

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



Diseño de un sistema de pulverización aérea de agroquímicos para el control de plagas en plantas gramíneas

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Juan Oliver Bustamante Esquen

ASESOR

Rodolfo Arturo Garcia Uhofen

<https://orcid.org/0000-0002-9541-6257>

Chiclayo, 2024

**Diseño de un sistema de pulverización aérea de
agroquímicos para el control de plagas en plantas
gramíneas**

PRESENTADA POR

Juan Oliver Bustamante Esquen

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Lucio Antonio Llontop Mendoza

PRESIDENTE

Luis Gonzales Bazan

SECRETARIO

Rodolfo Arturo Garcia Uchofen

VOCAL

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a mis padres, cuyo apoyo incondicional y guía me permitieron superar los momentos más difíciles.

A mi tía, Clara Esquen Zelada que me crio como una madre, y a quien perdí hace unos años atrás. Su memoria siempre será una fuente de inspiración para mí.

A mi abuela, Yolanda Gregoria Zelada Rodas, por su amor y cuidado incondicional.

A mis amigos y compañeros, quienes nunca me dejaron solo y me brindaron su apoyo incondicional.

Agradecimientos

Mi más profundo agradecimiento a todas las personas que formaron parte de mi proceso universitario, acompañándome siempre en cada escalón que subía.

A mi asesor, quien siempre me ofreció su apoyo para mejorar mi trabajo y estuvo disponible para resolver mis dudas.

A los ingenieros que compartieron su conocimiento y me brindaron consejos muy valiosos para crecer en mi vida profesional.

A mis familiares, por su constante apoyo y motivación a lo largo de todo este camino.

Diseño de un sistema de pulverización aérea de agroquímicos para el control de plagas en plantas gramíneas.

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	13%	3%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1%
5	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1%
8	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%

Índice

Abstract	14
I. Introducción	15
II. Objetivos	16
2.1. Objetivo General	16
2.2. Objetivos específicos.....	17
III. Revisión de literatura	17
3.1. Antecedentes	17
3.2. Agroquímicos	19
3.2.1. Grado de toxicidad.....	19
3.3. Métodos de aplicación.....	20
3.3.1. Aspersión	20
3.3.2. Pulverización.....	20
3.4. Manejo sanitario.....	21
3.4.1. Riesgos en el personal.....	21
3.4.2. Equipos de protección.....	22
3.5. Drones (UAV) (UAS).....	23
3.6. Características de los drones (UAV)	24
3.6.1. Esqueleto o chasis	25
3.6.2. Motores	25
3.6.3. Hélices.....	26
3.6.4. Geometría de la hélice	27
3.6.5. Características de las curvas de las hélices	28
3.6.6. Batería.....	28
3.6.7. ESC (control de velocidad del motor)	29
3.6.8. Controlador de vuelo.....	30
3.7. Clasificación de los drones.....	30
3.7.1. Ala fija	30
3.7.2. Ala rotatoria o multirotor	31
3.8. clasificación de las propelas o hélices.....	31
3.8.1. Cubiertas o protegidas.....	32
3.8.2. Parcialmente cubiertas	32
3.8.3. Expuestas	33
3.9. Comparativa de los multirotores	34
3.9.1. Tricópteros	34

3.9.2.	Cuadricópteros	34
3.9.3.	Hexacópteros.....	35
3.9.4.	Octacópteros	36
3.10.	Sistema de navegación aérea	36
3.10.1.	Velocidad.....	36
3.10.2.	Potencia.....	37
3.10.3.	Potencia en un solo punto	38
3.10.4.	cálculo de baterías.....	39
3.10.5.	Tiempo de vuelo.....	39
3.10.6.	Corriente máxima.....	39
3.10.7.	Corriente en vuelo.....	39
3.10.8.	Potencia consumida	40
3.11.	Sistema de pulverización.....	40
3.11.1.	Boquillas	40
3.11.4.	Ángulo de aspersion.....	41
3.11.5.	Bombas	41
IV.	Marco metodológico.....	42
4.1.	Tipo y nivel de investigación	42
4.1.1.	Tipo de investigación	42
4.1.2.	Nivel de investigación.....	42
4.1.3.	Enfoque de la investigación	42
4.2.	Técnica e instrumentos.....	43
4.3.	Población y muestra	43
4.3.1.	Población.....	43
4.3.2.	Muestra	43
4.4.	Métodos y diseño de investigación	43
V.	Materiales y métodos.....	50
5.1.	Sistemas de pulverización	50
5.1.1.	Pulverizadores manuales.....	50
5.1.1.1.	Mochila pulverizadora manual	50
5.1.1.2.	Mochila pulverizadora eléctrica	50
5.1.2.	Pulverizadores de arrastre	51
5.1.2.1.	Pulverizadores de barras	51
5.1.2.2.	Pulverizadores centrífugos o de disco rotativos	52
5.1.2.3.	Pulverizadores turboatomizadores.....	52

5.1.3.	Pulverizadores aéreos.....	53
5.1.3.1.	Aviones pulverizadores.....	53
5.1.3.2.	Helicópteros pulverizadores	54
5.1.3.3.	Drones agrícolas	54
5.1.4.	Pulverizadores autopropulsados.....	55
5.1.5.	Ventajas y desventajas.....	55
5.1.6.	Matriz ponderada	57
5.1.7.	Conclusión	57
5.1.8.	Población.....	57
5.2.	Condiciones climáticas.....	64
5.2.1.	Delimitación de ubicación geográfica	64
5.2.2.	Temperatura	65
5.2.3.	Humedad.....	66
5.2.4.	Precipitaciones.....	67
5.2.5.	Velocidad del viento	68
5.2.6.	Presión atmosférica local.....	69
5.2.7.	Dirección de velocidad del viento	70
5.3.	Diseño Estructural.....	72
5.3.1.	Matriz morfológica	72
5.3.2.	Combinación de los diseños	73
5.3.2.1.	Diseño 1.....	73
5.3.2.2.	Diseño 2.....	73
5.3.2.3.	Diseño 3.....	74
5.3.3.	Cuadro de ventajas y desventajas	74
5.3.4.	Matriz Ponderada.....	75
5.3.5.	Bosquejo	75
5.3.6.	Materiales y Propiedades.....	76
5.3.6.1.	Estudio de propiedades.....	78
5.3.6.2.	Criterio	78
5.3.6.3.	Conclusión.....	79
5.3.7.	Análisis estático estructural	79
5.3.8.	Conclusión	81
5.3.9.	Análisis de Fatiga	81
5.3.10.	Conclusión	83
5.3.11.	Componentes	84

5.3.11.1. Motor.....	84
5.3.11.2. Batería	85
5.3.12. Sistema de fumigación.....	85
5.3.13. Resultado final.....	86
5.4. Perfil Aerodinámico	86
5.4.1. Geometría de la hélice	86
5.4.2. Mallado	87
5.4.7. Perfil aerodinámico del chasis del dron.....	91
5.4.8. Conclusión	94
5.4.9. Resultados.....	94
5.5. Factibilidad económica	96
5.5.1. Material.....	97
5.5.2. Costos para el diseño del dron	97
5.5.3. Depreciación contable.....	97
5.5.4. Tasa mínima de retorno.....	98
5.5.5. Situación en proyecto fabricado.....	98
5.5.6. Conclusión.....	98
VI. Discusión	99
VII. Conclusiones	99
VIII. Recomendaciones	100
IX. Referencias.....	101
X. Anexos.....	103

Lista de figuras

Figura 1: Agroquímicos	19
Figura 2: Grados de toxicidad.....	20
Figura 3: Riego mediante Aspersión.....	20
Figura 4: Pulverizado de agroquímicos	21
Figura 5: Personal equipado.....	22
Figura 6: Equipo de protección.....	23
Figura 7: Dron (UAV).....	24
Figura 8: Características de un dron	25
Figura 9: Chasis de un dron	25
Figura 10: Motor brushless	26
Figura 11: Hélices de un dron	27
Figura 12: Partes de una pala Fuente: Tesis (Julio Ramírez – 2018).....	27
Figura 13: Curvas características de la hélice. Fuente: Tesis (Julio Ramírez – 2018).....	28
Figura 14: Batería de un dron	29
Figura 15: ESC.....	29
Figura 16: Controlador de vuelo	30
Figura 17: Dron de ala fija	31
Figura 18: Dron multirotor.....	31
Figura 19: Hélice cubierta.....	32
Figura 20 Propelas parcialmente cubiertas	33
Figura 21 Hexacóptero propelas expuestas.....	33
Figura 22 Tricóptero	34
Figura 23: Cuadricóptero	35
Figura 24: Hexacóptero.....	35
Figura 25: Octacóptero	36
Figura 26: Ángulos de aspersión.....	41
Figura 27: Mochila Pulverizadora	50
Figura 28: Mochila pulverizadora eléctrica	51
Figura 29: Pulverizadores de barra	51
Figura 30: Pulverizadores centrífugos o de discos rotativos	52
Figura 31: Turboatomizador	53
Figura 32: Avión pulverizador	53
Figura 33: Helicóptero pulverizador.....	54
Figura 34: Dron Pulverizador	54
Figura 35: Pulverizador autopropulsado	55
Figura 36: Distrito de Nueva Arica.....	65
Figura 37: Dirección del viento en grados	71
Figura 38: Tanque de agua	76
Figura 39: Chasis armado del dron	76
Figura 40: Aplicación 400 N.....	80
Figura 41: Deformación a escala real	80
Figura 42: Von-Mises.....	81
Figura 43: Ciclo de Vida	82
Figura 44: Daño	82
Figura 45: Factor de seguridad	83
Figura 46: Sensibilidad de fatiga	83

Figura 47: Rotor sin escobillas	84
Figura 48: Tanque	86
Figura 49: Alabe del rotor	87
Figura 50: Mallado de la hélice	87
Figura 51: Dominio Estático	88
Figura 52: Dominio dinámico	89
Figura 53: Presión de pala.....	90
Figura 54: Presión en la hélice.....	90
Figura 55: Velocidad	91
Figura 56: Parámetros para la simulación.....	92
Figura 57: Sistemas de unidades.....	92
Figura 58: Simulación del perfil aerodinámico	93
Figura 59: Velocidad del dron.....	94
Figura 60:Helice.....	95
Figura 61: Parámetros de la simulación.....	95
Figura 62: Parámetros referenciales.....	96
Figura 63:Simulación referencial.....	96

Lista de tablas

Tabla 1: Comparativa de motores	41
Tabla 2: Cuadro de hipótesis.....	46
Tabla 3: Ventajas y desventajas de los sistemas de pulverización.	55
Tabla 4: Pulverizadores aéreos ventajas y desventajas	56
Tabla 5: Temperatura promedio	65
Tabla 6: Humedad Relativa Promedio	66
Tabla 7: Precipitaciones en (mm/mes) promedio.....	67
Tabla 8: Velocidad promedio a 10 metros.....	68
Tabla 9: Promedio de presión en KPA	69
Tabla 10: Dirección del viento	70
Tabla 11: Matriz morfológica	72
Tabla 12: Estructuras de líneas	73
Tabla 13: Ventajas y desventajas de los posibles diseños	74
Tabla 14: Matriz pondera de los diseños.....	75
Tabla 15: Material de referencia	77
Tabla 16:Propiedades del Aluminio 3003	77
Tabla 17: Propiedades del aluminio 7075 T6 SS	77
Tabla 18: Propiedades del aluminio 6061	77
Tabla 19: Estudio de propiedades en relación al material de referencia.....	78
Tabla 20: Resumen de propiedades.....	78
Tabla 21: Propiedades del Aluminio 7075 T6 chapa SS.....	79
Tabla 22: Especificaciones tecnicas del motor	84
Tabla 23:Especificaciones tecnicas de la bateria	85
Tabla 24:Resultados del diseño.....	86
Tabla 25: Parámetros de la simulación de la hélice	89
Tabla 26: Parámetros del SolidWorks	93
Tabla 27:Tabla comparativa	95
Tabla 28: Tabla comparativa (CFD-SolidWorks).....	96
Tabla 29: Costos para la fabricación del dron.....	97
Tabla 30:Caja de flujo	97
Tabla 31:Resultado de la epreciación contable	97
Tabla 32: Tabla de criterios	98
Tabla 33:Proyecto fabrica (Situación)	98

Lista de gráficas

Gráfica 1: Porcentaje de pregunta “1” de encuesta.....	58
Gráfica 2: Porcentaje de pregunta “2” de encuesta.....	59
Gráfica 3: Porcentaje de pregunta “3” de encuesta.....	59
Gráfica 4: Porcentaje de pregunta “4” de encuesta.....	60
Gráfica 5: Porcentaje de pregunta “5” de encuesta.....	60
Gráfica 6: Porcentaje de pregunta “6” de encuesta.....	61
Gráfica 7: Porcentaje de pregunta “7” de encuesta.....	62
Gráfica 8: Porcentaje de pregunta “8” de encuesta.....	62
Gráfica 9: Porcentaje de pregunta “9” de encuesta.....	63
Gráfica 10: Porcentaje de pregunta “10” de encuesta.....	63
Gráfica 11: Porcentaje de pregunta “11” de encuesta.....	64
Gráfica 12: Promedio de temperaturas	66
Gráfica 13: Promedio de humedad relativa	67
Gráfica 14: Promedio de precipitaciones en (mm/mes).....	68
Gráfica 15: Velocidad promedio del viento	69
Gráfica 16: Promedio de la presión de superficie en KPA	70
Gráfica 17: Promedio de la dirección en grados.....	71
Gráfica 18: Grafica de estudio de propiedades	79

Resumen

En la agricultura se requiere de herramientas e instrumentos para poder tener un mejor control sobre las plagas y con ello promover el crecimiento sano de los cultivos, pero muchas de estas herramientas presentan limitaciones, como la mochila pulverizadora manual y los sistemas de riego con alcance limitado. Esto genera gran desperdicio de agroquímicos y una falta de control efectivo de las plagas cuando estos alcanzan un tamaño considerable.

