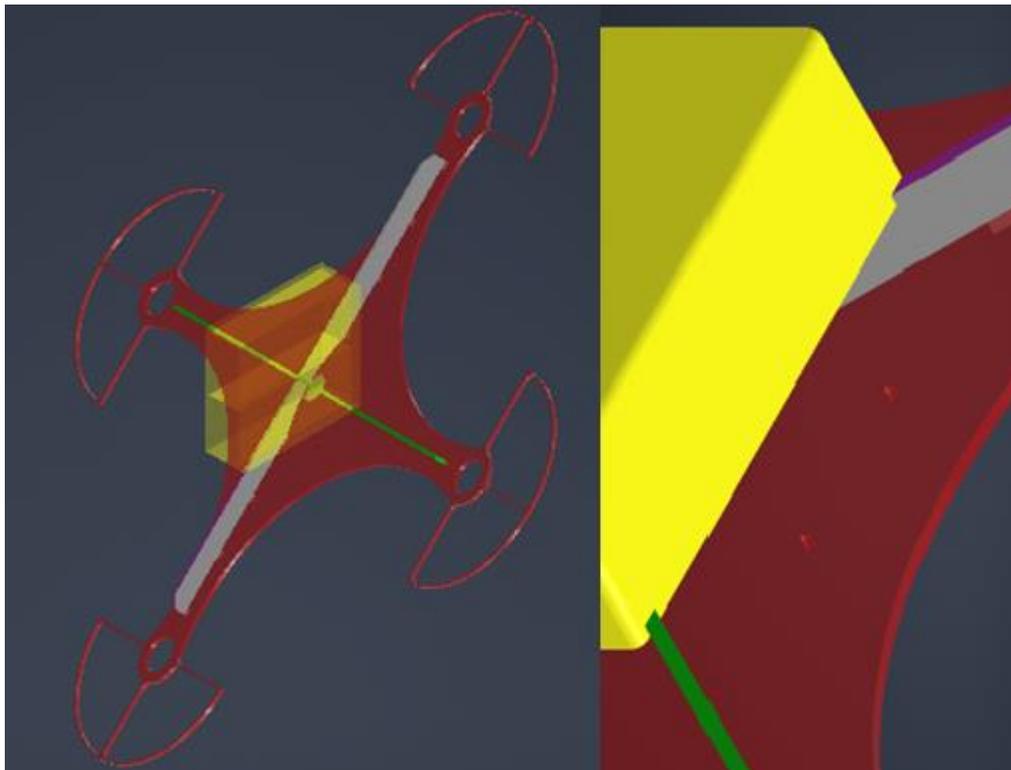


Nota. Perspectiva de porta baterías. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

El diseño de la porta baterías cumple con doble función, como la mayoría de las piezas, con el propósito de reducir peso y hacer que el diseño sea altamente eficiente, cuenta con dos surcos cruzados de 5 mm cada uno, con el objetivo de ensamblarse y ajustar las piezas de soporte estructural a la placa, esto con 8 tornillos 3x33.

Figura 21.

Instalación de porta baterías

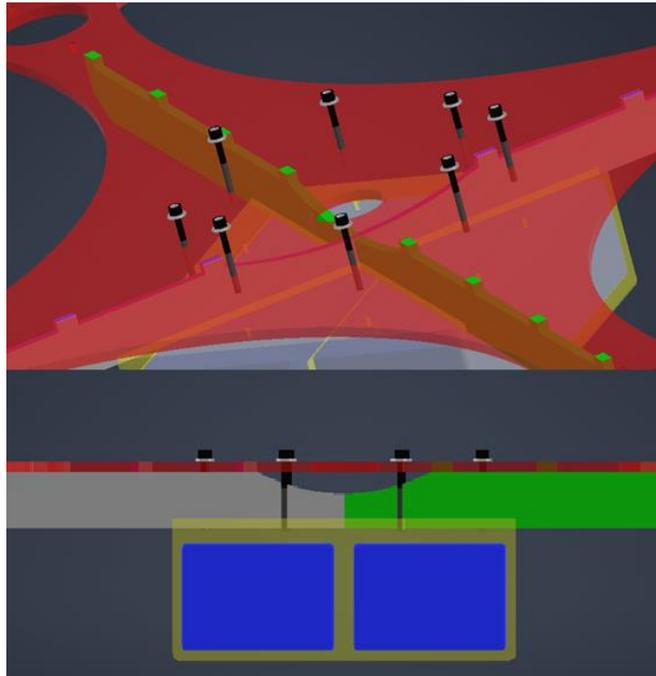


Nota. Perspectiva de instalación. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Posterior a la ubicación de la porta baterías, se ubican los tornillos de sujeción y se logra el doble propósito de la pieza, como se muestra en la figura.

Figura 22.

Sujeción de porta baterías

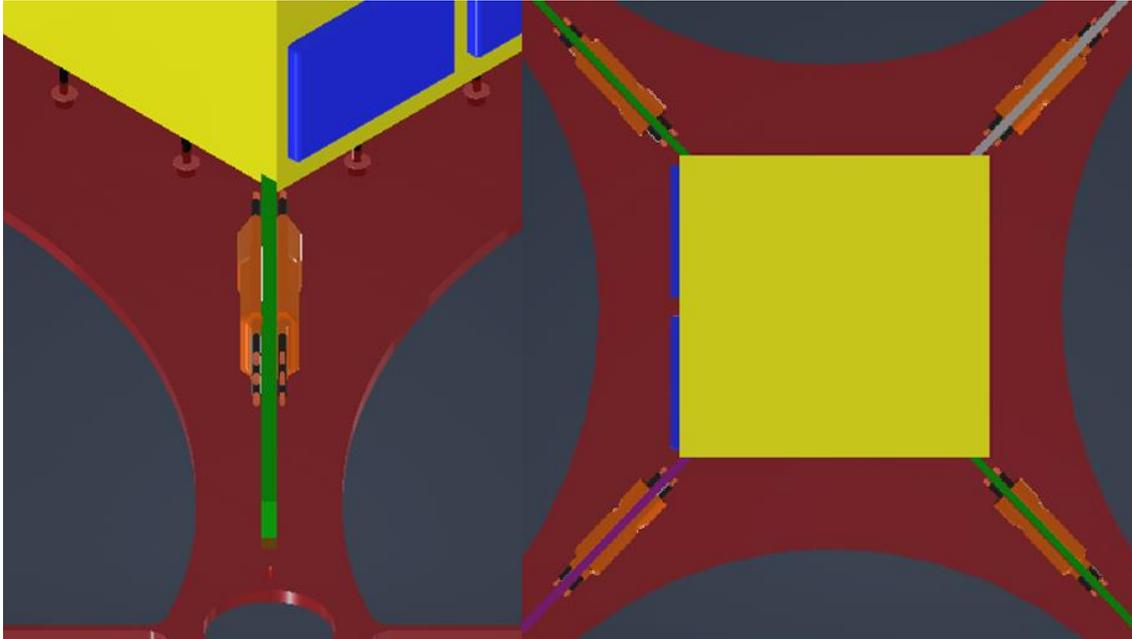


Nota. Perspectiva de soporte de baterías. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Ya que ubicamos el *pack* de baterías, procedemos a la instalación de los variadores de velocidad, estos estarán sujetos con silicona industrial, ya que esta electrónica puede sufrir daños y la sustitución debe ser inmediata, de lo contrario el drone queda inutilizado, la razón de utilizar este método es que los variadores de velocidad comerciales pueden variar en dimensiones, por lo tanto no es factible tener una pieza específica, adicional a esto la ventilación será mucho mejor ya que no tendrá un encapsulado o pieza adicional que no permita el flujo de aire adecuado.

Figura 23.

Instalación de variadores de velocidad en chasis

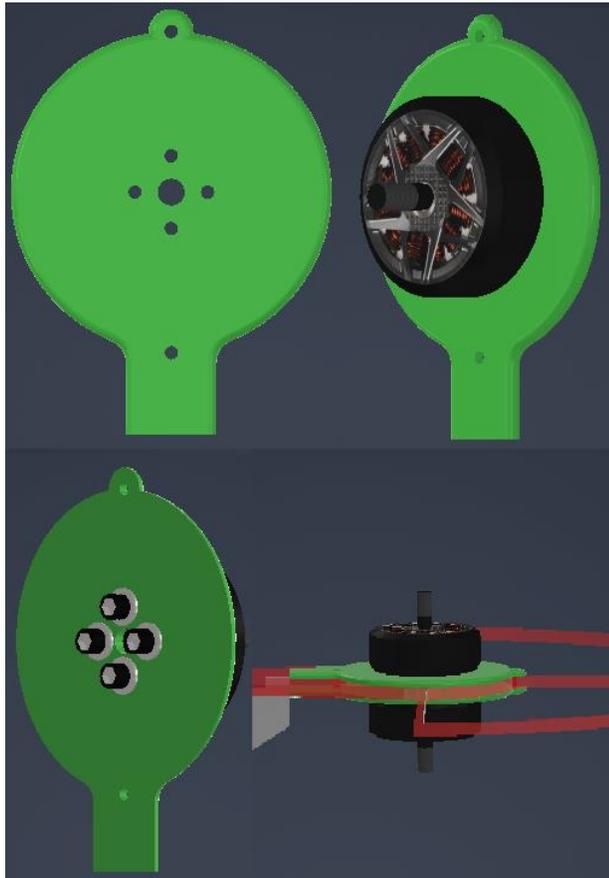


Nota. Perspectiva de instalación. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Como parte del diseño de infraestructura de y chasis, se diseñó un adaptador para los motores ya que muchos motores comerciales suelen el eje y estator trasero sobresaliente del chasis de motor, por lo que esto podría dañar el motor al entrar en fricción directa con la estructura, el diseño de adaptador toma en cuenta esto, y deja un espacio entre el estator y estructura de chasis principal, el adaptador se realiza con impresión 3D en material PETG, facilitando la precisión y economizando el desarrollo.

Figura 24.

Instalación de motores en adaptadores y en chasis

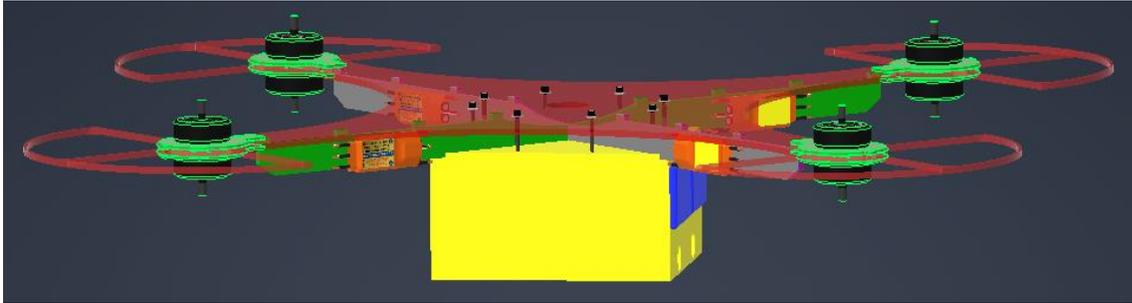


Nota. Perspectiva de instalación de motores. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Este proceso se realiza con los 8 motores, y posteriormente se ubican de manera axial, eso se refiere a que se deben instalar dos motores por brazo de drone, uno arriba y el otro debajo de la estructura principal, con esto se cumple la instalación de los 8 motores.

Figura 25.

Instalación de motores en adaptadores y en chasis

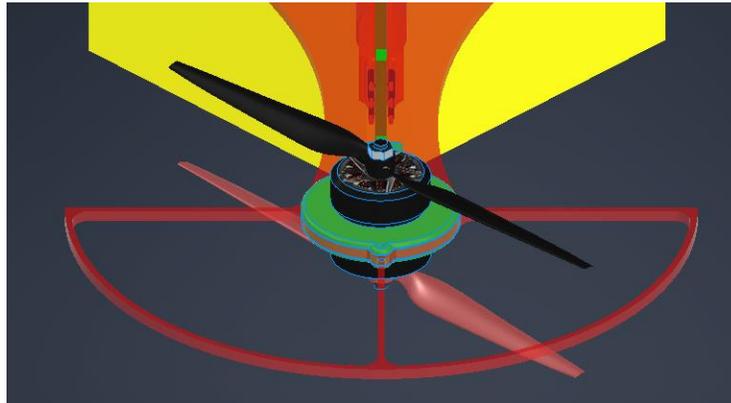


Nota. Perspectiva de instalación. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Las hélices seleccionadas son comerciales, por lo que no se deben tomar mayores consideraciones más que la ubicación correcta de las mismas, estas tienen un giro específico, de manera horaria y contra horaria, el motivo de esta configuración es poder contrarrestar de manera simple la inercia generada por el giro de los motores, y que el drone no rote sobre su eje sin que esto sea requerido, podemos observar hélices en dos colores, esto es para identificarlas de una manera más rápida, las de color negro son de giro horario y las de color rojo antihorario. Al terminar la ubicación de las hélices, los motores traen una tuerca específica para ajustar las hélices, siempre estas tuercas son ajustadas en sentido contrario al giro del motor, esto evita accidentes de que el mismo movimiento de los motores aflojen la tuerca y la hélice se salga del eje.

Figura 26.

Instalación de hélices en motores

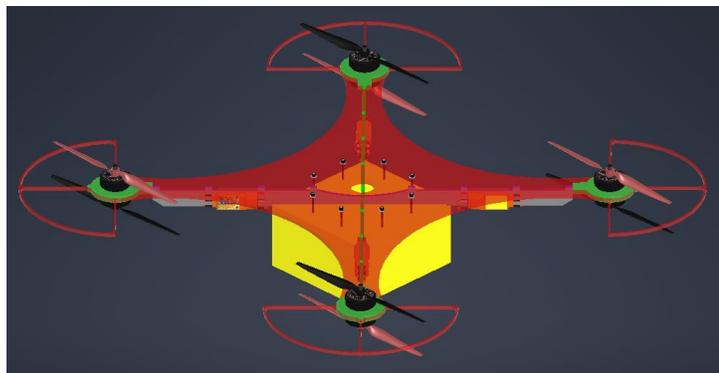


Nota. Perspectiva de instalación de hélices. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Tenemos una imagen general de la configuración final de todos los motores, esta debe ser considerada altamente ya que esto puede provocar vibraciones o un nulo funcionamiento del dron.

Figura 27.

Configuración de hélices y giro de motores



Nota. Perspectiva de hélices. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

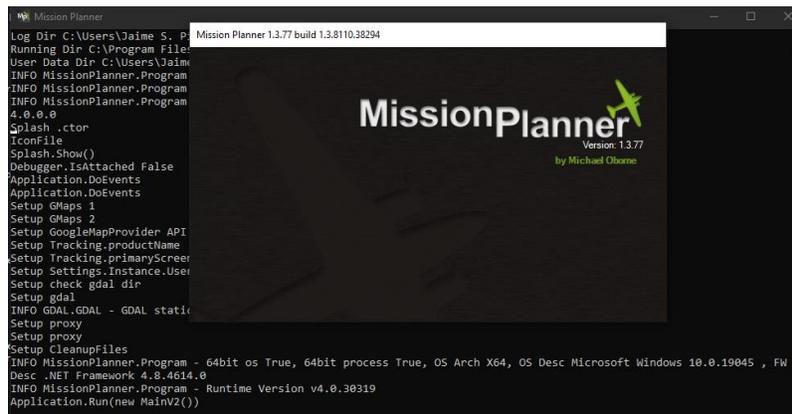
3.3. Programación y configuración de tarjeta controladora de vuelo

Para la programación y configuración de nuestro dron, utilizaremos el *software* Mission Planner, el cual es de código libre por lo que no es necesario pagar un adicional y nos permite configurar de manera fácil nuestro dron, evitando pruebas innecesarias y cálculos tediosos, otra de las razones para utilizar este *software* es facilitar la manipulación del dron por el usuario final al momento de realizar modificaciones o mantenimientos.

El inicio del programa nos abrirá dos ventanas, una de las cuales es la preconfiguración de puertos de la computadora, esto para que podamos acceder a la tarjeta controladora de vuelo a través de nuestro puerto USB.

Figura 28.

Inicio de programa Mission Planner



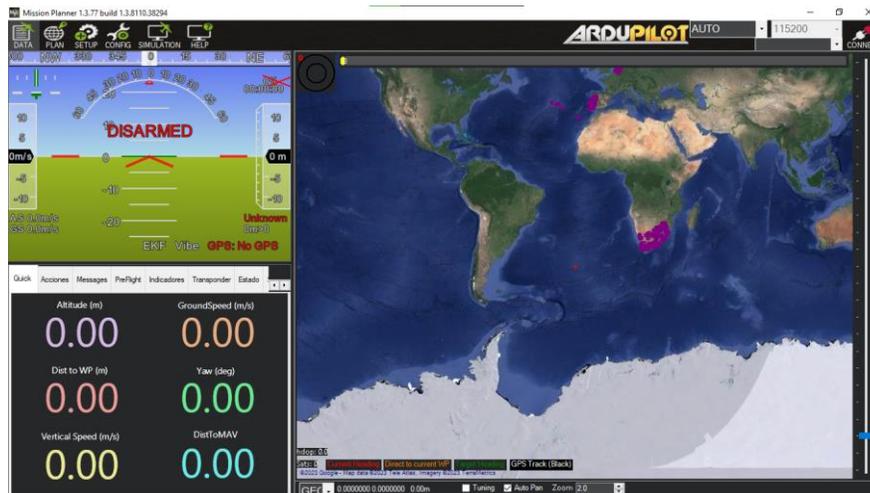
Nota. Inicio de programa. Elaboración propia, realizado con captura de pantalla de Windows.

Procedemos a conectar la tarjeta controladora de vuelo, a través del puerto micro USB y luego al puerto USB de la computadora, veremos el parpadeo

de diferentes luces, las cuales nos indicarán el funcionamiento correcto del controlador de vuelo.

Figura 29.

Pantalla de inicio de Mission Planner

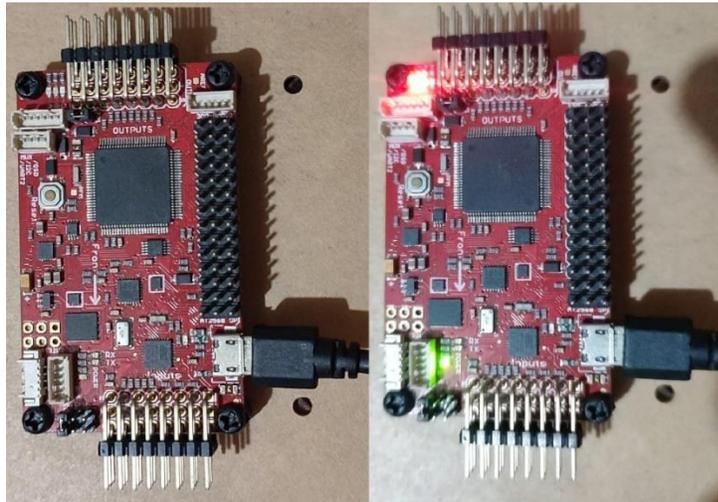


Nota. Vista de programa Mission Planner. Elaboración propia, realizado con captura de pantalla de Windows.

En la primera ventana del *software* veremos diferentes pestañas, cada una es una configuración diferente para nuestro controlado de vuelo y también tendremos un mapa donde podremos programar nuestros vuelos autónomos.

Figura 30.

Primera conexión de tarjeta controladora de vuelo



Nota. Prototipo. Elaboración propia.

Dentro de las primeras configuraciones, seleccionaremos el puerto de comunicación que se establece entre la computadora y la tarjeta controladora de vuelo, esta configuración se encuentra en la parte superior derecha, elegimos el puerto de comunicación y la velocidad de transmisión, en nuestro caso es de 115200 y pulsamos en conectar.

Figura 31.