Para poder abordar esta problemática, este proyecto se enfocó en diseñar un sistema no tripulado de pulverización aérea para la fumigación de plantas gramíneas. Para poder determinar el diseño se realizó una encuesta para poder explorar las necesidades de los agricultores y con ello los requisitos del diseño. Además, se determinó los datos climatológicos obteniendo parámetros de temperatura, velocidad de viento importantes para el mismo.

Se utilizó una matriz morfología para seleccionar los componentes del diseño en SolidWorks, el material se determinó mediante un estudio de propiedades, por lo que se seleccionó el Aluminio 7075 T6 SS para el chasis. El análisis de esfuerzo y aerodinámica, se llevó a cabo en los programas ANSYS y SolidWorks. Los resultados obtenidos indican que el cuadricóptero tendrá una velocidad máxima de 45,75 m/s con un costo de fabricación de S/24,240.

Palabras claves: Plagas, agroquímicos, precisión, drones, eficiencia.

Abstract

In agriculture, tools and instruments are required to have better control over pests and thereby promote the healthy growth of crops, but many of these tools have limitations, such as the manual backpack sprayer and irrigation systems with limited reach. . This generates great waste of agrochemicals and a lack of effective pest control when they reach a considerable size.

In order to address this problem, this project focused on designing an unmanned aerial spray system for the fumigation of grass plants. In order to determine the design, a survey was carried out to explore the needs of farmers and thus the design requirements. In addition, the climatological data were determined, obtaining important temperature and wind speed parameters for it.

A morphology matrix was used to select the design components in SolidWorks, the material was determined through a properties study, so Aluminum 7075 T6 SS was selected for the chassis. The stress and aerodynamics analysis was carried out in the ANSYS and SolidWorks programs. The results obtained indicate that the quadcopter will have a maximum speed of 45.75 m/s with a manufacturing cost of S/24,240.

Keywords: Pests, agrochemicals, precision, drones, efficiency

I. Introducción

Actualmente, los vehículos no tripulados (UAV) se han vuelto cada vez más populares en diversos campos, incluyendo el periodismo, la ayuda en rescate de personas y la agricultura. En este último campo, los drones están desempeñando un papel fundamental para la realización de varios procesos fitosanitarios. [1]

Sin embargo, los agricultores a menudo no poseen un conocimiento adecuado en cuanto a la contaminación, pues el uso excesivo de los agroquímicos tiene consecuencias negativas como problemas de salud, pérdidas innecesarias de pesticidas, así como también la presencia de contaminación en las tierras de cultivo. [2]

A pesar de esto, la gran demanda alimentaria genera una necesidad de poder acelerar los procesos de germinación, producción y desarrollo en los agricultores, lo que genera que el control de plagas en los cultivos sea sumamente esencial. Es por ello, que la maquinaria agrícola juega un papel clave en este proceso, ya que sin ella no se podría satisfacer los requisitos de los mercados. [3]

Las herramientas manuales si bien es cierto, aunque no generan contaminación alguna, presentan grandes limitaciones con respecto al control de plagas y enfermedades en los cultivos, pues a medida que estos crecen la aplicación de agroquímicos se vuelve más difícil y peligrosa para los trabajadores encargados. Lo cual puede generar pérdidas económicas y escasez de productos en los mercados. [2]

Es por eso que se necesita implementar una alternativa diferente, más segura y a la vez eficiente para el control de plagas en los cultivos. La potencial solución sería un sistema de automatizado aéreo por lo cual el objetivo será diseñar un sistema de pulverización aérea de agroquímicos usando SolidWorks, teniendo en cuenta que los drones tienen la capacidad de poder llegar a áreas de difícil acceso y pulverizar de manera más uniforme, lo cual resulta en un gran beneficio para el agricultor, pues tendrá una mejor eficacia en el control de plagas y una producción de cultivos más abundante y saludable. [4]

Para poder lograr tal objetivo necesitamos tener una visión más clara de los diferentes sistemas que se vienen implementando dentro de la agricultura peruana, para ello se debe llevar a cabo uno de los primeros objetivos específicos, realizar un diagnóstico actual del sistema de pulverización en el área de agroquímicos

mediante revisión de literatura relacionada con el tema, con la finalidad de tener un contexto más amplio del área de cultivos y con ello poder corroborar dichas limitaciones que presentan cada uno de estos sistemas, proporcionando una base sólida para el nuevo diseño de sistema de pulverización.

Además, es sumamente importante tener presente las condiciones climáticas en donde se llevará a cabo la pulverización aérea, pues de esto depende muchos factores como lo son, la velocidad del viento, humedad, temperatura que pueden afectar de manera directa la eficiencia de pulverizado del dron, para ello se llevarán a cabo estudios detallados con la finalidad de poder determinar las condiciones específicas del área prevista, esto permitirá establecer mejores prácticas para así garantizar un proceso adecuado de pulverización. Teniendo en cuenta estos dos primeros objetivos, se procederá a realizar el diseño estructural utilizando el software SolidWorks, objetivo fundamental del proyecto. Esto implica de manera detallada la creación de modelos 3D que puedan cumplir con los requisitos de resistencia, equilibrio y peso necesario para que pueda levantar vuelo el dron, el diseño debe asegurar un óptimo funcionamiento dentro del campo, siendo eficiente, sólido y rápido.

La aerodinámica juega un papel crucial dentro del rendimiento de todo tipo de aeronave, para lograr un buen desempeño se requiere una evaluación del perfil aerodinámico tanto del chasis como el de los alabes del rotor, para realizar tal objetivo se realizará todos los estudios correspondientes con el fin de lograr una menor resistencia al viento. Además, los resultados obtenidos se validarán con estudios e investigaciones relacionados a la pulverización de agroquímicos. Asegurando que el nuevo sistema presente una mejora significativa dando un plus en la agricultura y mejorando con ello las actuales prácticas que se vienen realizando dentro de este campo.

Finalmente, se analizará la factibilidad económica a través de un análisis detallado, con el objetivo de observar la viabilidad del proyecto en términos de inversión, asegurando con ello que el diseño propuesto no solo sea técnicamente viable, sino también sostenible en termino económicos.

II. Objetivos

2.1. Objetivo General

- ✓ Diseñar un sistema de pulverización aérea de agroquímicos que brinde un control de plagas eficiente para plantas gramíneas.

2.2.Objetivos específicos

- ✓ Diagnosticar la situación actual del sistema de pulverización en el área de agroquímicos.
- ✓ Evaluar las condiciones ambientales del área que será sometida a pulverización.
- ✓ Diseñar el sistema estructural mediante el software SolidWorks
- ✓ Evaluar el perfil aerodinámico tanto del chasis como el de los álabes de los rotores y validar resultados.
- ✓ Analizar la factibilidad económica del sistema de pulverización.

III. Revisión de literatura

3.1.Antecedentes

La presente investigación [5] se enfocó debido a que la empresa Piuranas S.A.C presenta un proceso de fumigación antiguo, lo que provocaba largas horas de fumigación para un cultivo. Por lo cual se propuso utilizar drones para mejorar la productividad en la fumigación de la semilla de arroz IR-43, en la empresa Semillas Piuranas S.A.C. La eficiencia y la eficacia del Dron en las especificaciones técnicas, nos dice que cuenta con una velocidad de aspersion de 8 litros por minuto (100% de trabajo), con una cobertura de 9 metros, logrando fumigar 16 hectáreas por hora. Por consiguiente, según los datos obtenidos el dron realizaría el proceso de fumigación de una hectárea con una cantidad de 30 litros en 3,75 minutos. Debido al dron se logró evidenciar mejoras en el proceso de fumigación, por lo que, al reducir horas de trabajo, permite tener viabilidad económica para la empresa.

El presente trabajo [6] propuso un sistema de pulverización para la fumigación autónoma de plantaciones de frutilla, debido a que los métodos utilizados no brindan un correcto cubrimiento al follaje; por lo cual, con la ayuda de la tecnología (Dron) se realiza este trabajo de una manera más eficiente, esto se resume a una disminución de tiempo y de recursos económicos. Mediante la programación asignada el dron realizó de manera correcta la trayectoria de fumigación, por lo cual, el prototipo muestra un porcentaje del 50% de cobertura, cuyo porcentaje es el recomendado para el tratamiento de fumigación en plantaciones de frutilla. El

dron cumple con la velocidad y la altura de vuelo es la adecuada, para el tratamiento de las plantas, por lo cual deja de lado el uso de mochilas manuales.

Esta investigación [7] se enfocó principalmente en cultivos de papa, siendo el sector primario de desarrollo del país de Colombia, pues son numerosos los agricultores que continúan con métodos tradicionales de fumigación, provocando demora en dicho proceso; por lo que se propuso el diseño de un UAV multirotor para fumigación de papa, con un sistema automatizado. El diseño fue asistido por computadora o CAD, teniendo en cuenta el material del Aluminio aeroespacial de grado 6061-T6, el cual se simuló en el software Xcalc Copter, obteniendo un hexacóptero pulverizador de 48 kg, con carga útil de 20 kg y una autonomía de vuelo de 15 minutos con motores al 75% el cual permite un recorrido de los 130 m². Mediante el programa Xcalc Copter se demostró la factibilidad del diseño del UAV, permitiendo conseguir el factor de equilibrio que facilitó la validación y con ello se maximizó el rango de fumigación y disminuyó los tiempos de fumigación.

La investigación [8] surgió debido a que se presentaron diversas plagas que afectaban al desarrollo de las plantaciones de arroz en el centro poblado la cruceta, por lo que se propuso diseñar un sistema de fumigación aéreo no tripulado (dron hexacóptero) para la aplicación de los productos químicos. Mediante una encuesta realizada se determinó el diseño requerido, en donde el diseño del tanque fue de 15 litros de polímero en SolidWorks y los resultados indican que viaja a una velocidad de 26m/s, con una velocidad de chorro de 2.1m/s, alcanzando un peso de 42,6 kg. El dron cumple con las funciones requeridas en las plantaciones de arroz, y puede ser fabricado en su totalidad, pues existe dicha tecnología en el país.

La presente investigación [9] se basó en los cultivos bananeros en el Perú, debido a que es la fruta que más se exporta a nivel nacional, la empresa de Servicios Generales JB necesitaba ampliar su campo de acción; por lo que se propuso diseñar un Dron Agrícola Fumigador con el fin de incrementar el nivel de competitividad. Mediante los estudios realizados en el SolidWorks, se determinó que cuenta con 6 rotores para poder alcanzar el empuje necesario, teniendo una carga de 15,524 kg, con ello el volumen agroquímico para utilizar en una hectárea fue de 12,48 litros, lo que hace posible su funcionamiento. En los análisis dados por el SolidWorks el

dron cumplió con lo necesario para poder dar ese incremento de producción que buscaba la empresa JB.