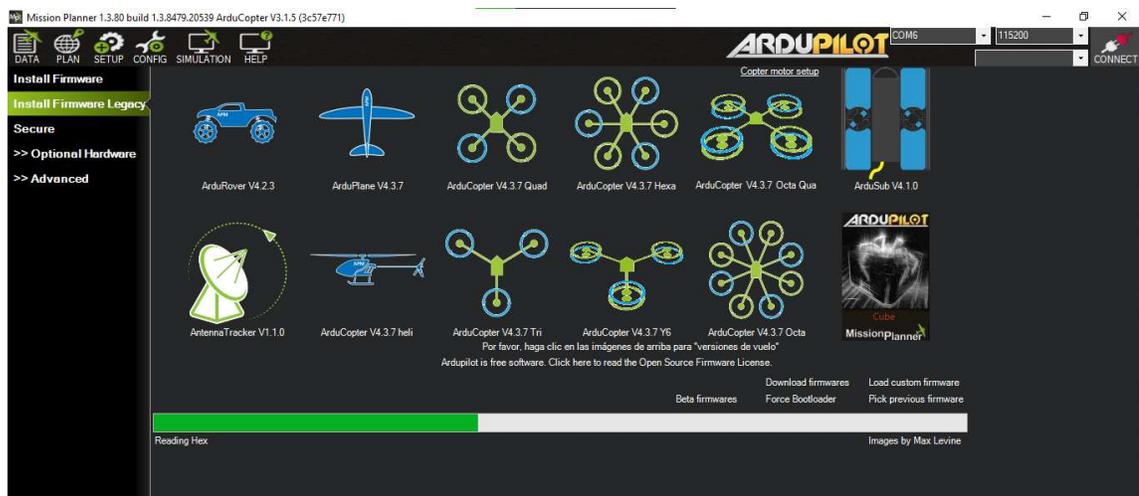
Configuración de puerto para tarjeta controladora de vuelo



Nota. Vista del programa Mission Planner. Elaboración propia, realizado con captura de pantalla de Windows.

Figura 32.

Configuración de vehículo que se utilizara



Nota. Vista del programa Mission Planner. Elaboración propia, realizado con captura de pantalla de Windows.

Posterior a esto procedemos a configurar el pin de activación para el sistema de Payload, sin desconectar la tarjeta de control de vuelo, nos dirigimos al apartado CONFIG.

Figura 33.

Configuraciones adicionales de la tarjeta controladora de vuelo



Nota. Vista del programa Mission Planner. Elaboración propia, realizado con captura de pantalla de Windows.

Se selecciona la opción de *User Params*, y en el apartado CH7_OPT, después la opción *Relay On/Off*.

Figura 34.

Configuraciones de canal de entrada para el control de acción de Payload

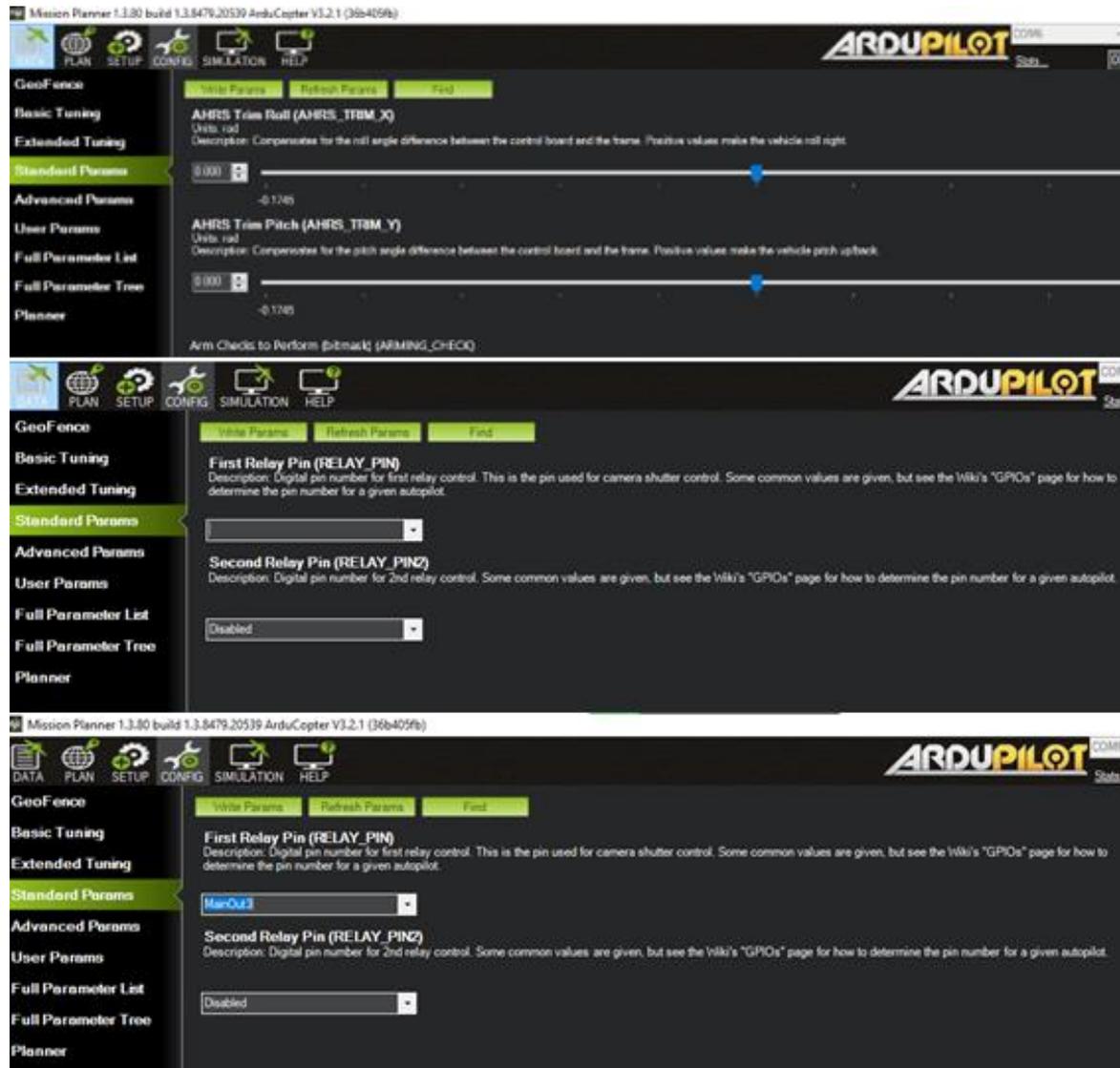


Nota. Configuración de canal de entrada para el control de Payload. Elaboración propia, realizado con captura de pantalla de Windows.

Como último paso en esta configuración, iremos a la opción *Estándar Params*, se busca con el *scroll* la configuración *First Relay Pin(Relay_PIN)*, y se selecciona *MainOut3*, de esta forma se configura el pin 3 análogo como una salida GPIO, de estados en alto y en bajo.

Figura 35.

Configuraciones de canal de entrada para el control de acción de Payload

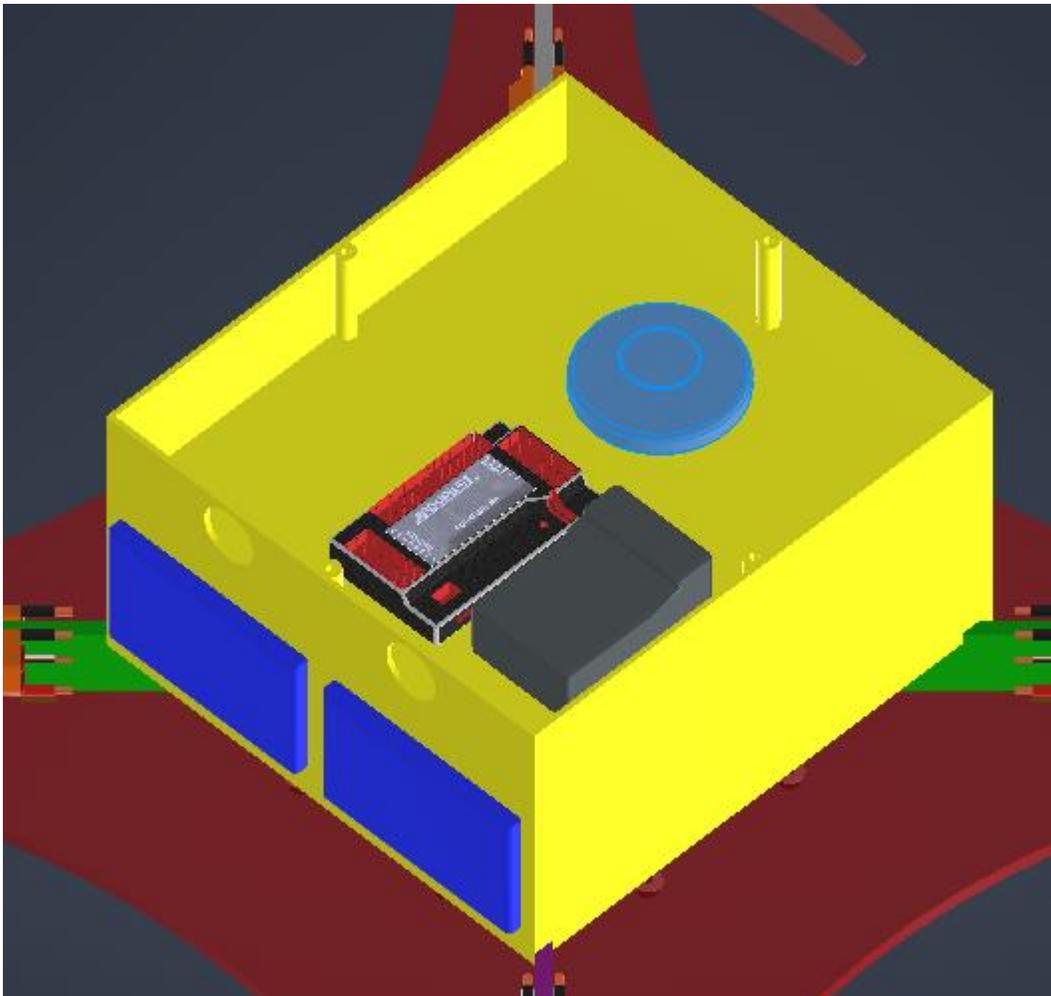


Nota. Configuración de canal de entrada para el control de Payload. Elaboración propia, realizado con captura de pantalla de Windows.

Se cuenta con un espacio adicional en la porta baterías el cual será utilizado para almacenar toda la electrónica utilizada, la ubicación está diseñada para que el acceso a la misma sea fácil y rápida, evitando la utilización de herramientas especializadas, y comodidad de mantenimientos.

Figura 37.

Diagrama visual, ubicación de módulos electrónicos en la estructura del drone



Nota. Diseño 3D de ubicación de módulo receptor de radio frecuencia, GPS y controlador de vuelo. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

3.5. Diseño Payload

El diseño de Payload es un tanque auto soportado con doble propósito, el primero cumplir como recipiente para el transporte de líquido para las tareas de aspersión, replicando las bombas manuales agrícolas utilizadas comúnmente en estos trabajos, el cual tiene la capacidad de transportar 3L de fertilizante, con el objetivo de cubrir 2 filas de cultivo en 4 minutos, para posteriormente regresar y ser cargado de fertilizante, repitiendo esto hasta cumplir los 20 minutos de vuelo, logrando cubrir 8 filas de 100 m de largo dando un área de siembra de 800 m².

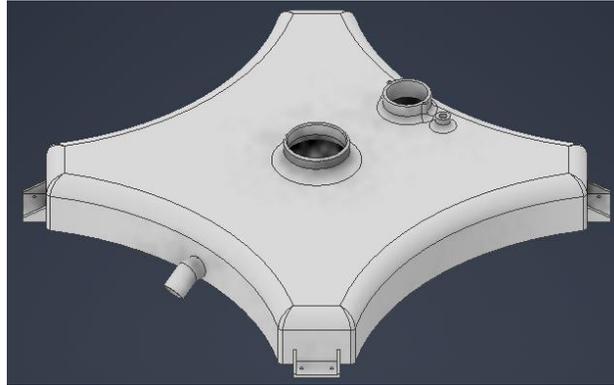
El diseño contempla la ubicación de distintos componentes mecánicos y electrónicos, así como la utilización de boquillas de los sistemas genéricos de aspersión, esto con el objetivo de mantener la economía y practicidad del sistema, por lo tanto, se consideraron diferentes sistemas de sellado para el tanque, evitando fugas y malas implementaciones de componentes para hacer un trabajo eficiente.

3.5.1. Diseño de piezas en 3D

En la Figura 38 se presenta el diseño de las piezas en tres dimensiones.

Figura 38.

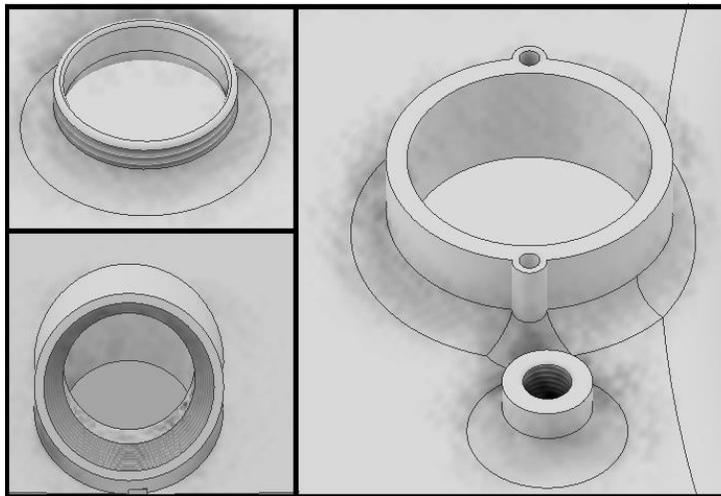
Diseño 3D de tanque para sistema de fertilización



Nota. Diseño 3D realizada en Autodesk Inventor de tanque visto desde arriba, observando las distintas ubicaciones de componentes. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Figura 39.

Diseño de acoplamiento para distintos componentes



Nota. Diseño 3D realizado en Autodesk Inventor de los distintos métodos de acople para los componentes de *Payload* y asegurar un sello hermético y evitar posibles fugas. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

3.5.2. Selección de componentes electrónicos y mecánicos

En los siguientes incisos se describe la selección de componentes electrónicos y mecánicos para el drone.

3.5.2.1. Microcontrolador atmel328P

Se necesita un sistema de control para el funcionamiento del sistema de aspersión ya que se trabajará con una variable de presión la cual será obtenida por el trabajo de un elemento electromecánico, es necesario tener un control sobre esto para evitar daños a los componentes y asegurar que el sistema funcione de forma óptima en la presión adecuada, el microcontrolador llevará el proceso de mantener la presión en la zona de trabajo ideal, esto para evitar sobre esfuerzos.

3.5.2.2. Bomba de compresión de aire

Tomando como referencia las bombas de fumigación manuales, ya que se utilizarán las boquillas de estas, sabemos que la presión de trabajo óptima es de 10 PSI, con este parámetro procederemos a buscar una bomba de compresión de aire electromecánica, para que pueda ser controlada por el drone y nuestro microcontrolador designado a esta tarea.

Tabla 9.*Características de bomba elegida*

Característica	Especificación
Voltaje de funcionamiento	9 – 16 V
Tiempo de operación continuo	45 min – 1h
Presión máxima de operación	22 psi
Diámetro de boquilla	4mm

Nota. Especificaciones de la bomba. Elaboración propia, realizado con Excel.

3.5.2.3. Selección de sensor de presión

El sensor de motor tiene como trabajo obtener el dato de la presión a la que se encuentra el tanque, y sirve como instrumento de control de lazo cerrado, lo cual nos permite tener una precisión mayor sobre el proceso de compresión del tanque, por el tipo de trabajo al que se está exponiendo, ya que no solo estará en un tanque presurizado con agua, sino también con líquido por lo tanto necesitamos un sensor que pueda ser sumergido en agua sin sufrir de daños.

Tabla 10.*Características del sensor elegido*

Característica	Especificación
Modelo	HK3022
Voltaje de operación	5VDC
Voltaje de salida	0.5 -4.5 VDC
Rango de presión de trabajo	0-145 psi
Ambientes de trabajo	Aire, Agua y aceite.
Diámetro de acople	7mm, con largo de rosca de 8mm

Nota. Especificaciones del sensor. Elaboración propia, realizado con Excel.

3.5.3. Programación de Payload

En la Figura 40 se muestra la programación de Payload.

Figura 40.

Código de programación en Arduino para control de presión de Payload

```
PID_tanque_presion
1 //constantes De PID para sistema de Aspercion para drone.
2 double ap = 0, ai = 0, ad = 0, output, input = 0, error = 0, ErrorAnterior = 0, setpoint = 40, kp = 10, ki = 0.01, kd = 0, sensor = 0, tm = 0.01, salida = 0;
3 //Pin De Activacion de Bomba
4 int PinCompresor=4;
5 //configuracion de presion para el sistema de asperció.
6 float presion=10;
7 //led de estado de indicara si esta activa o desactivada la bomba de aire
8 int estadobomba=1;
9
10 void setup() {
11 //configuracion de GPIOs
12 pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT);
13 pinMode(PinCompresor, OUTPUT);
14 }
15
16 //funcion PID establecida para el ciclo de control.
17 void pid() {
18 //error inicial a comparacion de la variable anterior o inicial.
19 error = setpoint - presion;
20 //ecuaciones PID
21 ap = kp * error;
22 ai = ki * ((tm * ErrorAnterior) + (tm * (error - ErrorAnterior)) / 2);
23 ad = kd * ((error - ErrorAnterior) / tm);
24 output += ap + ai + ad;
25 //rango de seguridad para evitar desbordamiento de variables, y producir ciclos infinitos.
26 if (output > 100) {
27 output = 100;
28 }
29 if (output < 0) {
30 output = 0;
31 }
32 //obtencion del error anterior
33 ErrorAnterior = error;
34
35 }
36
37 //funcion que repeta de manera ciclica todo el programa para mantener el control de presion en el tanque
38 void loop() {
39 sensor=analogRead(A2);
40
41 presion=map(sensor, 85, 170, 20, 40);
42 delay(1);
43
44 pid();
45 //mapeo para convertir operaciones rangos de valor obtenidos a rangos de trabajo.
46 estadobomba = map(output, 0, 100, 0, 1);
47
48 //activacion de GPIOs asignados al led interno de estado, y a la activacion de compresor.
49 digitalWrite(LED_BUILTIN, estadobomba);
50 digitalWrite(PinCompresor, estadobomba);
51 delay(100);
52
53 }
54 }
```

Compilado

Nota. Código de control de presión para sistema de aspersión de fertilizante utilizando IDLE de Arduino. Elaboración propia, realizado con captura de pantalla de Windows.

3.5.4. Ensamblaje de Payload

En la Figura 41 se muestra el ensamble del Payload.

Figura 41.

Ubicación de componentes electrónicos en Payload



Nota. Diseño 3D de tanque para transporte de fertilizantes con ubicación de componentes electrónicos. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

Figura 42.

Payload instalada en el drone



Nota. Diseño 3D de tanque de Payload instalado en la estructura del drone para fertilizar cultivos de café. Elaboración propia, realizado con Autodesk Inventor.

4. MANUAL DE USUARIO

4.1. Descripción

Este es un sistema de aspersión y riego de fertilizante líquido a través de un vehículo aéreo no tripulado, que cuenta con dos modos de operación, vuelos autónomos programados o pilotados a través de control remoto, la modalidad de utilización se debe configurar previamente a ser encendido el dron.

El sistema cuenta con un control remoto con el cual se podrá cambiar del modo autónomo a modo controlado con un simple comando preconfigurado.

4.2. Funcionamiento

El dron debe ser configurado previamente según la modalidad de vuelo que se requiera para la tarea a realizar, puede ser autónomo o controlado, posterior a la elección de modo de vuelo se debe cargar el tanque ubicado en la parte superior, se debe realizar una inspección previa, ubicando la boquilla de aspersión o riego de manera adecuada, esto se puede corroborar con una inspección visual, si la boquilla no tiene ninguna fuga alrededor del ajuste de rosca que tiene el tanque significa que está instalada de forma adecuada y el dron puede proceder a la tarea asignada.

En dado caso el vuelo sea autónomo, se debe ubicar dron en una superficie completamente plana y sin ningún obstáculo horizontal y vertical en un radio de 10 metros, no se recomienda realizar despegues desde superficies

sinuosas o con ángulos mayores a 20 grados, evitar la activación del dron e mientras este se encuentra siendo manipulado.

En dado caso el vuelo sea controlado, las recomendaciones son las mismas y adicional se sugiere que el despegue sea suave, no impulse la palanca de aceleración al tope, esto podría causar un despegue descontrolado ocasionando accidentes con la persona que lo opera o daños fatales sobre el sistema.