3.2. Agroquímicos

Son compuestos que se pueden presentar de forma líquida o en de forma sólida, pueden ser biológico, de origen natural o sintéticos. El propósito por el cual se utilizan es para eliminar, repeler las diferentes enfermedades y plagas que se presentan durante el desarrollo de la planta, lo cual genera retraso y pérdidas de cultivos. Ejemplo de agroquímicos en la figura 1. [2]



Figura 1: Agroquímicos

Fuente: Bayer

3.2.1. Grado de toxicidad

Debido a que poseen una gran capacidad para que puedan causar efectos que perjudiquen no solo la salud de quien lo está aplicando si no también, que puede generar efectos negativos en el medio ambiente. Es por esta razón que los recipientes que contienen estos agroquímicos bien etiquetados con un código de colores que indican el nivel de toxicidad, esta información es de gran ayuda, pues hace que los trabajadores tomen medidas preventivas para utilizarlos. Grados de toxicidad en la figura 2. [2]



Figura 2: Grados de toxicidad

Fuente: Bayer

3.3. Métodos de aplicación

3.3.1. Aspersión

La aspersión es ampliamente utilizada en la agricultura, pues es una técnica que consiste básicamente en dispersar agua o líquidos en forma de gotas de lluvia, simulando así una lluvia suave, lo cual permite un riego uniforme en todo el sembrío. Un riego por aspersión se muestra en la figura 3. [10]



Figura 3: Riego mediante Aspersión

Fuente: Iagua

3.3.2. Pulverización

Es uno de los métodos que más se usan dentro de la agricultura, para la aplicación de agroquímicos, esto se da mediante la

presión generada por una bomba, la cual produce gotas muy finas que van dirigidas hacia el suelo, simulando una niebla muy fina, con ayuda de una boquilla se dispersa de manera uniforme sobre el cultivo. Un ejemplo de un pulverizado se muestra en la figura 4. [11]



Figura 4: Pulverizado de agroquímicos

Fuente: Agricultureros

3.4. Manejo sanitario

El personal encargado de manejar los productos fitosanitarios (sustancias que van destinadas para el cuidado de la planta) los cuales destruyen de forma directa diferentes tipos de vida que se encuentran en el lugar de aplicación como: insectos, moluscos, ácaros, roedores y otras diferentes formas de vida, siendo estos sumamente perjudiciales para la salud de los consumidores y también para los propios agricultores. Incluyendo aquí, insecticidas, fungicidas, desecantes, plaguicidas y otras sustancias que se usan para el crecimiento vegetal. [12]

3.4.1. Riesgos en el personal

Los agricultores al estar expuestos de manera directa con los agroquímicos utilizados en el tratamiento de plagas son especialmente vulnerables, pues al no contar con los equipos adecuados para realizar dicho trabajo ponen en riesgo su salud, un estudio realizado sobre las plaguicidas a nivel mundo, nos señala mediante pruebas de sangre diferentes tipos de sustancias encontradas, por lo que el dar a conocer los riesgos será

beneficiosos para ellos. Ejemplo de un trabajador con todos sus equipos de protección en la figura 5. [13]



Figura 5: Personal equipado

Fuente: Farmagro

3.4.2. Equipos de protección

Para la preparación de la mezcla del agroquímico, el personal encargado debe contar todos los equipos de protección, para así evitar cualquier riesgo de contaminación que ponga en peligro su salud. Equipos de protección en la figura 6. [2]



Figura 6: Equipo de protección

Fuente: Tesis (Omar Rojas – 2004)

3.5. Drones (UAV) (UAS)

También conocidos como vehículos aéreos no tripulados (Unmanned Aerial Vehicle - UAV) y en sus siglas UAS “Unmanned Aircraft System” como sistemas aéreos no armados, estos robots se presentan en diferentes tamaños desde pequeños hasta lo más grandes que son los de carga, son dispositivos que pueden ser usados en espacios confinados hasta para volar miles de kilómetros. Ofrecen una serie de ventajas, pues son económicos y fácil de usar, brindando así a los diferentes usuarios miles de opciones facilitando diferentes trabajos. Dron UAV en la figura 7. [14]



Figura 7: Dron (UAV)

Fuente: Dron Dreams Perú

3.6. Características de los drones (UAV)

Como bien se conoce, el usar término “Dron” es sumamente amplio y engloba una gran variedad de vehículos, lo que conlleva a grandes diferencias entre ellos. Aunque el utilizar el acrónimo (UAV) se refiere únicamente a los vehículos que no son tripulado, pues en la actualidad se suele utilizar el término “dron” para así incluir aquellos que se desplazan por otros medios, aunque su apariencia física sea de distinta forma, sus componentes suelen ser similares, por lo que se hará una descripción de estas características. Características de un dron figura 8. [15]

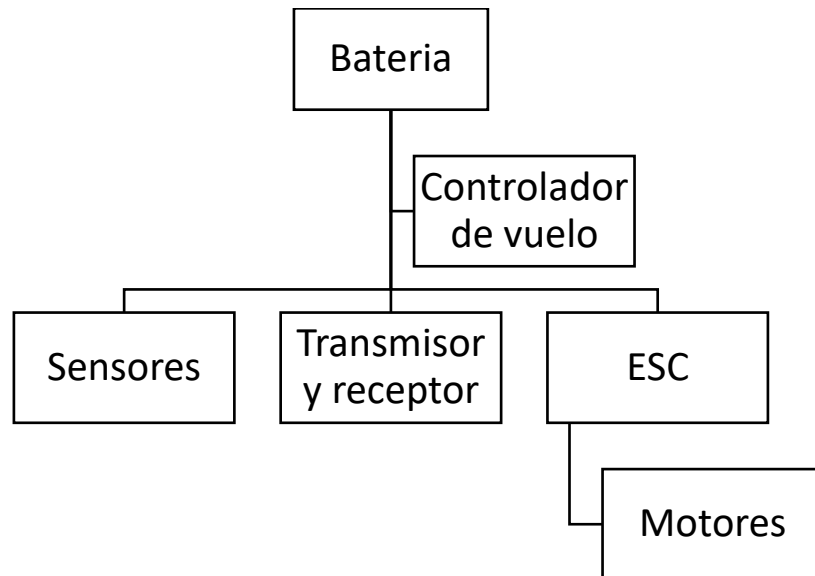


Figura 8: Características de un dron

Fuente: Propia

3.6.1. Esqueleto o chasis

El esqueleto de un dron, es el que le proporciona la estructura y la forma, además aquí es donde se acoplan los diferentes sistemas y mecanismos que permiten su correcto funcionamiento. El chasis puede estar construido de diferentes materiales, pero eso depende del uso para el que se requiera. Chasis de un dron en la figura 9. [16]

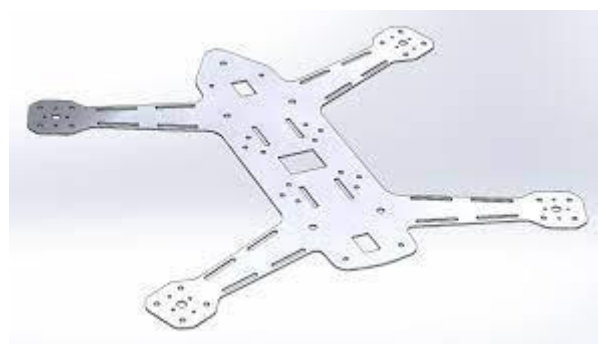


Figura 9: Chasis de un dron

Fuente: Frax Design

3.6.2. Motores

El motor de los drones es el encargado de hacer que las hélices giren y que el dron pueda funcionar. Los motores más usados

comúnmente en los drones, son los de tipo busheles, más conocidos como motores sin escobilla, pues estos motores son los encargados de generar toda la fuerza que estos necesitan para que el dron se eleve desde la superficie hasta una cierta altura y pueda mantenerse estable en el aire. Un motor bushless en la figura 10. [15]



Figura 10: Motor brushless

Fuente: Talos Electronics

3.6.3. Hélices

Mediante la rotación de las hélices se genera un empuje para poder generar una sustentación, lo que le permite al dron mantenerse en el aire en un punto fijo. Este es el principal características de los drones de ala rotatoria, donde esta sustentación se logra gracias al flujo que generan las hélices en movimiento rotatorio. Esto permite tener un vuelo estacionario y preciso en el aérea que se requiera. Las hélices en la figura 11. [17]



Figura 11: Hélices de un dron

Fuente: Aero Expo

3.6.4. Geometría de la hélice

La hélice está compuesta por dos o más palas, y cada una de ellas está formada por una cantidad de secciones o perfiles en la figura 12 vamos a identificar las diferentes partes de la que está compuesta una pala. [18]

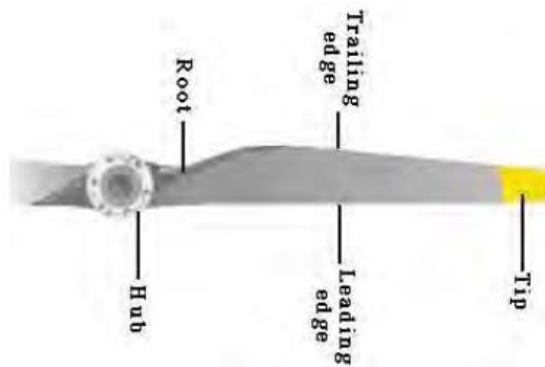


Figura 12: Partes de una pala

Fuente: Tesis (Julio Ramírez – 2018)

- Tip: el extremo más alejado del centro de rotación.
- Hub: unión de las palas o también denominado cabe o cubo.
- Root: parte cercana al eje de rotación o también denominado raíz.
- Trailing edge: conocido como borde de ataque.
- Laiding Edge: borde donde se desprende el flujo de aire

3.6.5. Características de las curvas de las hélices

Los perfiles aerodinámicos se pueden distinguir por las distintas curvas que describen sus propiedades de arrastre (C_d), sustentación (C_l) y eficiencia. Además, la hélice se puede definir por las curvas que muestren su desempeño en términos como potencia (C_p), empuje (C_T) y eficiencia (η). En la figura 13 se podrá observar un ejemplo de estas curvas características. [18]

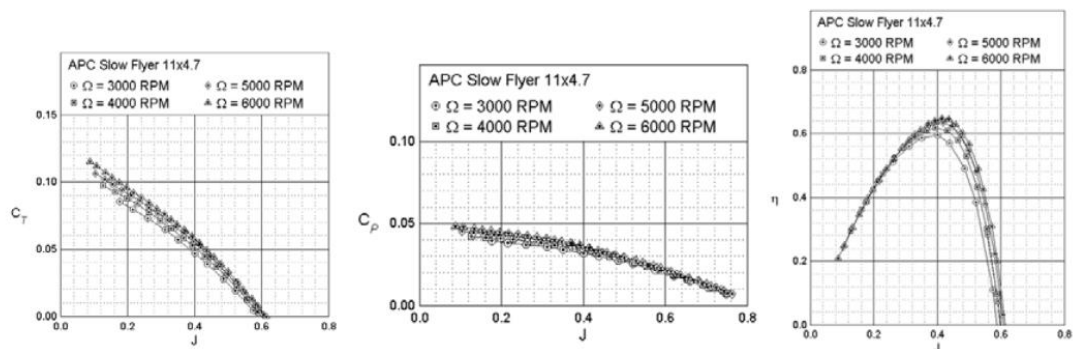


Figura 13: Curvas características de la hélice.

Fuente: Tesis (Julio Ramírez – 2018)

3.6.6. Batería

La batería dentro de un dron es sumamente importante, pues no solo es responsable de suministrar la energía correspondiente a todos los sistemas del dron, sino que también cumple un papel muy importante con respecto al tema de duración de vuelo del vehículo y la eficiencia de los motores. Existen diferentes tipos de baterías utilizadas en dichos vehículos como lo son las baterías de litio (Li-ion) o las baterías de polímero de litio (Lipo). Batería de un dron en la figura 12. [19]



Figura 14: Batería de un dron

Fuente: Aero Expo

3.6.7. ESC (control de velocidad del motor)

Es un componente sumamente importante dentro de la construcción del dron, pues es el encargado de regular y controlar la velocidad de giro del motor de una manera precisa y eficiente. Su principal función es de captar las señales enviadas por el controlador y convertirlas en instrucciones que sean adecuadas para el motor. Además, algunos ESC presentan incorporaciones con respecto al frenado regenerativo, protección contra sobrecalentamiento y sobre corrientes. Un ESC en la figura 13. [20]



Figura 15: ESC

Fuente: TuriBOT

3.6.8. Controlador de vuelo

El controlador de vuelo es el encargado de gestionar y procesar toda la información que proviene de todos los sistemas de recepción que pueda tener el dron, prácticamente es el “cerebro” del dron. Esta toma decisiones y envía las señales necesarias para que el dron pueda mantenerse estable durante el vuelo. Un controlador de vuelo en la ilustración 14. [20]



Figura 16: Controlador de vuelo

Fuente: Gidahatari

3.7. Clasificación de los drones

Los UAVs se clasifican en dos tipos:

3.7.1. Ala fija

Este tipo de drones se encuentran formados por un fuselaje y unas alas que se encuentran fijas, muy similar a los aviones tradicionales, presentando así una gran capacidad de vuelo, permitiendo con ello alcanzar grandes velocidades. Estos por lo general son equipados por motores a combustión interna o turbinas, el cual proporciona toda la potencia requerida para mantenerlos en vuelo durante largos periodos de tiempo. Un dron de ala fija en la figura 15. [21]



Figura 17: Dron de ala fija

Fuente: GEOTEKNIK

3.7.2. Ala rotatoria o multirotor

Estos poseen más de dos rotores o motores, se encuentran formados por una estructura que cuenta con una serie de brazos en donde van los diferentes motores y albergan todos los componentes y la electrónica necesaria para su correcto funcionamiento. Este sistema se basa principalmente en el giro simultaneo o invertido de las hélices, se utilizan al menos 4 hélices que van divididas en dos pares. Un par de hélices que van girando de acuerdo a las agujas del reloj, mientras que el otro par gira en sentido opuesto, esto nos permite crear todo el empuje necesario para poder elevar el multirotor y así mantenerlo estable en vuelo. Dron multirotor en la figura 16. [21]



Figura 18: Dron multirotor

Fuente: dJI

3.8. clasificación de las propelas o hélices

Las propelas se clasifican de la siguiente manera

3.8.1. Cubiertas o protegidas

Este tipo de hélices se caracterizan principalmente por estar totalmente protegidas y aisladas de todo tipo de impactos, este tipo de hélices cuenta con una estructura que envuelve completamente las palas, proporcionando así una mayor seguridad y con ello se reduce la posibilidad de algún tipo de daño o lesión en caso de colisión. Hélice cubierta en la figura 17. [8]