Al momento de estar en vuelo, si la selección vuelo es autónoma el dron e activará el sistema de aspersion en los puntos que fueron seleccionados en el mapa de la interfaz, si el vuelo es controlado, podrá activar el sistema de aspersion a discreción con la palanca ubicada en la parte superior derecha del control.

El dron e tiene alertas sonoras a través de los motores las cuales serán:

- Si la carga es demasiado baja para este poder seguir operando, se escucharán pitidos continuos en todos los motores.
- Si el dron e sufre de alguna desconfiguración en los parámetros de vuelo, este no despegará y emitirá un pitido intermitente cada 5 segundos.
- Al momento de este tener un daño en alguno de los motores o variador de velocidad, puede emitir pitidos similares al anterior, pero será en un solo motor y este motor no estará funcionando.

4.3. Consideraciones

- No se debe superar la carga preestablecida del drone, ya que esto causara un sobre esfuerzo en el sistema mecánico (motores) y en variadores de velocidad, ocasionando daños en los distintos componentes.
- Evitar la utilización de disolventes o inflamables en el tanque tales como alcohol, gasolina, acetona, thinner, entre otros, estos pueden ocasionar deformaciones en el tanque de almacenamiento.
- No realizar vuelos con las baterías sin ser cargadas al máximo previamente, o con baterías de distintas capacidades.
- No forzar la instalación de piezas roscables, como boquilla, sensor de presión o tapadera del tanque.
- Evitar tirar de los cables expuestos en la armazón del drone, o retirar componentes estando el drone encendido.

5. MANUAL DE MANTENIMIENTO

5.1. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo es una serie de pasos que se debe realizar antes de realizar cualquier tipo de vuelo y al terminar los mismos, los cuales consisten en:

- Revisión de hélices del drone, estas no deben tener ningún daño visible, como rajaduras, rayones profundos, quebraduras o astilladuras en las puntas.
- Revisar el cableado de motores, este no debe estar picado, o con el conductor de manera expuesta.
- Al momento de encender el drone esperar 30 segundos para que este pueda realizar energizar los variadores de velocidad, y posteriormente estos puedan emitir alguna de las alertas mencionadas en el manual de usuario, en dado caso no existan alertas, se puede proseguir de manera segura.
- Limpiar los motores y retirando polvo o partículas extrañas que se puedan alojar en la parte expuesta del mismo, esta limpieza se puede realizar con una brocha pequeña retirando cualquier acumulación de polvo.
- Girar los motores de manera manual para percibir si existe algún objeto o acumulación de polvo que impida el giro de forma libre del mismo.

- Realizar limpieza a la boquilla del sistema de aspersión, esto para evitar obstaculizaciones en el flujo de líquido.
- Una inspección visual de las uniones de componentes en el tanque, observando que no existan fugas.

5.2. Mantenimientos correctivos

Los mantenimientos correctivos deben ser realizados con un tiempo programado según sea requerido por el componente electrónico o mecánico.

- Se debe realizar el cambio de las baterías después de 1 año de uso o al momento de superar los 100 vuelos de 20 minutos.
- Cambiar las hélices si estas se encuentran dañadas, rajaduras, astilladuras, quebraduras o rayones profundos.
- Si un Variador de velocidad no responde después de 30 segundos al ser encendido el dron, se debe cambiar ya que este se encuentra dañado.
- Se deben revisar los empaques que los componentes en el tanque, se debe realizar el cambio si estos sufren de alguna rajadura o daño, o posterior a cumplir 1 año de trabajo.
- Se debe cambiar la bomba de compresión de aire al cumplir 1 año de estar operando.

6. ANÁLISIS FINANCIERO

6.1. Análisis de costo de componentes electrónicos y mecánicos del drone

En la Tabla 11 se muestra el costo de los componentes electrónicos y mecánicos del drone.

Tabla 11.

Costo de componentes electrónicos y mecánicos de drone

Componente	Cantidad	Precio unitario estimado	Precio total
Batería	2	Q 1,200.00	Q 2,400.00
Módulo de vuelo APM	1	Q 570.00	Q 570.00
Módulo GPS	1	Q 195.00	Q 195.00
Radio control emisor/receptor	1	Q 700.00	Q 700.00
Motorización	8	Q 390.00	Q 3,120.00
Variador de velocidad	8	Q 199.00	Q 1,592.00
Juego de hélices para drone	2	Q 80.00	Q 160.00
Cableado y conectores	1	Q 250.00	Q 250.00
		Total	Q 8,987.00

Nota. Costos del proyecto. Elaboración propia, realizado con Excel.

6.2. Análisis de costo del desarrollo de estructura del drone

En la Tabla 12 se muestra el costo del desarrollo de estructura del drone.

Tabla 12.*Costo de desarrollo de estructura*

Componente	Cantidad	Precio unitario estimado	Precio total
Plancha de acrílico de 2 x 4 pies	1	Q 189.00	Q 189.00
Corte Laser	1	Q 60.00	Q 60.00
Impresión 3D Sujetadores de motores.	8	Q 12.00	Q 96.00
Impresión 3D Sujetadores de piezas estructurales	1	Q 200.00	Q 200.00
tornillería	60	Q 0.91	Q 54.60
		Total	Q 599.60

Nota. Costos del proyecto. Elaboración propia, realizado con Excel.

6.3. Análisis de costo del diseño de Payload

En la Tabla 13 se presenta el análisis de costo del diseño de Payload.

Tabla 13.*Costo de componentes electrónicos, mecánicos y estructurales de Payload*

Componente	Cantidad	Precio unitario estimado	Precio total
Bomba de Aire	1	Q 88.00	Q 88.00
Sensor de Presión	1	Q 110.00	Q 110.00
Módulo de control	1	Q 45.00	Q 45.00
Microcontrolador	1	Q 61.00	Q 61.00
Impresión 3D de tanque de almacenamiento	1	Q 150.00	Q 150.00
		Total	Q 458.00

Nota. Costos del proyecto. Elaboración propia, realizado con Excel.

6.4. Costos de mantenimientos futuros del drone

Los costos de mantenimiento del drone suelen ser bajos en comparación de la inversión inicial, dado que los componentes electrónicos seleccionados tienen un tiempo de vida útil largo, adicional a esto los mantenimientos continuos deben ser visuales y de inspección simple como revisión de conexión de cableado, funcionamiento de giro de motores, actualización de firmware, estado de la boquilla de aspersión.

A menos que se sufra de un accidente en operación, el mantenimiento adicional y que incluye un costo es el cambio de componentes que sufren de un desgaste mecánico o eléctrico con el tiempo, estos componentes son las baterías que con cada uso su tiempo de carga se ve afectado, reduciendo así el tiempo promedio de vuelo que el drone puede operar, también el cambio del empaje del sensor de presión que con el tiempo y al estar en contacto con un líquido puede sufrir de agrietamientos y producir fugas, disminuyendo la eficiencia del sistema de Payload, por último el componente electromecánico con un desgaste severo será la bomba de aire, al ser esta el componente principal de trabajo estará operando con una estrés mecánico y eléctrico alto, por lo que su tiempo de vida se ve reducido en gran medida, es recomendable que estos componentes se cambien al cumplir un año de operabilidad para evitar accidentes a futuro que puedan ocasionar una mayor inversión para reactivación del drone, por ultimo como componente fuera de dispositivos electrónicos y mecánicos, se encuentran las hélices, las cuales deberán ser cambiadas al año, por cuestiones de durabilidad del material y posibles deformaciones ocasionadas por el trabajo continuo y bajo cargas de torsión ocasionadas por el viento, también considerar que estas últimas al tener un golpe o deformación, por más diminutos que este fuera, puede desequilibrar el sistema de motores, ocasionando vibraciones y hasta posibles daños al motor.

Tabla 14.*Costo de componentes electrónicos y mecánicos*

Componente	Cantidad	Precio unitario estimado	Precio total
Empaques de Sensor de presión	1	Q 10.00	Q 10.00
Cambio de hélices	1	Q 110.00	Q 110.00
Bomba de aire	1	Q 45.00	Q 45.00
baterías	1	Q 1,200.00	Q 2,400.00
		Total	Q 2,565.00

Nota. Necesitan un cambio después de 1 año de operación continua. Elaboración propia, realizado con Excel.

6.5. Costos totales del diseño de drone

En la Tabla 15 se pueden apreciar los costos totales para el diseño del drone. Tomar en cuenta el cambio de precios de acuerdo a la fecha.

Tabla 15.*Costo de componentes electrónicos y mecánicos*

Sistema	Costo
Componentes electrónicos.	Q 8,987
Desarrollo estructural.	Q 600
Desarrollo de Payload	Q 458
mantenimientos anuales.	Q 2,565
	Total
	Q 12,610

Nota. Necesitan un cambio después de 1 año de operación continua. Elaboración propia, realizado con Excel.

CONCLUSIONES

1. Se determinaron los componentes electrónicos a utilizar en el diseño de un sistema de fertilización a través de aspersión y riego con drones de acuerdo con los requerimientos físicos de la finca moralfa.
2. Se diseñó de acuerdo al criterio facilidad de adquisición de los materiales, el chasis de un drone para el transporte del sistema de aspersión y riego de fertilizantes.
3. Se realizaron diagramas de las conexiones de módulos electrónicos, seleccionados para la construcción del drone.
4. Se diseñaron los diagramas para la comprensión correcta del armado del drone propuesto, exponiendo de forma clara y adecuada su construcción.
5. Se desarrollaron los manuales de usuario y mantenimiento del prototipo, para la correcta operación y mantenimiento del drone.

RECOMENDACIONES

1. Leer el manual de mantenimiento y manual de usuario para evitar daños y accidentes de operación.
2. Utilizar el drone en situaciones climáticas en las cuales no existan lluvia o vientos rápidos.
3. Leer de manera adicional sobre el funcionamiento de drones y controladores de vuelo en la página Ardupilot.org y dronpedia.com.

REFERENCIAS

- Acerenza, M. (2019). Los drones y su aplicación en el ámbito civil. *Revista Jurídica Argentina*, (1), 59-7.
- Aerial Insights*. (28 de septiembre de 2019). ¿Cuántos tipos de drones existen en el mercado? <https://www.aerial-insights.co/blog/tipos-de-drones/>
- Alonso, R., Castejón, L., López, J. y Castejón, F. (2019). *Vehículos aéreos tripulados: historia, tecnología y aplicaciones*. Universidad de Sevilla.
- ArduPilot Dev Team. (3 de junio de 2019). *Archived:APM 2.5 and 2.6 Overview*. <https://ardupilot.org/copter/docs/common-apm25-and-26-overview.html#apm-2-5>
- Argüello, F. (1 de septiembre de 2022). *Sensores inteligentes para la salud pública*. Infoteknico. <https://www.infoteknico.com/sensores-inteligentes/>
- Arroyo, J. (2017). *Drones: Guía básica para principiantes*. Ediciones Córner.
- Borrero., I. (2020). *Abonos orgánicos*. InfoAgro. https://www.infoagro.com/documentos/abonos_organicos.asp
- Chen, W. (2019). *Design and implementation of brushless DC motor control ESC based on STM32*. [Diseño e implementación de control de motor DC sin escobillas ESC basado en STM32].

Crespo, C. (2019). *Drones: La nueva tecnología que está transformando el mundo*. Rasche.

CropLife. (18 de enero de 2021). *Uso de drones en la agricultura*. <https://www.croplifela.org/es/actualidad/articulos/uso-de-drones-en-la-agricultura>

Dong, Y. G. (2018). *Diseño de sistema de control de actitud para UAV quadrotor basado en acelerómetro MEMS*. IOP Conference Series.

DRONEOMEGA. (1 de junio de 2020). *How GPS Drone Navigation Works* [Cómo funciona la navegación GPS con drones]. <http://www.droneomega.com/gps-drone-navigation-works>

FPVMAX. (21 de diciembre de 2016). *Variador electrónico (ESC): Qué es y cómo funciona*. <https://www.fpvmax.com/uncategorized/variador-electronico-esc-funciona/>

Frackiewicz, M. (2 de marzo de 2023). *¿Cuál es la diferencia entre un dron y un cuadricóptero?* TS2. <https://ts2.space/es/cual-es-la-diferencia-entre-un-dron-y-un-cuadricoptero/>

Garrison, R. (2019). *Implicaciones legales y éticas del uso de drones*. Business and Technology Law.

González, M. (2018). Factores humanos en la operación de vehículos aéreos tripulados. *Psicología Aplicada al Tráfico y la Seguridad Vial* , (1), 50-63.

- Huang, J. (2017). *Navigation Sensor Technologies and Applications: A Review*. *IEEE Sensors Journal* [Tecnologías y aplicaciones de sensores de navegación: una revisión. Revista de sensores IEEE]. Springer.
- Iberf drone. (2023). *Tipos de drones y sus características*. <https://iberfdrone.es/tipos-drones-y-caracteristicas/>
- Innovation, A. (20 de abril de 2023). *Drones industriales*. ATRIA. <https://www.atriainnovation.com/drones-industriales/>
- Jackson, B. (25 de febrero de 2021). *Understanding Drone Payloads* [Comprender las cargas útiles de los drones]. COPTRZ. <https://coptrz.com/understanding-drone-payloads/>
- Jahanzaib, M. (2020). *Design and development of quadcopter for surveillance applications* [Diseño y desarrollo de cuadricóptero para aplicaciones de vigilancia.]. IEEE.
- Kauf, A. M. (2018). *Drones Militares: Antecedentes y Consideraciones para el Congreso*. IEEE.
- Khalid, M. (2020). Nitrogen fertilizers: A review of their impact on soil microbial communities [Fertilizantes nitrogenados: una revisión de su impacto en las comunidades microbianas del suelo]. *PLOS ONE*, (1),16.
- Kogut, P. (25 de junio de 2022). *EOS data analytics* [Análisis de datos EOS]. EOS. <https://eos.com/es/blog/drones-y-satelites-para-agricultura/>

Liang, O. (2017). *Flash Frsky Receiver Firmware: R9 Mini, R-XSR, XSR, X4R, XM+, D4R*. [Firmware del receptor Flash Frsky: R9 Mini, R-XSR, XSR, X4R, XM+, D4R.] OscarLiang. <https://oscarliang.com/flash-frsky-rx-firmware/>

Martín, P. (2018). *Diseño y fabricación de un dron*. Universidad de Valencia.

Mathas, C. (31 de julio de 2014). *La función de los sensores en aplicaciones IoT para el cuidado médico y de la salud*. Digikey. <https://www.digikey.com/es/articles/the-role-of-sensors-in-iot-medical-and-healthcare-applications>

Murison, M. (30 de diciembre de 2020). *Ala fija o multirrotor ¿qué dron debe escoger para sus tareas de topografía aérea?* DJI Enterprise. <https://enterprise-insights.dji.com/es/blog/drones-ala-fija-y-multirrotor>

Oñate, I. (15 de febrero de 2023). *Descripción general de los sensores de presión*. Diario Electrónico de Hoy. <https://www.diarioelectronicohoy.com/descripcion-general-de-los-sensores-de-presion/>

Organización Mundial de la Salud. (2019). *Seguridad Alimentaria y Nutricional. Conceptos Básicos*. <http://www.fao.org/3/ca5575es/CA5575ES.pdf>

Peñañiel, D. (2018). *Drones: Diseño, construcción y programación de drones*. Marcombo.

Razali, N., Zainal, M., Suaib, N. & Zakaria, Z. (2020). *Automated Flight for Agriculture Application Using Drone* [Aplicación de vuelo automatizado

para agricultura mediante drones]. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, (1), 331-333.

Rodriguez, A. (8 de marzo de 2023). *Sensores electrónicos: ¿Qué son y cómo funcionan?* Diario Electrónico de Hoy. <https://www.diarioelectronico hoy.com/sensores-electronicos-que-son-y-como-funcionan/>

Sánchez-López, J. (2014). *Fundamentos de la Mecánica de Fluidos e Hidráulica*. McGrawHill.

Smith, G. (9 de marzo de 2020). *¿Qué es un sensor y qué hace?* DEWESoft. <https://dewesoft.com/es/blog/que-es-un-sensor>

Torrente, M. (2013). *Aprende Arduino en un Fin de Semana*. Alfaomega.

U-Blox. (2012). *NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet*. ARM. https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf

Valero, C. (12 de enero de 2023). *Tipos de drones*. Adslzone. <https://www.adslzone.net/reportajes/drones/tipos-drones/>

Vargas, J. D. (2017). *Introducción a los drones: guía básica para el pilotaje y uso de drones*. Rc Libros.

Zhang, Y. (2021). Application of agricultural drones in precision agriculture: A review [Aplicación de drones agrícolas en agricultura de precisión: una revisión]. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1-14.

ANEXOS

Anexo 1.

Calculador de multicopteros



Version Demo Limitada
Contratar la version completa por solo \$0.99



[Follow](#)
[Follow](#)
[YouTube](#)

Contratar la version completa por solo \$0.99

[Login here...](#)

datos sin garantía de precisión: +/-15% News | Toolbox | Easy View | Help | Tutorial | Language: español

General	Peso del modelo: 2000 g <input type="text"/> con Motorización <input type="text"/> 70.5 oz <input type="text"/>	Nº de rotores: 8 <input type="text"/> coaxial <input type="text"/>	Tamaño del armazon: 450 mm <input type="text"/> 17.72 inch <input type="text"/>	Límite de inclinación de la FCU: <input type="text"/> sin límite <input type="text"/>	Altura del campo de la FCU: 500 m ASL <input type="text"/> 1640 ft ASL <input type="text"/>	Temp. aire: 25 °C <input type="text"/> 77 °F <input type="text"/>	Presion (QNH): 1013 hPa <input type="text"/> 29.91 inHg <input type="text"/>	
Celdas batería	Tipo (Cont. / max. C) - nivel de carga: LiPo 1400mAh - 3S50C <input type="text"/> - llena <input type="text"/>	Configuración: 4 S 2 P <input type="text"/>	Capacidad por celda: 14000 mAh <input type="text"/> 28000 mAh total <input type="text"/>	descarga max.: 65% <input type="text"/>	Resistencia: 0.0011 Ohm <input type="text"/>	Voltaje: 3.7 V <input type="text"/>	capacidad C de descarga: 35 C continua <input type="text"/> 50 C de pico <input type="text"/>	Peso: 359 g <input type="text"/> 12.7 oz <input type="text"/>
Variador	Tipo: max 40A <input type="text"/>	Corriente: 40 A cont. <input type="text"/> 40 A max. <input type="text"/>	Resistencia: 0.006 Ohm <input type="text"/>	Peso: 50 g <input type="text"/> 1.8 oz <input type="text"/>	Accesorios	Consumo de corriente: 2 A <input type="text"/>	Peso: 3000 g <input type="text"/> 105.8 oz <input type="text"/>	
Motor	Fabricante - Tipo (Kv) - refrigeración: Cobra <input type="text"/> - CM-4006/24 (750) <input type="text"/> buena <input type="text"/> buscando... <input type="text"/>	KV (w/o torque): 750 rpm/V <input type="text"/> Asistente KV hélice <input type="text"/>	Corriente sin hélice: 0.97 A @ 12 V <input type="text"/>	Límite (hasta 15s): 355 W <input type="text"/>	Resistencia: 0.062 Ohm <input type="text"/>	Longitud caja: 24 mm <input type="text"/> 0.94 inch <input type="text"/>	nº Polos mag.: 22 <input type="text"/>	Peso: 93 g <input type="text"/> 3.3 oz <input type="text"/>
Hélice	Tipo de hélice: Generic - normal <input type="text"/> - 0° <input type="text"/>	Dímetro: 11 inch <input type="text"/> 279.4 mm <input type="text"/>	Paso: 4 inch <input type="text"/> 101.6 mm <input type="text"/>	número de palas: 2 <input type="text"/>	Const. de Potencia/Empuje: 1.06 / 1.0 <input type="text"/>	Gear Ratio: 1 : 1 <input type="text"/>	<input type="button" value="Calcular"/>	











Version Demo Limitada
Contratar la version completa por solo \$0.99



[Follow](#)
[Follow](#)
[YouTube](#)

Contratar la version completa por solo \$0.99

[Login here...](#)

datos sin garantía de precisión: +/-15% News | Toolbox | Easy View | Help | Tutorial | Language: español