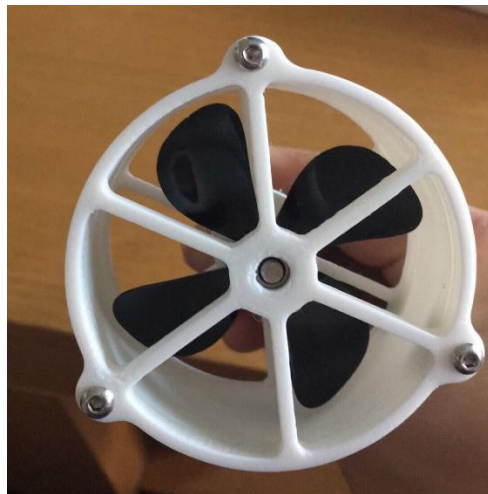


Figura 19: Hélice cubierta

Fuente: From China

3.8.2. Parcialmente cubiertas

A diferencia de las hélices totalmente cubiertas, estas presentan una estructura que cubre solo parcialmente las palas de las hélices, lo que permite que tengan un contacto leve con las superficies. Es necesario conocer que por más que las hélices presenten una cubierta no ofrecen una cobertura completa por lo que aún pueden sufrir daños en caso de colisión. Propelas parcialmente cubiertas en la figura 18. [8]

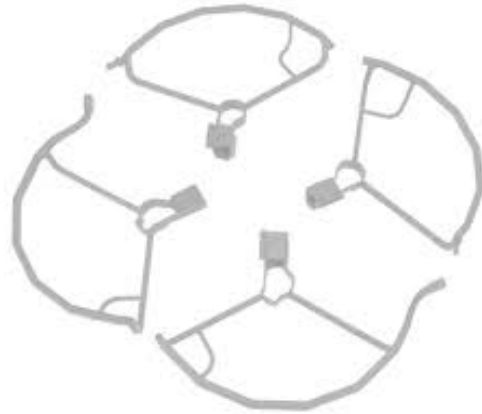


Figura 20 Propelas parcialmente cubiertas

Fuente: Dji Mini 2

3.8.3. Expuestas

Estas se caracterizan por no contar con ninguna forma de protección ante posibles colisiones, este tipo de hélices son encontradas común mente en drones como el Hexacóptero. Propelas expuestas figura 19. [8]



Figura 21 Hexacóptero propelas expuestas

Fuente: Dji

3.9. Comparativa de los multirrotores

3.9.1. Tricópteros

Los tricópteros son vehículos que presentan un chasis de tres brazos, por lo que nos otorgan tres grados de libertad, pero es necesario que lleve un servomotor para que pueda completar así los cuatro grados de libertad. Estos presentan una gran simplicidad de control frente a las demás alternativas que llevan más hélices. Su diseño y configuración permite realizar maniobras de agilidad y tener un nivel aceptable de estabilidad durante su uso en cualquier trabajo a realizar. Un tricóptero en la figura 20. [22]



Figura 22 Tricóptero

Fuente: Xiaomi

3.9.2. Cuadricópteros

Los cuadricópteros presentan un sistema mecánico que posee 6 grados de libertad, el cual otorga ese movimiento en 3 dimensiones, tanto como en posición lineal como también en posición angular, pero a pesar que cuenta con 6 grados de libertad, el cuadricóptero cuenta solamente con 4 entradas de control, y estas son representadas por los cuatro motores o rotores del dron. Esta configuración de 4 rotores otorga una excelente estabilidad y una gran maniobrabilidad cuando el dron se encuentra en vuelo. Un cuadricóptero en la figura 21. [23]



Figura 23: Cuadricóptero

Fuente: DJI Phantom

3.9.3. Hexacópteros

El hexacóptero cuenta con 6 rotores, con tres pares de hélices de paso fijo, el cual permite tener más potencia de carga con respecto a otros drones de menos brazos. El uso de un hexacóptero también nos proporciona una mayor estabilidad en vuelo, pues los rotores adicionales permiten distribuir de manera eficiente la carga útil del dron, lo que nos brinda un mayor transporte de equipos pesados. Un hexacóptero en la figura 22. [24]



Figura 24: Hexacóptero

Fuente: Aero Expo

3.9.4. Octacópteros

Una de las principales ventajas de un octacóptero radica directamente en la redundancia de los motores. En caso de que uno de estos llegue a fallar, el dron puede mantener su estabilidad y realizar un aterrizaje controlado y seguro sin presentar mayor grado de dificultad, lo cual lo hace sumamente confiable, sin embargo, estas disposiciones radiales de los motores pueden tener una gran desventaja, pues consideran una envergadura considerable y esto puede limitar su maniobrabilidad en espacios reducidos. Un octacóptero en la figura 23. [25]



Figura 25: Octacóptero

Fuente: Filmora

3.10. Sistema de navegación aérea

3.10.1. Velocidad

Para poder calcular la velocidad de dicho dron, es necesario establecer una distancia mínima de 20 metros, y de acuerdo a la distancia que recorre, el tiempo se va registrando en segundos, por lo que la velocidad se expresaría en (m/s) y se halla usando la ecuación 1. [1]

$$V = \frac{d (m)}{t (s)} \quad (1)$$

$$v = \text{Velocidad} \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$d = \text{Distancia en metros}$$

$t =$ Tiempo en segundos

3.10.2. Potencia

Para poder calcular la densidad del aire a esa altitud, es necesario utilizar el modelo de atmosfera estándar ISA, dicha densidad de obtiene de la siguiente expresión:

$$\rho_{aire} = \rho_0 \left(1 - \frac{6,5 \times 10^{-3} h}{288,15} \right)^{4,252} \quad (2)$$

$\rho_0 =$ Densidad a nivel estandar del mar $\left(\frac{kg}{m^3} \right)$

$h =$ Maxima altura (m)

La fuerza de tracción que necesita un hexacóptero es la suma total de su peso, su propia masa y carga útil, con la potencia necesaria para que pueda mantenerse en un solo punto.

$$P_{i0} = T(v_{i0}) \quad (2)$$

$T =$ Traccion generada por cada motor (N)

$v_{i0} =$ Velocidad en un solo punto

La velocidad del aire que sale desde la hélice, se le conoce como velocidad inducida, esta puede ser calculada de la siguiente manera:

$$v_{i0} = \sqrt{\frac{T}{(2\rho_{aire})(A)}} \quad (3)$$

$A =$ Proyección del area del motor

Dicha área se calcula de la siguiente manera:

$$A = \pi R^2 \quad (4)$$

$R = \text{radio de la hélice}$

Hay que tener en cuenta que, para una carga de 12 kg se recomienda hélices de 15 pulg, y hélices de 18 pulgadas para cargas hasta de 16 kg.

Cálculo de la solides de la hélice con la siguiente expresión:

$$\sigma = \frac{bc}{\pi R} = \text{Area efectiva} \quad (5)$$

$b = \text{numero de palas}$

$c = \text{cuerda o ancho de la pala}$

$R = \text{radio de la propela}$

3.10.3. Potencia en un solo punto

Calculamos el coeficiente de tracción C_T

$$C_T = \frac{4mg}{(\rho\pi D^2)(\omega R)^2} \quad (6)$$

Siendo:

$m = \text{masa (kg)}$

$g = \text{gravedad (m/s)}$

$\rho = \text{densidad (kg/m}^3\text{)}$

$\omega = \text{velocidad angular } \left(\frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) \text{ variable importante}$

$D = \text{diametro (m)}$

$R = \text{radio (m)}$

$\pi = 3,1415$

3.10.4. cálculo de baterías

$$V_{nb} = T_{bateria} * N_{series} \quad (7)$$

Siendo:

$T_{bateria} = Tension (V)$

$V_{nb} = Voltaje nominal (v)$

$N_{series} = Número de serie$

3.10.5. Tiempo de vuelo

$$T_{vuelo} = \frac{C_{bateria}}{I_{motor}} * 60 \quad (8)$$

Siendo:

$T_{vuelo} = Tiempo (min)$

$I_{motor} = Corriente (A)$

$C_{bateria} = capacidad de la bateria$

3.10.6. Corriente máxima

$$I_{maxcons} = I_{motor} * N_{motores} + I_{otras} \quad (9)$$

$I_{maxconsu} = Corriente máxima (A)$

3.10.7. Corriente en vuelo

$$I_{maxbat} = I_{maxcons} * T_{vuelo} \quad (10)$$

$I_{maxbat} = Corriente en baterias (A)$

3.10.8. Potencia consumida

$$W_{max} = I_{max\ consu} * V_{nb} \quad (11)$$

3.10.9. Velocidad de vuelo

$$W_m = \frac{\pi}{8} (\rho * D^2 * v_2^3) \quad (12)$$

3.11. Sistema de pulverización

3.11.1. Boquillas

Las boquillas tienen la capacidad de poder convertir la energía total de un líquido en energía cinética, con ello se logra descomprimir el líquido en partículas muy pequeñas y distribuir las de manera uniforme alrededor todo el sembrío. [1]

Para hallar el caudal requerido se usa la siguiente ecuación:

$$Q_{req} = Q_1 \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} \quad (13)$$

- ✓ Q_1 (lt/min)
- ✓ P_1 y P_2 (bar)
- ✓ Q_{req} (lt/min)

3.11.2. Caudales

Caudal boquilla

$$Q_b = \frac{A_b * V_{ch}}{Coef. Des} \quad (14)$$

Caudal requerido

$$Q_r = Q_b * N_b \quad (15)$$

- ✓ N_b = Número de boquillas

3.11.3. Tanque

$$T_{tan} = \frac{V_{tan}}{Q_r} \quad (16)$$

✓ *Tt = Tiempo de duración del tanque*

3.11.4. Ángulo de aspersión

La medición de los ángulos de aspersión de las boquillas, se realiza desde el orificio de la boquilla. Ahora si se aumenta la distancia de medición, es muy probable que sufra una pérdida en la presión debido a las condiciones ambientales que se presenten. En la figura 24 se muestra los ángulos. [8]

REFERENCIA BOQUILLA	TP	XR	HC	AITXA/B	TG
FOTOGRAFÍA BOQUILLA					
ÁNGULO	40° - 110°	80° - 110°	80°	80°	90°
TAMAÑO DE GOTA	GOTA FINA	GOTA FINA	GOTA MUY FINA	GOTA FINA	GOTA FINA
RIESGO DE PERDIDA O DERIVA	ALTA	MUY BAJA	ALTA	MEDIO	MEDIO
PRESIÓN DE TRABAJO	30 - 60 Libras/pulg ²	15 - 60 Libras/pulg ²	15 - 150 Libras/pulg ²	60 - 250 Libras/pulg ²	45 - 75 Libras/pulg ²
MATERIAL DE FABRICACIÓN	CERÁMICA, LATÓN, POLÍMERO, ACERO INOX.	ACERO, CERÁMICA, POLÍMERO	DELFIN	CERÁMICA	ACERO INOXIDABLE, LATÓN
APTA PARA FUMIGADORA MANUAL / TRACTOR / MOTOR					
IDEAL PARA APLICACIÓN EN	USO UNIVERSAL (MANEJESE CON CUIDADO POR SU GOTA FINA)	USO UNIVERSAL (ÓPTIMO RESULTADO CON VÁLVULA REGULADORA)	TODOS LOS CULTIVOS	TODOS LOS CULTIVOS	TODOS LOS CULTIVOS CON FOLLAJE DENSO, PIÑA

Figura 26: Ángulos de aspersión
Fuente: Tesis (José Cuaran – 2018)

3.11.5. Bombas

Una comparativa de algunas bombas de agua que se pueden usar dentro del dron.

Tabla 1: Comparativa de motores
BOMBAS DE AGUA (DC)

CARACTERÍSTICAS	RS 360SH	MICRO-BOMBA Anself 12 VDC	R385-PLUS

IMAGEN

PESO (gr)	106	65	98
DIMENSIONES (mm)	42*45*65	52*46*55	90*40*35
CAUDAL (lt/min)	(1,2 – 2)	(1,5 – 2)	(1,5 – 2)
VOLTAJE (V)	3 - 9	6 - 12	6 - 12
CORRIENTE (I)	≤ 0,2	≤ 0,25	≤ 0,75
VOLTAJE NOMINAL (Volts)	7,2	9	7,2

Fuente: Tesis (Fernández Guevara, Herrera Pizarro – 2021)

IV. Marco metodológico

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación utilizado fue del tipo aplicada, pues se enfocó en describir los problemas de una población en particular. En este caso, los riesgos que conlleva el uso de pesticidas con herramientas manuales entre los agricultores.

4.1.2. Nivel de investigación

El nivel de la investigación es descriptivo y exploratorio, pues no se ha realizado estudios previos sobre este tema específico en la región, por lo que es necesario explorar y obtener nueva información con la finalidad que pueda servir como base para futuras investigaciones.

4.1.3. Enfoque de la investigación

El enfoque de investigación utilizado fue del tipo mixto, es donde comprende a la investigación cualitativa y cuantitativa; ya que se necesitará la recolección de información y las opiniones de las personas, en este caso, los agricultores.

4.2. Técnica e instrumentos

La técnica a utilizar será la encuesta, en donde el instrumento principal será un cuestionario validado por un ingeniero agrónomo, el cual se aplicará directamente a los agricultores de una zona en específico. Teniendo en cuenta que el cuestionario aplicado tendrá preguntas tanto cerradas como abiertas para obtener una visión más clara de las prácticas y percepciones de los agricultores en referencia al uso de drones para la fumigación.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población de esta investigación se encuentra constituida por todo el universo de los sistemas de pulverización y los agricultores de la zona especificada. La cantidad de los agricultores están en el anexo 3.