General	Peso del modelo: 2000 g <input type="text"/> con Motorización <input type="text"/> 70.5 oz <input type="text"/>	Nº de rotores: 8 <input type="text"/> coaxial <input type="text"/>	Tamaño del armazon: 450 mm <input type="text"/> 17.72 inch <input type="text"/>	Límite de inclinación de la FCU: <input type="text"/> sin límite <input type="text"/>	Altura del campo de la FCU: 500 m ASL <input type="text"/> 1640 ft ASL <input type="text"/>	Temp. aire: 25 °C <input type="text"/> 77 °F <input type="text"/>	Presion (QNH): 1013 hPa <input type="text"/> 29.91 inHg <input type="text"/>	
Celdas batería	Tipo (Cont. / max. C) - nivel de carga: LiPo 1400mAh - 3S50C <input type="text"/> - llena <input type="text"/>	Configuración: 8 S 2 P <input type="text"/>	Capacidad por celda: 14000 mAh <input type="text"/> 28000 mAh total <input type="text"/>	descarga max.: 65% <input type="text"/>	Resistencia: 0.0011 Ohm <input type="text"/>	Voltaje: 3.7 V <input type="text"/>	capacidad C de descarga: 35 C continua <input type="text"/> 50 C de pico <input type="text"/>	Peso: 359 g <input type="text"/> 12.7 oz <input type="text"/>
Variador	Tipo: max 40A <input type="text"/>	Corriente: 40 A cont. <input type="text"/> 40 A max. <input type="text"/>	Resistencia: 0.006 Ohm <input type="text"/>	Peso: 50 g <input type="text"/> 1.8 oz <input type="text"/>	Accesorios	Consumo de corriente: 2 A <input type="text"/>	Peso: 3000 g <input type="text"/> 105.8 oz <input type="text"/>	
Motor	Fabricante - Tipo (Kv) - refrigeración: Cobra <input type="text"/> - CM-4006/24 (750) <input type="text"/> buena <input type="text"/> buscando... <input type="text"/>	KV (w/o torque): 750 rpm/V <input type="text"/> Asistente KV hélice <input type="text"/>	Corriente sin hélice: 0.97 A @ 12 V <input type="text"/>	Límite (hasta 15s): 355 W <input type="text"/>	Resistencia: 0.062 Ohm <input type="text"/>	Longitud caja: 24 mm <input type="text"/> 0.94 inch <input type="text"/>	nº Polos mag.: 22 <input type="text"/>	Peso: 93 g <input type="text"/> 3.3 oz <input type="text"/>
Hélice	Tipo de hélice: Generic - normal <input type="text"/> - 0° <input type="text"/>	Dímetro: 11 inch <input type="text"/> 279.4 mm <input type="text"/>	Paso: 4 inch <input type="text"/> 101.6 mm <input type="text"/>	número de palas: 2 <input type="text"/>	Const. de Potencia/Empuje: 1.06 / 1.0 <input type="text"/>	Gear Ratio: 1 : 1 <input type="text"/>	<input type="button" value="Calcular"/>	









Continuación del anexo 1.

✈ **coopterCalc - Calculador de Multicópteros** News | Toolbox | Easy View | Help | Tutorial | Language: **español**

datos sin garantía de precisión: <-15%

General

Peso del modelo: 2000 g con Motorización

70.5 oz

Nº de rotores: 8

Tamaño del armazon: 450 mm / 17.72 inch

coaxial

Límite de inclinación de la FCU: sin límite

Altura del campo: 500 m ASL / 1640 ft ASL

Temp. aire: 25 °C / 77 °F

Presión (QNH): 1013 hPa / 29.91 inHg

Celdas batería

Tipo (Cont./max.C): nivel de carga: Lipo 1400mAh - 35/50C

llena

Configuración: 4 S 2 P

Capacidad por celda: 14000 mAh

descarga max.: 65%

Resistencia: 0.0011 Ohm

Voltaje: 3.7 V

capacidad C de descarga: 35 C continua / 50 C de pico

Peso: 359 g / 12.7 oz

Variador

Tipo: max 30A

Corriente: 30 A cont. / 30 A max.

Resistencia: 0.008 Ohm

Peso: 40 g / 1.4 oz

Accesorios: 2 A

Consumo de corriente: 2 A

Peso: 3000 g / 105.8 oz

Motor

Fabricante - Tipo (KV) - refrigeración: Cobra - CM-4006/24 (750)

buena

KV (w/o torque): 750 rpm/V

Corriente sin hélice: 0.97 A @ 12 V

Límite (hasta 15s): 355 W

Resistencia: 0.062 Ohm

Longitud caja: 24 mm / 0.94 inch

nº Polos mag.: 22

Peso: 93 g / 3.3 oz

Hélice

Tipo de hélice: Generic - normal

Asistente KV hélice

Peso: 11 inch / 279.4 mm

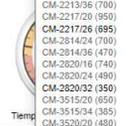
Paso: 4 inch / 101.6 mm

número de palas: 2

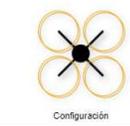
Const. de Potencia/Empuje: 1.06 / 1.0

Gear Ratio: 1 : 1

Calcular



Observaciones: Batería: CM-4006/24 (750) Motor al Máximo: 16.29 A Motor @ Hover: 7.11 A Motorización Total: 4330 g Multicóptero: 5000 g

General

Peso del modelo: 2000 g con Motorización

70.5 oz

Nº de rotores: 8

Tamaño del armazon: 450 mm / 17.72 inch

coaxial

Límite de inclinación de la FCU: sin límite

Altura del campo: 500 m ASL / 1640 ft ASL

Temp. aire: 25 °C / 77 °F

Presión (QNH): 1013 hPa / 29.91 inHg

Celdas batería

Tipo (Cont./max.C): nivel de carga: Lipo 1400mAh - 35/50C

llena

Configuración: 4 S 2 P

Capacidad por celda: 14000 mAh

descarga max.: 65%

Resistencia: 0.0011 Ohm

Voltaje: 3.7 V

capacidad C de descarga: 35 C continua / 50 C de pico

Peso: 359 g / 12.7 oz

Variador

Tipo: max 30A

Corriente: 30 A cont. / 30 A max.

Resistencia: 0.008 Ohm

Peso: 40 g / 1.4 oz

Accesorios: 2 A

Consumo de corriente: 2 A

Peso: 3000 g / 105.8 oz

Motor

Fabricante - Tipo (KV) - refrigeración: Cobra - CM-4006/24 (750)

buscando

KV (w/o torque): 750 rpm/V

Corriente sin hélice: 0.97 A @ 12 V

Límite (hasta 15s): 355 W

Resistencia: 0.062 Ohm

Longitud caja: 24 mm / 0.94 inch

nº Polos mag.: 22

Peso: 93 g / 3.3 oz

Hélice

Tipo de hélice: Generic - normal

0°

Asistente KV hélice

Peso: 11 inch / 279.4 mm

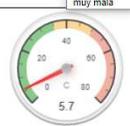
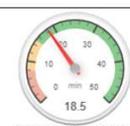
Paso: 4 inch / 101.6 mm

número de palas: 2

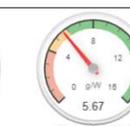
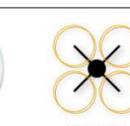
Const. de Potencia/Empuje: 1.06 / 1.0

Gear Ratio: 1 : 1

Calcular



Observaciones: Batería: CM-4006/24 (750) Motor a eficiencia óptima: 16.29 A Motor al Máximo: 19.64 A Motor @ Hover: 7.11 A Motorización Total: 4330 g Multicóptero: 5000 g

Variador

Tipo: max 30A

Corriente: 30 A cont. / 30 A max.

Resistencia: 0.008 Ohm

Peso: 40 g / 1.4 oz

Accesorios: 2 A

Consumo de corriente: 2 A

Peso: 3000 g / 105.8 oz

Motor

Fabricante - Tipo (KV) - refrigeración: Cobra - CM-4006/24 (750)

buscando

KV (w/o torque): 750 rpm/V

Corriente sin hélice: 0.97 A @ 12 V

Límite (hasta 15s): 355 W

Resistencia: 0.062 Ohm

Longitud caja: 24 mm / 0.94 inch

nº Polos mag.: 22

Peso: 93 g / 3.3 oz

Hélice

Tipo de hélice: Generic - normal

0°

Asistente KV hélice

Peso: 11 inch / 279.4 mm

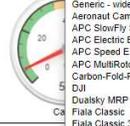
Paso: 4 inch / 101.6 mm

número de palas: 2

Const. de Potencia/Empuje: 1.06 / 1.0

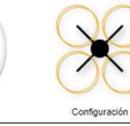
Gear Ratio: 1 : 1

Calcular









Observaciones: Batería: Fiala Electric E3 Motor a eficiencia óptima: 16.29 A Motor al Máximo: 19.64 A Motor @ Hover: 7.11 A Motorización Total: 4330 g Multicóptero: 5000 g

Batería

Carga: 5.68 C

Voltaje: 15.34 V

Tensión nominal: 4.14 V

Energía: 414.4 Wh

Capacidad total: 28000 mAh

Capacidad usada: 18200 mAh

Tiempo mn de vuelo: 6.9 min

Motor a eficiencia óptima

Corriente: 16.29 A

Voltaje: 15.27 V

Revoluciones*: 10631 rpm

Potencia eléctrica: 248.8 W

Potencia mecánica: 214.5 W

Eficiencia: 86.2 %

Motor al Máximo

Corriente: 19.64 A

Voltaje: 15.18 V

Revoluciones*: 10394 rpm

Potencia eléctrica: 298.2 W

Potencia mecánica: 256.6 W

Potencia-Peso: 477.1 W/lb

Motor @ Hover

Corriente: 7.11 A

Voltaje: 15.50 V

Revoluciones*: 6643 rpm

Acelerador (log): 48 %

Acelerador (lineal): 82 %

Potencia eléctrica: 110.2 W

Potencia mecánica: 94.5 W

Motorización Total

Peso de la Motorización: 4330 g

Voltaje: 15.27 V

Empuje-Peso: 1.9 : 1

Corriente en estacionario: 56.87 A

Potencia en estacionario: 882.2 W

Pot. salida en estacionario: 756.3 W

Eficiencia en estacionario: 84.8 %

Multicóptero

Peso total: 5000 g

Peso: 176.4 oz

máximo peso adicional: 3312 g

116.8 oz

53°

velocidad máxima: 83 km/h

39.1 mph

Continuación del anexo 1.

Hélice

Tipo de hélice: Generic - normal 0°

Diámetro: 11 inch
279.4 mm

Peso: 4 inch
101.6 mm

número de palas: 2

Const. de Potencia/Empuje: 1.06 / 1.0

Gear Ratio: 1 : 1

[Calcular](#)


Carga: 5.7


Tiempo de vuelo estacionario: 18.5


Potencia eléctrica: 298


Temperatura ext.: 47


Empuje-Peso: 1.9


Empuje específico: 5.67


Configuración

Observaciones:

Batería

Carga: 5.68 C

Voltaje: 15.34 V

Tensión nominal: 14.80 V

Energía: 414.4 Wh

Capacidad total: 20000 mAh

Capacidad usada: 18200 mAh

Tiempo min de vuelo: 6.9 min

tiempo medio de vuelo: 15.9 min

Tiempo de vuelo estacionario: 18.5 min

Peso: 2872 g

101.3 oz

Motor a eficiencia óptima

Corriente: 16.29 A

Voltaje: 15.27 V

Revoluciones*: 10631 rpm

Potencia eléctrica: 248.8 W

Potencia mecánica: 214.5 W

Eficiencia: 86.2 %

Motor al Máximo

Corriente: 19.64 A

Voltaje: 15.18 V

Revoluciones*: 10394 rpm

Potencia eléctrica: 298.2 W

Potencia mecánica: 256.6 W

Potencia-Peso: 477.1 W/kg

216.4 W/lb

Eficiencia: 86.0 %

Temperatura ext.: 47 °C

117 °F

Medidas de potencia

Intensidad: 157.12 A

Voltage: 15.34 V

Potencia: 2410.2 W

Motor @ Hover

Corriente: 7.11 A

Voltaje: 15.50 V

Revoluciones*: 6643 rpm

Acelerador (log): 48 %

Acelerador (lineal): 62 %

Potencia eléctrica: 110.2 W

Potencia mecánica: 94.5 W

Potencia-Peso: 178.4 W/kg

80.9 W/lb

Eficiencia: 85.8 %

est. Temperatura: 33 °C

91 °F

Empuje específico: 5.67 g/W

0.2 oz/W

Motorización Total

Peso de la Motorización: 4330 g

152.7 oz

Empuje-Peso: 1.9 : 1

Corriente en estacionario: 56.87 A

Pot(entrada) en estacionario: 892.2 W

Pot(salida) en estacionario: 756.3 W

Eficiencia en estacionario: 84.8 %

Corriente al máximo: 157.13 A

Potencia(entrada) al máximo: 2465.1 W

Potencia(salida) al máximo: 2052.5 W

Eficiencia al máximo: 83.3 %

Multicóptero

Peso total: 5000 g

176.4 oz

máximo peso adicional: 3312 g

116.8 oz

inclinación máxima: 53 °

velocidad máxima: 63 km/h

39.1 mph

Rango estimado: - m

Trepada estimada: - m

1260 ft/min

Area total del disco: 24.52 dm²

380.06 in²

Fallo del motor: ✔


Carga: 5.7


Tiempo de vuelo estacionario: 18.5


Potencia eléctrica: 298


Temperatura ext.: 47


Empuje-Peso: 1.9


Empuje específico: 5.67


Configuración

Observaciones:

Batería

Carga: 5.68 C

Voltaje: 15.34 V

Tensión nominal: 14.80 V

Energía: 414.4 Wh

Capacidad total: 20000 mAh

Capacidad usada: 18200 mAh

Tiempo min de vuelo: 6.9 min

tiempo medio de vuelo: 15.9 min

Tiempo de vuelo estacionario: 18.5 min

Peso: 2872 g

101.3 oz

Motor a eficiencia óptima

Corriente: 16.29 A

Voltaje: 15.27 V

Revoluciones*: 10631 rpm

Potencia eléctrica: 248.8 W

Potencia mecánica: 214.5 W

Eficiencia: 86.2 %

Motor al Máximo

Corriente: 19.64 A

Voltaje: 15.18 V

Revoluciones*: 10394 rpm

Potencia eléctrica: 298.2 W

Potencia mecánica: 256.6 W

Potencia-Peso: 477.1 W/kg

216.4 W/lb

Eficiencia: 86.0 %

Temperatura ext.: 47 °C

117 °F

Medidas de potencia

Intensidad: 157.12 A

Voltage: 15.34 V

Potencia: 2410.2 W

Motor @ Hover

Corriente: 7.11 A

Voltaje: 15.50 V

Revoluciones*: 6643 rpm

Acelerador (log): 48 %

Acelerador (lineal): 62 %

Potencia eléctrica: 110.2 W

Potencia mecánica: 94.5 W

Potencia-Peso: 178.4 W/kg

80.9 W/lb

Eficiencia: 85.8 %

est. Temperatura: 33 °C

91 °F

Empuje específico: 5.67 g/W

0.2 oz/W

Motorización Total

Peso de la Motorización: 4330 g

152.7 oz

Empuje-Peso: 1.9 : 1

Corriente en estacionario: 56.87 A

Pot(entrada) en estacionario: 892.2 W

Pot(salida) en estacionario: 756.3 W

Eficiencia en estacionario: 84.8 %

Corriente al máximo: 157.13 A

Potencia(entrada) al máximo: 2465.1 W

Potencia(salida) al máximo: 2052.5 W

Eficiencia al máximo: 83.3 %

Multicóptero

Peso total: 5000 g

176.4 oz

máximo peso adicional: 3312 g

116.8 oz

inclinación máxima: 53 °

velocidad máxima: 63 km/h

39.1 mph

Rango estimado: - m

Trepada estimada: - m

1260 ft/min

Area total del disco: 24.52 dm²

380.06 in²

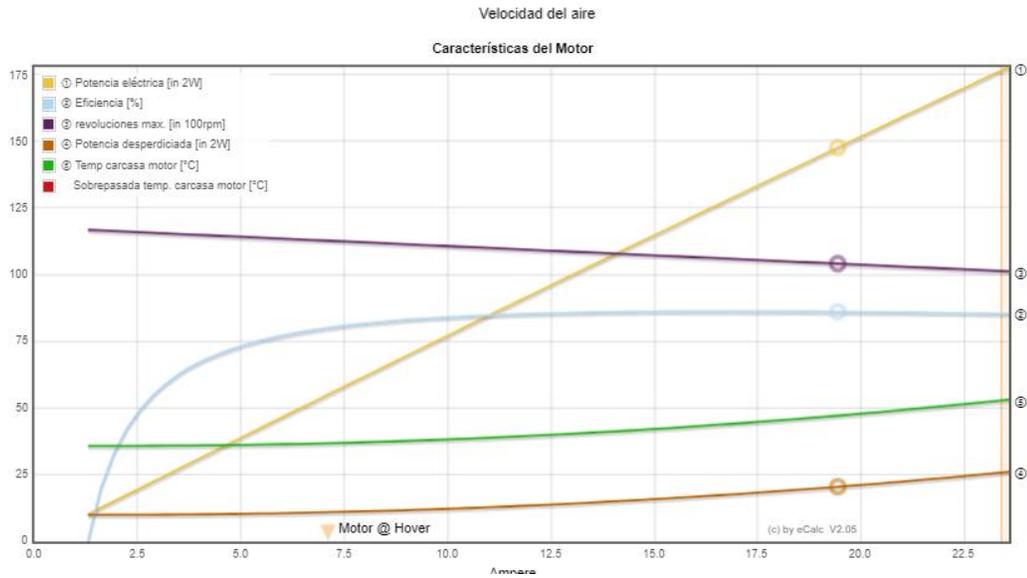
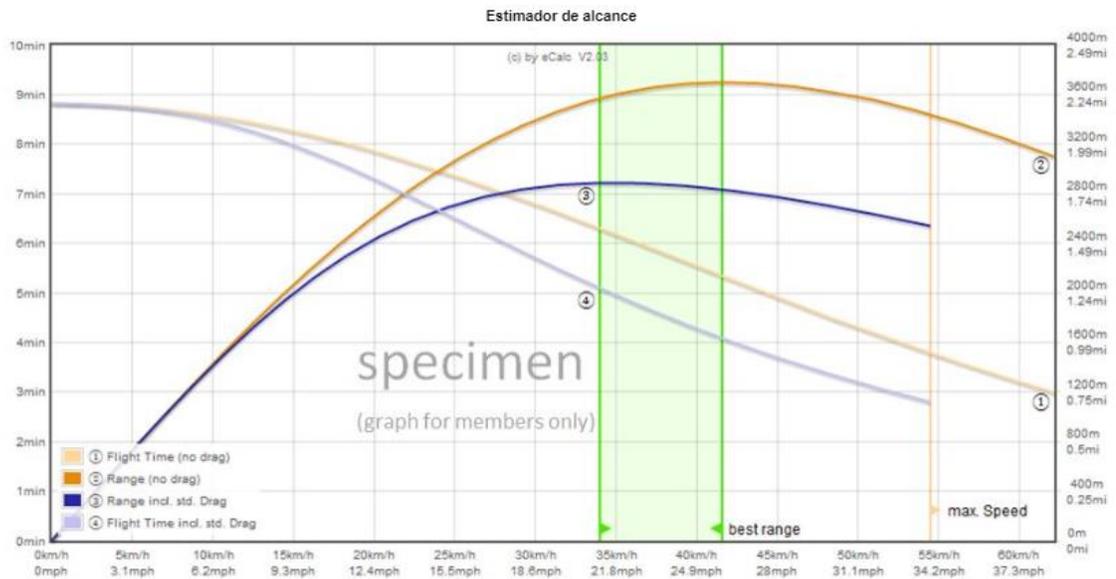
Fallo del motor: ✔

[compartir](#)

[Añadir a >>](#) [Descargar csv \(0\)](#) [<< Borrar](#)

Estimador de alcance

Continuación del anexo 1.



Nota. Resultados de los drones. Obtenido de eCalc. (s.f.). *Reliable electric drive simulations.* (<https://www.ecalc.ch/xcoptercalc.php>), consultado el 14 de agosto de 2023.