4.3.2. Muestra

Siendo la muestra el sistema de pulverización aérea de agroquímicos para el control de plagas en plantas gramíneas y en el caso de la encuesta fue calculada mediante formula de muestra en poblaciones finitas resultando una muestra de 16.

4.4. Métodos y diseño de investigación

En el desarrollo de la investigación, se procedió a utilizar técnicas de recolección de datos y el método de análisis de contenido para obtener diversas fuentes, el cual ayudara a obtener información relevante para la investigación.

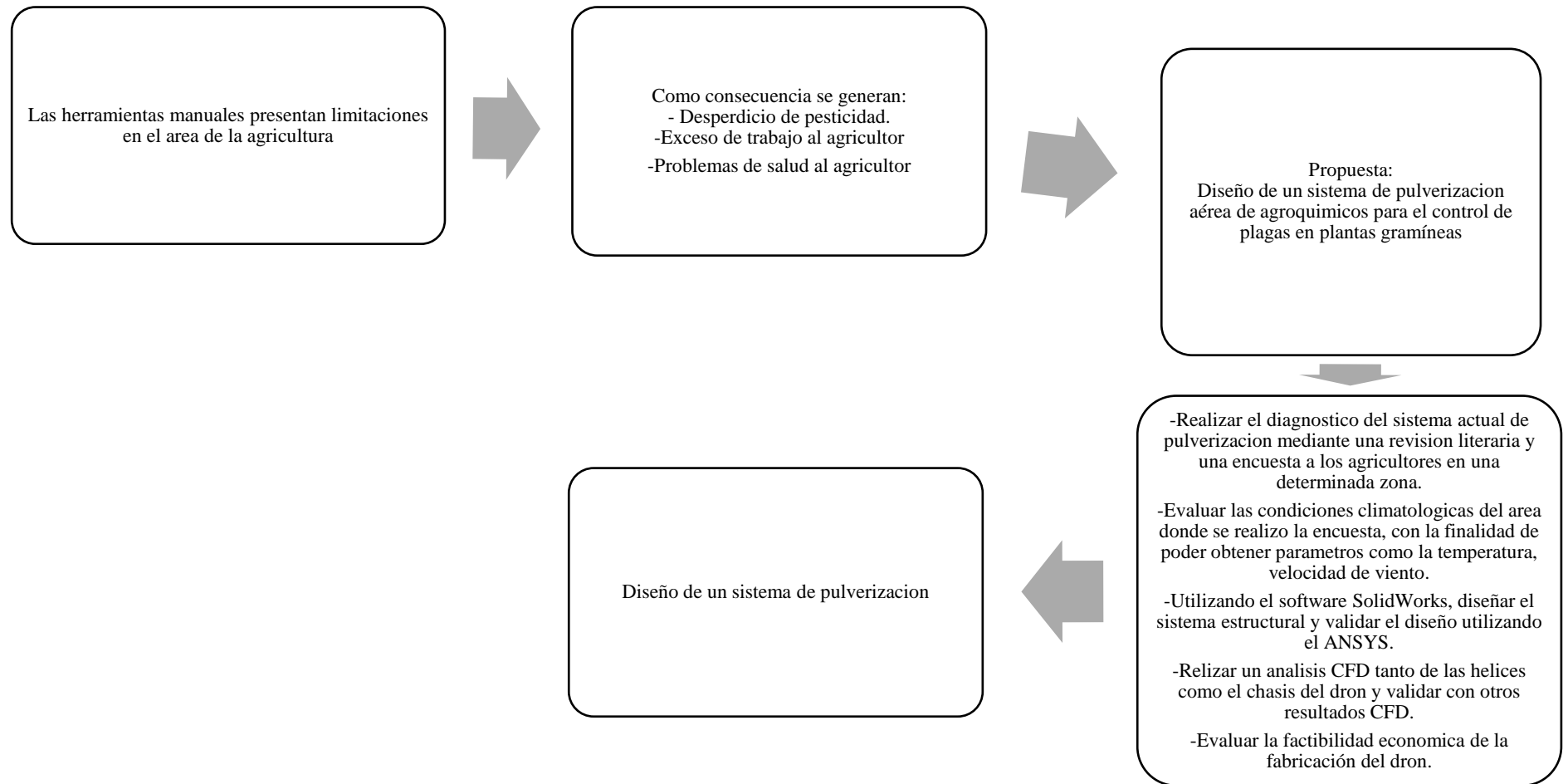
Para el análisis de datos, se procederá a utilizar el análisis y síntesis de la información obtenida para la obtención de los parámetros relaciones con la climatología de la zona a evaluar.

Para el procedimiento se utilizará el método deductivo, pues permite explicar los resultados de los estudios realizados a base de fundamentos,

formulas, análisis y teoría, con la finalidad de realizar el diseño y evaluación del dron.

Por último, se utilizará el método de un costeo estándar para la determinación de un costo de todo el sistema de pulverización, mediante la lista de componentes a utilizar y una comparativa con el precio del mercado de los drones pulverizadores.

4.5. Diagrama de flujo



4.6. Cuadro de hipótesis

FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE PULVERIZACIÓN AÉREA DE AGROQUÍMICOS PARA EL CONTROL EN PLANTAS GRAMÍNEAS”

Tabla 2: Cuadro de hipótesis

OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
Diseñar un sistema de pulverización aérea de agroquímicos que brinde un control de plagas eficiente para plantas gramíneas.	Si realiza el diseño de pulverización aérea de agroquímicos, entonces, se obtendrá un avance tecnológico en la mejora de herramientas de pulverización.
OBJETIVO ESPECIFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICAS
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diagnosticar la situación actual del sistema de pulverización en el área de agroquímicos mediante la revisión de literatura relacionada con ello. ✓ Evaluar las condiciones ambientales del área que será sometida a pulverización. ✓ Diseñar el sistema estructural mediante el software SolidWorks. ✓ Evaluar el perfil aerodinámico tanto del chasis como el de los alabes de los rotores y validar resultados. ✓ Analizar la factibilidad económica del sistema de pulverización. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Si se diagnostica la situación actual de la pulverización de agroquímicos, entonces se tendrá una visión más amplia de la problemática que presenta. ✓ Si se obtiene los parámetros ambientales como: la velocidad del viento, temperatura, dirección del viento, se podrá tener una visión más clara para el diseño. ✓ Si se realiza el diseño en SolidWorks, entonces se podrá validar el diseño estático estructural del sistema de pulverización usando ANSYS. ✓ Si se evalúa el perfil aerodinámico tanto usando CFD FLUENT del chasis como el de los alabes se podrá validar los resultados con otras investigaciones. ✓ Si se analiza la factibilidad económica se podrá tener una idea más clara del costo de fabricación y la competencia con el mercado.

Fuente: Elaboración propia

4.7. Cuadro de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
VARIABLE INDEPENDIENTE	El diseño de un sistema de pulverización aéreo garantizará un fácil trabajo de pulverizado, el cual será de gran ayuda en el ámbito de la agricultura. [8]	Para desarrollar el diseño es necesario medir la altura requerida de vuelo, teniendo en cuenta la capacidad de pulverización y con ello se verá la velocidad de área que nos dará el dron.	DISEÑO DE UN SISTEMA DE PULVERIZACIÓN AÉREA	ALTURA	m
Diseño de un sistema de pulverización aérea de agroquímicos				CAPACIDAD DE PULVERIZACIÓN	l/s
	VELOCIDAD DE área	Ha/h			

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
VARIABLE DEPENDIENTE	Los diferentes cultivos de plantas gramíneas, para que puedan tener una mejor producción, es necesario que tengan un buen control con respecto a las plagas que se presenten. [2]	Si se obtiene un mejor control de plagas de las plantas gramíneas, se podrá medir a través del tiempo de producción, la calidad del producto.	CONTROL	TIEMPO DE PRODUCCIÓN	Ton/hect/año
Control en plantas gramíneas				STANDARES DE CALIDAD	checklist

DISEÑO DE UN SISTEMA DE PULVERIZACIÓN AÉREA DE AGROQUÍMICOS PARA EL CONTROL EN PLANTAS GRAMÍNEAS				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿El diseño de un sistema de pulverización aérea de agroquímicos permitirá una mejora significativa en el área de la agricultura?	GENERAL	GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN
	Diseñar un sistema de pulverización aérea de agroquímicos que brinde una nueva alternativa tecnológica para el uso de pesticidas en los campos agrícolas.	Si realiza el diseño de pulverización aérea de agroquímicos, entonces, se obtendrá un avance tecnológico en el nuevo uso de herramientas para pulverización.	Diseño de un sistema de pulverización aéreo	Tipo aplicada – cuantitativa con utilización de los softwares SolidWorks y ANSYS.
			INDICADORES:	TECNICA DE RECOLECCIÓN
	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS	altura velocidad de pulverización	Las problemáticas presentadas en las diferentes encuestas, dadas a través de las investigaciones relacionadas sobre los tipos de sistemas de pulverización.
	Diagnosticar la situación actual del sistema de pulverización en el área de agroquímicos.	Si se diagnostica la situación actual de la pulverización de agroquímicos, entonces se tendrá una visión más amplia de la problemática que presenta	VARIABLE DEPENDIENTE	POBLACIÓN Y MUESTRA
	Evaluar las condiciones ambientales del área de que será sometida a pulverización.	Si se obtiene los parámetros necesarios como: la temperatura, velocidad del viento, se podrá tener una visión más clara para el diseño.		
	Diseñar el sistema estructural mediante el software SolidWorks.	Si se realiza el diseño en SolidWorks, entonces se podrá validar el diseño estático estructural del sistema de pulverización usando ANSYS.	Control en plantas gramíneas	La unidad de estudio es el sistema de pulverización aérea para agroquímicos.
	Evaluar el perfil aerodinámico tanto del chasis como el de los alabes de los rotores y validar resultados.	Si se evalúa el perfil aerodinámico de las hélices y el dron utilizando CFD FLUENT, se podrá validar los resultados con otras investigaciones relacionadas al estudio CFD.	INDICADORES Producción	La población sería los agricultores encuestados.

	Analizar la factibilidad económica del sistema de pulverización	Analizando la factibilidad económica del sistema de pulverización se podrá obtener el costo de fabricación y con ello ver la competencia en el mercado.		
--	---	---	--	--

V. Materiales y métodos

5.1. Sistemas de pulverización

5.1.1. Pulverizadores manuales

5.1.1.1. Mochila pulverizadora manual

Esta herramienta manual, muy usada dentro del campo de la agricultura, es utilizada en el exterior (aire libre), es transportada en la espalda de un trabajador y accionada de manera manual mediante una palanca para poder así obtener una presión y garantizar un adecuado pulverizado del agroquímico. Dentro del mercado comercial las puedes encontrar de diferentes capacidades que van desde los 10 litros hasta los 30. La mochila pulverizadora se muestra en la figura 25. [26]



Figura 27: Mochila Pulverizadora

Fuente: Jacto

5.1.1.2. Mochila pulverizadora eléctrica

Este tipo de mochilas combina la portabilidad de una mochila manual con un sistema eléctrico para generar dicha pulverización, y así ya no depender del esfuerzo físico del trabajador. Mochila pulverizadora eléctrica en la figura 26. [2]



Figura 28: Mochila pulverizadora eléctrica

Fuente: Jacto

5.1.2. Pulverizadores de arrastre

5.1.2.1. Pulverizadores de barras

Los pulverizadores en barra son los más comunes de arrastre, pues se caracterizan básicamente por presentar una serie de barras o brazos en la parte trasera del equipo. Este puede dividir en gotas a través de una boquilla que se ubica muy cerca a los cultivos. Esta altura se puede modificar de acuerdo a la necesidad que presente el usuario, teniendo en cuenta poseen una capacidad de almacenamiento de 400 a 3000 litros y cuentan con una velocidad que varía entre los 3 y 12 km/h. Se usan con mayor frecuencia en grandes extensiones de terreno; ya que cuentan con una gran autonomía un excelente alcance. Pulverizador de barras en la figura 27. [27]



Figura 29: Pulverizadores de barra

Fuente: Jacto

5.1.2.2. Pulverizadores centrífugos o de disco rotativos

Estos pulverizadores en lugar de usar un pistón, poseen una bomba centrífuga para presurizar los agroquímicos. Mayormente se usan para aplicaciones de un ultra bajo volumen que va entre 5 hasta 50 l/ha, en donde va formando gotas de 50 hasta 150 micras, suelen ser eficientes en el campo y se pueden usar también en una gran variedad de cultivos. Pulverizador centrífugo en la figura 28. [28]



Figura 30: Pulverizadores centrífugos o de discos rotativos

Fuente: Tractores y máquinas

5.1.2.3. Pulverizadores turboatomizadores

Los pulverizadores turboatomizadores utilizan una turbina para que puedan generar un flujo de aire que dispersa el agroquímico de manera uniforme. Se usa mayormente para cultivos de árboles y arbustos pues, son muy versátiles para los tamaños de los cultivos, haciendo que la calidad de aplicación mejore. Pulverizador Turboatomizador en la figura 29. [27]



Figura 31: Turboatomizador

Fuente: Jacto

5.1.3. Pulverizadores aéreos

5.1.3.1. Aviones pulverizadores

Estas aeronaves son especialmente diseñadas para la pulverización de agroquímicos, tienen que realizar vuelo rasante de máximo dos metros de altura sobre los sembríos a una velocidad que supera los 230 km/h. Se encuentran equipadas con un tanque y otros sistemas que ayudan a la dispersión de agroquímicos. Son mayormente utilizado en campos que cuentan con una gran extensión. Avión pulverizador en la figura 30. [29]



Figura 32: Avión pulverizador

Fuente: BIODIVERSIDADLA

5.1.3.2. Helicópteros pulverizadores

Los helicópteros pulverizadores se pueden utilizar para las zonas de difícil acceso en donde los aviones no pueden maniobrar, como en campos pequeños o terrenos montañosos, al ser más versátiles pueden alcanzar dichas áreas. Además, presentan un mecanismo de riego preciso, lo cual hace muy efectivo su trabajo. Helicóptero pulverizador en la figura 31. [30]



Figura 33: Helicóptero pulverizador

Fuente: Fly Access

5.1.3.3. Drones agrícolas

El uso de drones se hace cada vez más frecuente dentro del área de la fumigación en la agricultura, cuentan con sistemas de pulverización y rotores que permiten una gran versatilidad, lo cual permite tener acceso a áreas más pequeñas de difícil acceso. Además, al ser vehículos no tripulados poseen una gran ventaja con respecto a los otros sistemas. Dron Agrícola en la figura 32. [31]



Figura 34: Dron Pulverizador

Fuente: ACREE Perú

5.1.4. Pulverizadores autopropulsados

Los pulverizadores autopropulsados se usan mayormente en grandes extensiones de terreno, por ello son diseñados para que tengan el mínimo consumo de combustible durante las horas de trabajo, poseen tanques de almacenamiento y sistemas de pulverización que son controlados por un operador por lo que hace el trabajo de manera más precisa y eficiente. Pulverizador autopropulsado en la figura 33. [27]



Figura 35: Pulverizador autopropulsado

Fuente: Jacto

5.1.5. Ventajas y desventajas

Se evaluará teniendo en cuenta que la tesis va propuesta para una zona determinada.

Tabla 3: Ventajas y desventajas de los sistemas de pulverización.

TIPOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PULVERIZADORES MANUALES	<ul style="list-style-type: none"> - Fáciles de transportar. - No requieren combustible. - Fácil adquisición. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requieren personal. - Poca capacidad de alcance por hectárea. - Demanda esfuerzo físico.
PULVERIZADORES DE ARRASTRE	<ul style="list-style-type: none"> - Gran capacidad de alcance por hectárea. - Gran capacidad de 	<ul style="list-style-type: none"> - Requieren de un vehículo adicional para su transporte. - Requieren de combustible.

	almacenamiento de productos químicos.	<ul style="list-style-type: none"> - Demanda un gran costo monetario. - Pueden compactar el terreno de cultivo por exceso de peso.
PULVERIZADORES AÉREOS	<ul style="list-style-type: none"> - Fácil acceso a todos los campos de cultivo. - Reducción de horas de trabajo - Se minoriza la compactación de los terrenos de cultivo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requieren de un personal calificado para su manejo. - Demanda de un costo monetario. - Se pueden ver interrumpidos por el clima.
PULVERIZADORES PROPULSADOS	<ul style="list-style-type: none"> - Control preciso en aplicación de agroquímicos. - Pueden adaptarse a diferentes tipos de cultivos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere de una gran inversión. - Dependen de combustibles. - Demasiado pesados para algunos terrenos de cultivos.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4: Pulverizadores aéreos ventajas y desventajas

PULVERIZADORES AÉREOS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
AVIONES FUMIGADORES	<ul style="list-style-type: none"> - Cubrir grandes extensiones de cultivo en poco tiempo. - No existe compactación de terreno agrícola. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos: estos aviones suelen ser costosos tanto en adquisición como en operación. - Requiere personal capacitado. - Operan con combustible.
HELICÓPTEROS FUMIGADORES	<ul style="list-style-type: none"> - Son más flexibles con respecto a las áreas de difícil acceso. - Ofrecen una buena precisión en aplicación de agroquímicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costos: costosos para la adquisición y operación. - Requieren personal capacitado. - Operan con combustible.
DRONES AGRÍCOLAS	<ul style="list-style-type: none"> - Alta precisión al operar por lo que se reduce el 	<ul style="list-style-type: none"> - Menos costosos que los aviones y helicópteros.

	<p>desperdicio de agroquímicos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alta maniobrabilidad y adaptación al terreno de cultivo. - Al ser menos pesados, no compactan el terreno agrícola. 	- Limitados a la duración de batería.
--	---	---------------------------------------

Fuente: Elaboración Propia

5.1.6. Matriz ponderada

En esta matriz se procederá a evaluar los 3 tipos de pulverizadores aéreos planteados, siempre y cuando tengamos en cuenta los diferentes criterios planteados con anterioridad. Se evaluará con el siguiente puntaje:

- ✓ 0= No aceptable
- ✓ 1= Regular
- ✓ 2= Aceptable
- ✓ 3= Bueno
- ✓ 4= Muy bueno
- ✓ 5= Ideal

CRITERIOS DESCRIPCIÓN	POSIBILIDAD			
	Peso	Avión P.	Helicóptero P.	Dron agrícola
PRECISIÓN	4	2	4	5
COSTOS	5	2	4	4
MANTENIMIENTO	3	3	2	3
COMBUSTIBLE	5	1	1	5
TOTAL		32	47	74

Tabla 4: Matriz ponderada

Fuente: Elaboración propia

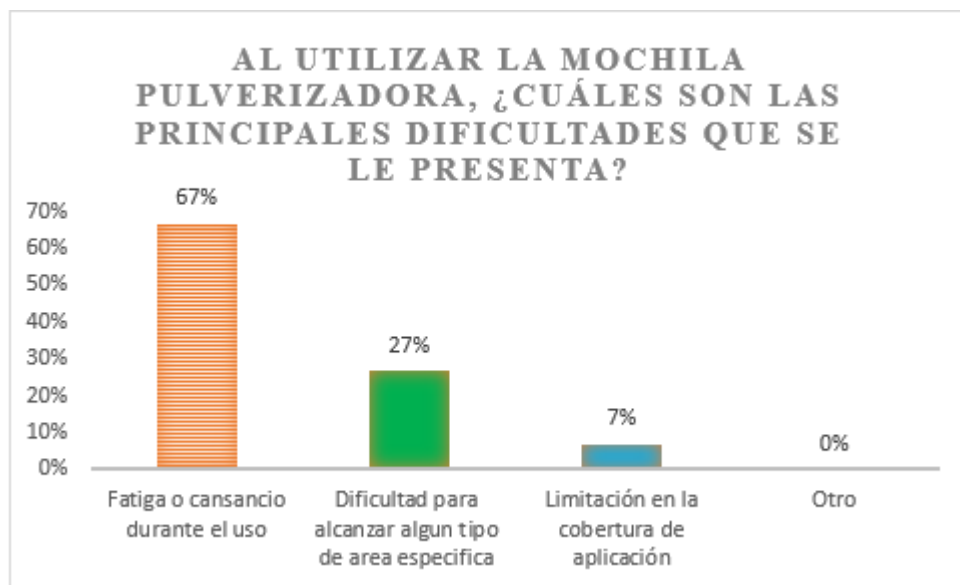
5.1.7. Conclusión

Después de aplicar la matriz ponderada y verificar los resultados obtenidos, se obtiene como mejor opción el dron agrícola, pues al realizar la comparativa necesaria, se puede observar que posee grandes ventajas con respecto a los otros sistemas de pulverización.

5.1.8. Población

La población de agricultores de Nueva Arica es 727 según el cuadro obtenido de la comisión de regantes de ese distrito. El cuadro se puede observar en el anexo 3.

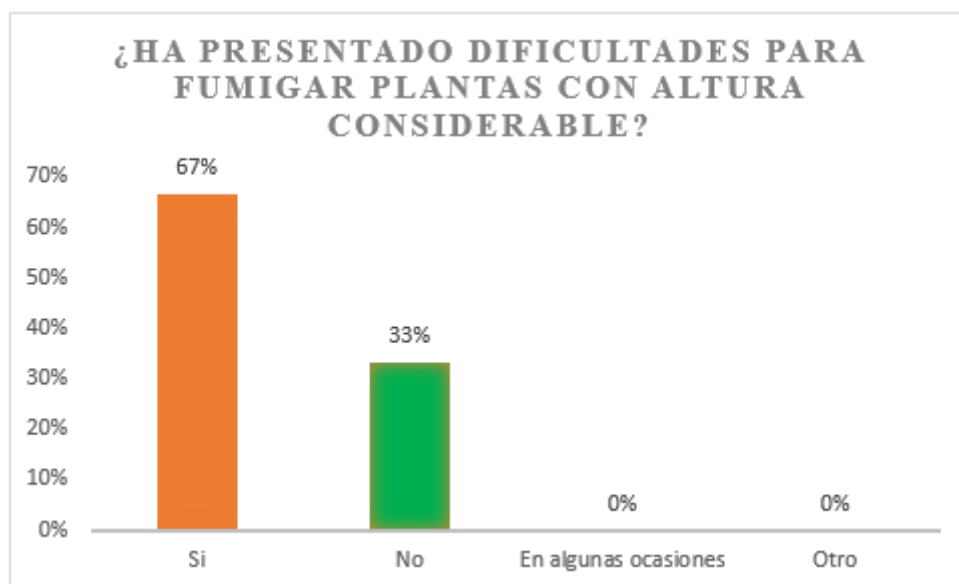
Se calculó un número de muestra de 16 personas [32]. Encuesta aplica en el anexo 1. Ficha de evaluación en el anexo 2. Cálculo de muestra en el anexo 4.



Gráfica 1: Porcentaje de pregunta "1" de encuesta

Fuente: Elaboración propia

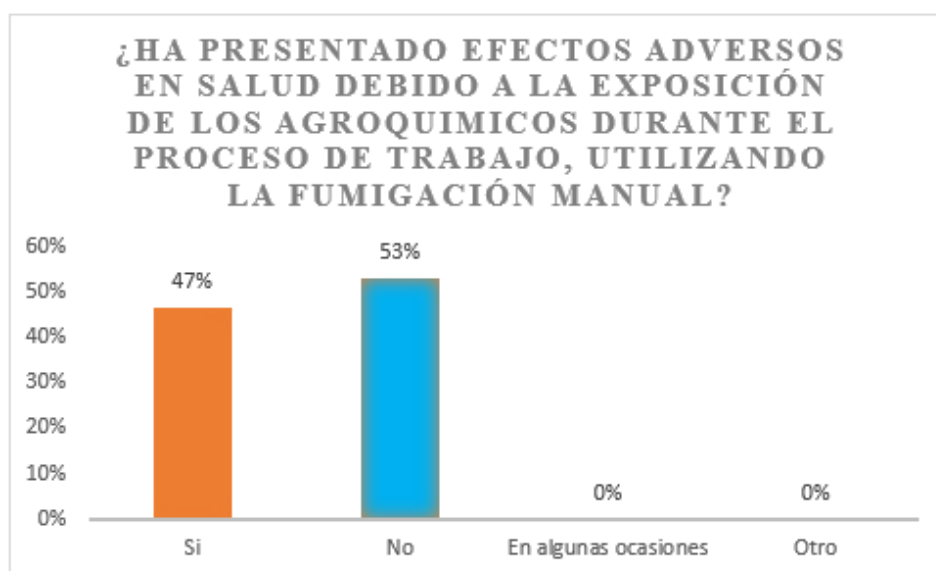
Conclusión: El resultado obtenido en porcentajes, indica que una de las principales dificultades que presenta el uso de herramientas manuales es la fatiga o cansancio



Gráfica 2: Porcentaje de pregunta "2" de encuesta

Fuente: Elaboración propia

Conclusión: El resultado obtenido en porcentajes de la pregunta 2, indica que un 67% de los encuestados ha presentado dificultades para fumigar plantas con considerable altura.

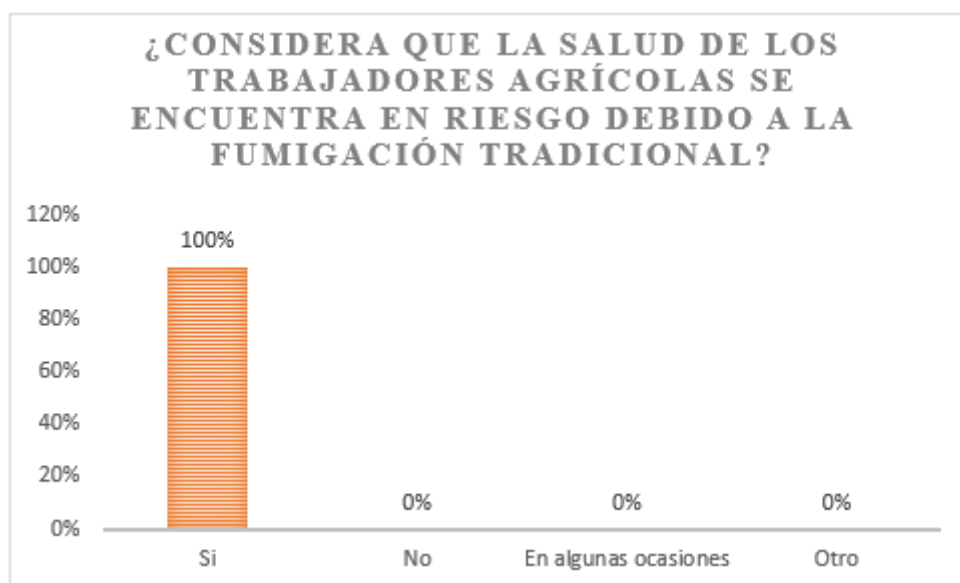


Gráfica 3: Porcentaje de pregunta "3" de encuesta

Fuente: Elaboración propia

Conclusión: El resultado obtenido en porcentajes de la pregunta 3, indica que un 53% de los encuestados no ha presentado efectos adversos en salud

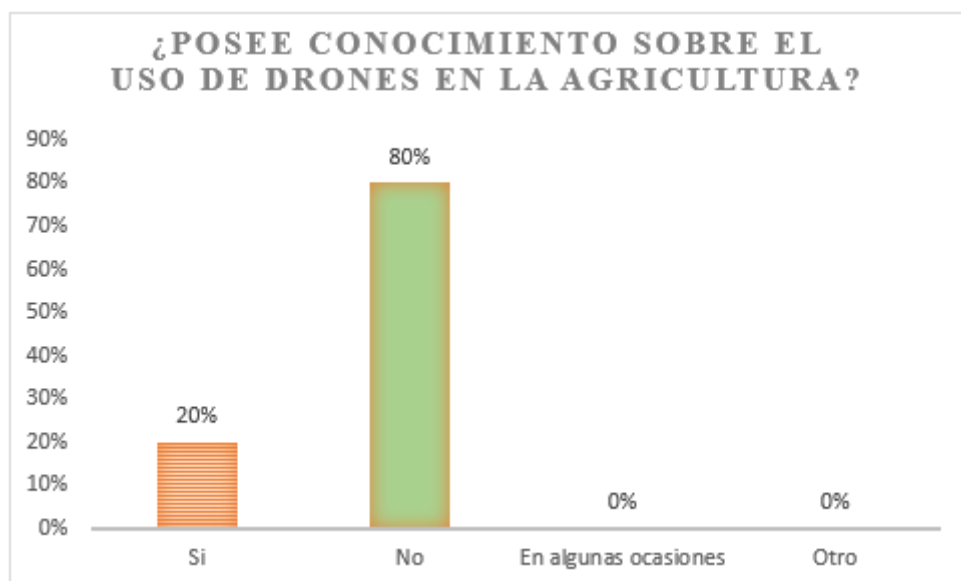
debido a la exposición de agroquímicos; sin embargo, existe un 47% que sí ha presentado problemas en su salud.



Gráfica 4: Porcentaje de pregunta "4" de encuesta

Fuente: Elaboración propia

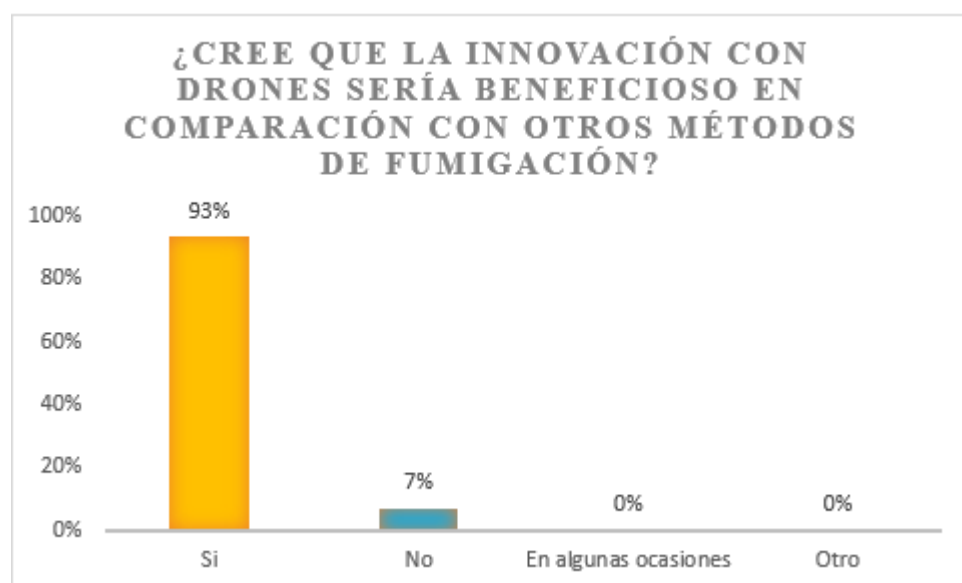
Conclusión: El resultado obtenido en porcentajes de la pregunta 4, indica que un 100% de los encuestados considera que la salud de los trabajadores agrícolas se encuentra en riesgo debido a la fumigación tradicional.



Gráfica 5: Porcentaje de pregunta "5" de encuesta

Fuente: Elaboración propia

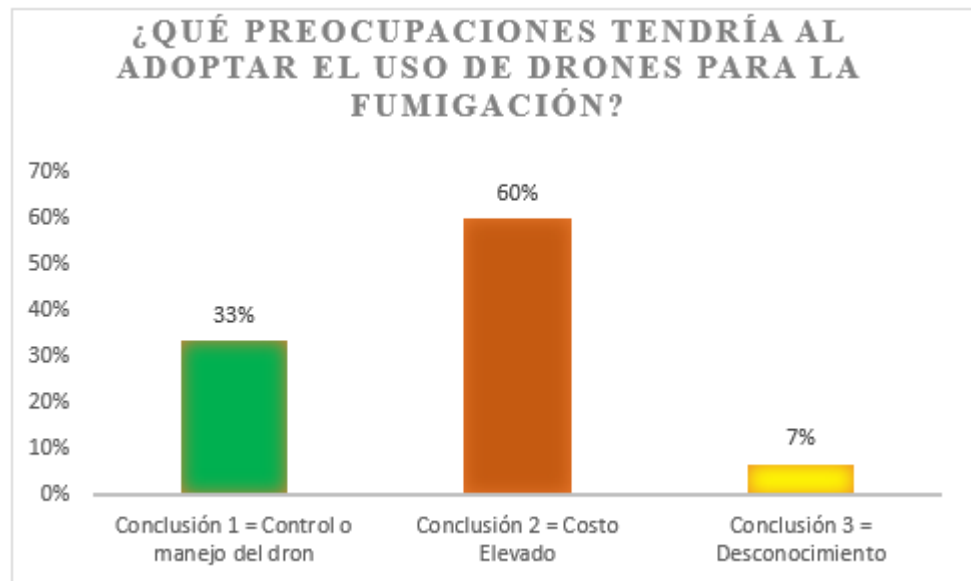
Conclusión: El resultado obtenido en porcentajes de la pregunta 5, indica que un 80% de los encuestados no posee conocimiento sobre el uso de drones en la agricultura.



Gráfica 6: Porcentaje de pregunta "6" de encuesta

Fuente: Elaboración propia

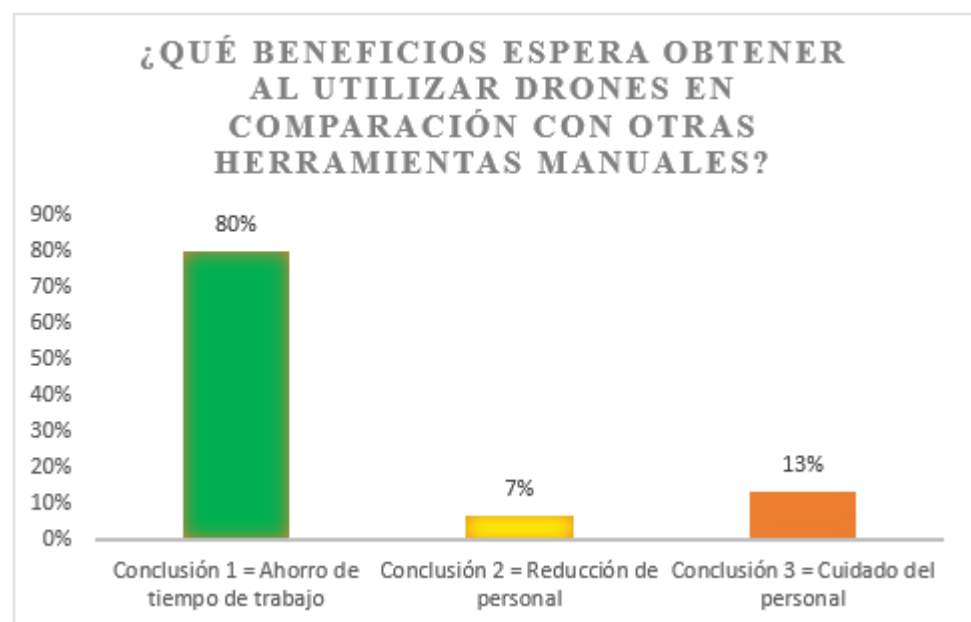
Conclusión: El resultado obtenido en porcentajes de la pregunta 6, indica que un 93% de los encuestados cree que el uso de drones será beneficioso en comparación a otros métodos de fumigación.



Gráfica 7: Porcentaje de pregunta "7" de encuesta

Fuente: Elaboración propia

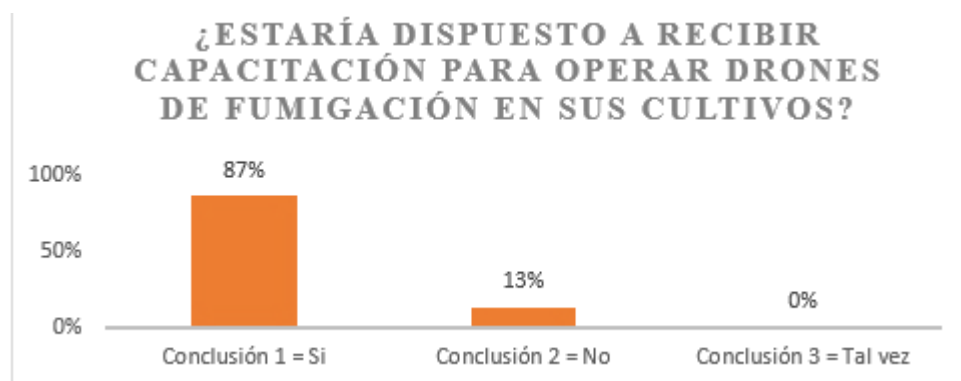
Conclusión: El resultado obtenido en porcentajes de la pregunta 7, indica que un 60% de los encuestados presenta preocupación por un elevado costo al adoptar el uso de drones para la fumigación.



Gráfica 8: Porcentaje de pregunta "8" de encuesta

Fuente: Elaboración propia

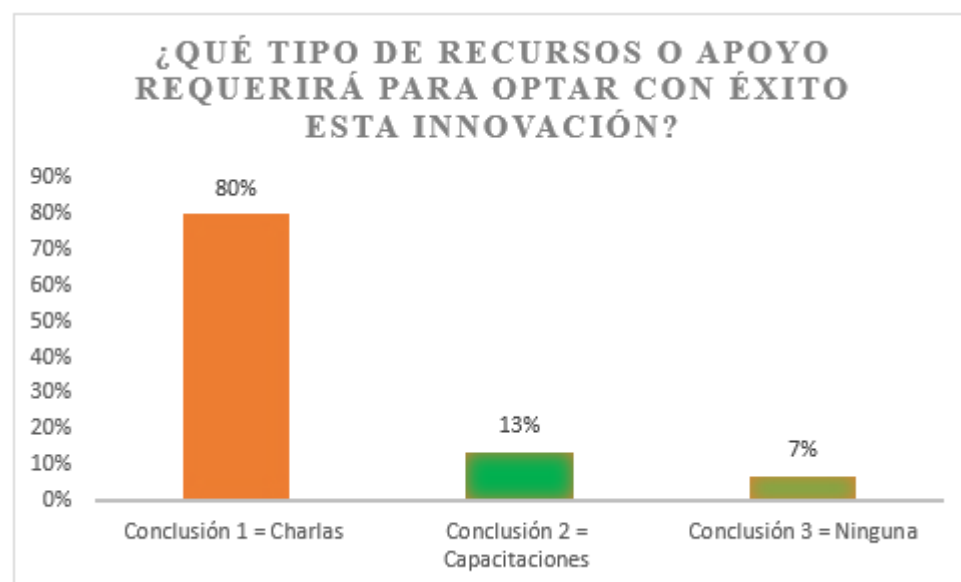
Conclusión: El resultado obtenido en porcentajes de la pregunta 8, indica que un 80% de los encuestados espera obtener una reducción en tiempo de trabajo de fumigación.



Gráfica 9: Porcentaje de pregunta "9" de encuesta

Fuente: Elaboración propia

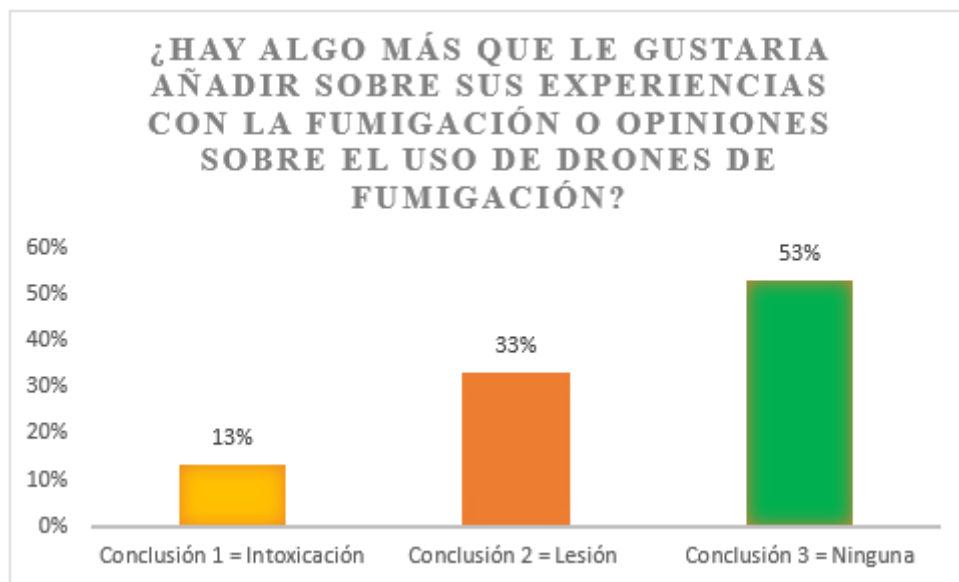
Conclusión: El resultado obtenido en porcentajes de la pregunta 9, indica que un 87% de los encuestados si estaría dispuesto a recibir capacitación para operar drones de fumigación.



Gráfica 10: Porcentaje de pregunta "10" de encuesta

Fuente: Elaboración propia

Conclusión: El resultado obtenido en porcentajes de la pregunta 10, indica que un 80% de los encuestados requerirá de charlas para que puedan optar por este uso de tecnología.



Gráfica 11: Porcentaje de pregunta "11" de encuesta

Fuente: Elaboración propia

Conclusión: El resultado obtenido en porcentajes de la pregunta 11, indica que un 13% y un 33% de los encuestados ha presentado lesiones e intoxicaciones como parte de su experiencia en la fumigación.

5.2. Condiciones climáticas

Los datos climatológicos que se mostrarán a continuación, han sido extraídos de fuentes confiables, como el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) [33] y NP (NASA-POWER) [34].

5.2.1. Delimitación de ubicación geográfica

El distrito de Nueva Arica, ubicado en la provincia de Chiclayo, en el departamento de Lambayeque, se logra destacar por una economía basada principalmente en actividades agrícolas, el cual representa un 85% de toda la economía local. Dentro de esta actividad, Nueva Arica

es reconocido por poseer una amplia variedad de producción de alimentos, entre los cuales encontramos cultivos como maíz, arroz, yuca, menestras y otros productos agrícolas. Imagen satelital en la figura 34. [35]



Figura 36: Distrito de Nueva Arica

Fuente: Google Maps

5.2.2. Temperatura

Al encontrarse a 205 msnm presenta diversidad de microclimas con temperaturas que van desde 11° C hasta los 34, 6° C. Utilizando datos meteorológicos obtenidos del SENAMHI que van desde el 01/09/2022 hasta 01/09/2023. Donde se obtiene que el valor promedio de temperatura es 24, 16° C. Datos obtenidos del anexo 5.

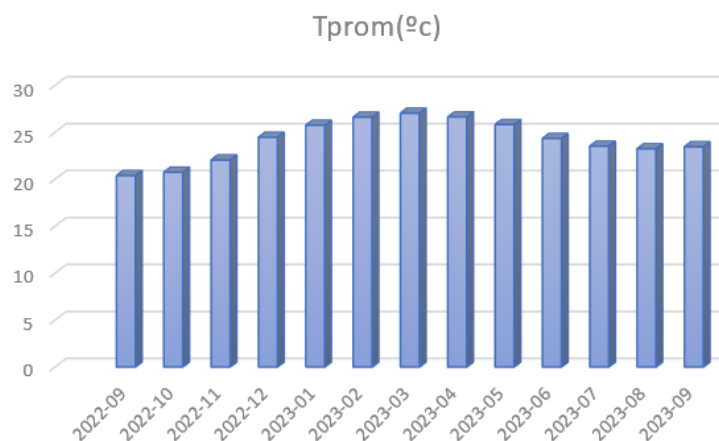
Tabla 5: Temperatura promedio

Año-mes	T _{PROM} (°C)
2022-09	20,39
2022-10	20,75
2022-11	22,06
2022-12	24,47
2023-01	25,75
2023-02	26,61
2023-03	27,04
2023-04	26,63
2023-05	25,83
2023-06	24,34
2023-07	23,52
2023-08	23,25
2023-09	23,46

PROMEDIO
(01/09/2022-
31/09/2023)

24,16

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 12: Promedio de temperaturas

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Humedad

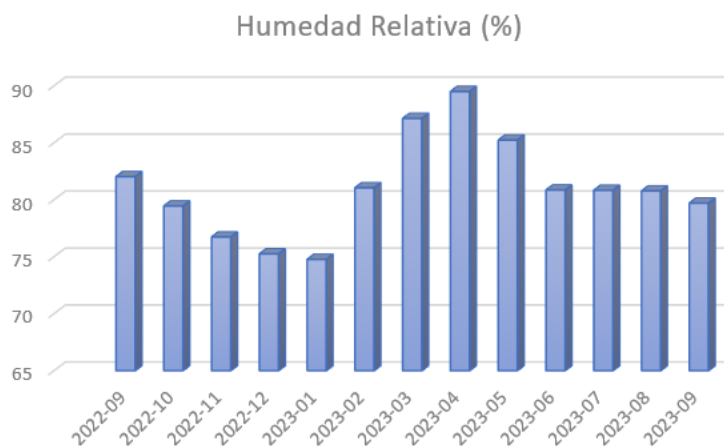
Utilizando datos meteorológicos obtenidos del SENAMHI que van desde el 01/09/2022 hasta 01/09/2023. Donde se obtiene que el valor promedio de la humedad relativa es 81,02%. Datos obtenidos del anexo 5.

Tabla 6: Humedad Relativa Promedio

AÑO-MES	HUMEDAD RELATIVA (%)
2022-09	82,02
2022-10	79,45
2022-11	76,73
2022-12	75,25
2023-01	74,76
2023-02	81,05
2023-03	87,14
2023-04	89,50
2023-05	85,24
2023-06	80,85
2023-07	80,83
2023-08	80,77

2023-09	79,7
PROMEDIO (01/09/2022- 31/09/2023)	81,02

Fuente: Elaboración propia



*Gráfica 13: Promedio de humedad relativa
Fuente: Elaboración propia*

5.2.4. Precipitaciones

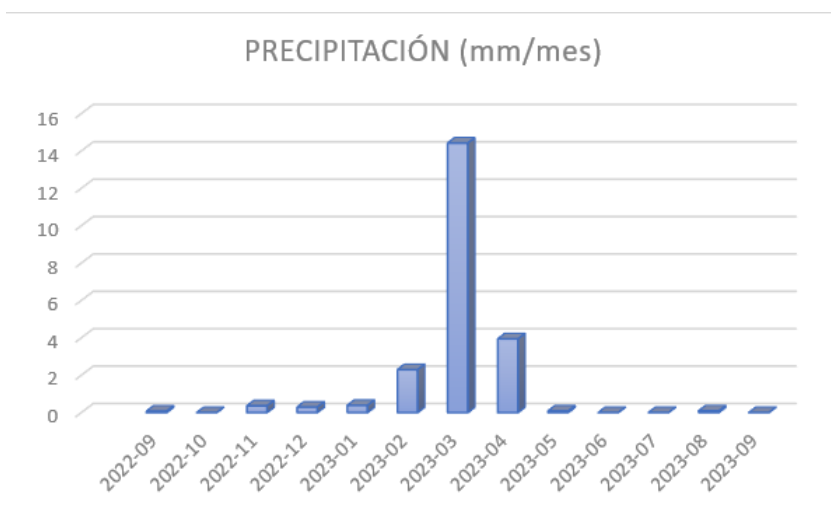
Utilizando datos meteorológicos obtenidos del SENAMHI que van desde el 01/09/2022 hasta 01/09/2023. Donde se obtiene que el valor promedio de precipitaciones alcanza un nivel de 1,69 mm. Datos obtenidos del anexo 5.

Tabla 7: Precipitaciones en (mm/mes) promedio

AÑO-MES	PRECIPITACIÓN (MM/MES)
2022-09	0,08
2022-10	0
2022-11	0,36
2022-12	0,29
2023-01	0,387
2023-02	2,30
2023-03	14,42
2023-04	3,95
2023-05	0,09
2023-06	0
2023-07	0
2023-08	0,090
2023-09	0

PROMEDIO (01/09/2022- 31/09/2023)	1,69
--	------

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 14: Promedio de precipitaciones en (mm/mes)

Fuente: Elaboración propia

5.2.5. Velocidad del viento

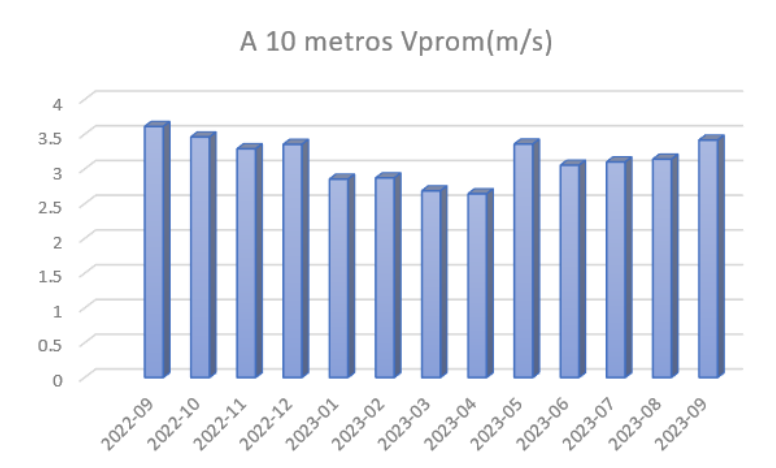
Utilizando datos meteorológicos obtenidos del NASA-POWER que van desde el 01/09/2022 hasta 01/09/2023. Donde se obtiene que el valor promedio de la velocidad a 10 metros es de 3,14 m/s. Datos obtenidos del anexo 6.

Tabla 8: Velocidad promedio a 10 metros

AÑO-MES	A 10 METROS V_{PROM(m/s)}
2022-09	3,61
2022-10	3,46
2022-11	3,29
2022-12	3,35
2023-01	2,85
2023-02	2,87
2023-03	2,68
2023-04	2,64
2023-05	3,36
2023-06	3,05
2023-07	3,10
2023-08	3,14

2023-09	3,42
PROMEDIO (01/09/2022 - 31/09/2023)	3,14

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 15: Velocidad promedio del viento

Fuente: Elaboración propia

5.2.6. Presión atmosférica local

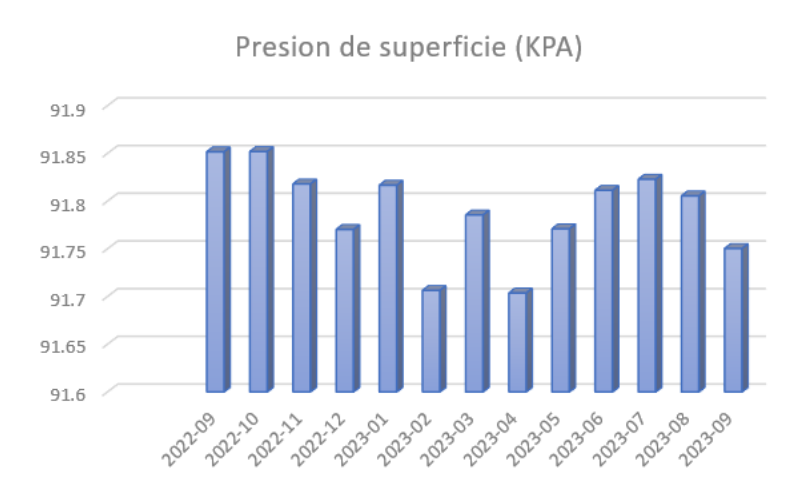
Utilizando datos meteorológicos obtenidos del NASA-POWER que van desde el 01/09/2022 hasta 01/09/2023. Donde se obtiene que el valor promedio de la presión de superficie alcanza 91,78 KPA. Datos obtenidos del anexo 6.

Tabla 9: Promedio de presión en KPA

AÑO-MES	PRESION DE SUPERFICIE (KPA)
2022-09	91,8517
2022-10	91,8519
2022-11	91,8180
2022-12	91,7703
2023-01	91,8167
2023-02	91,7064
2023-03	91,7855
2023-04	91,7037
2023-05	91,7710
2023-06	91,8113
2023-07	91,8229
2023-08	91,8055

2023-09	91,7503
PROMEDIO (01/09/2022 - 31/09/2023)	91,7896

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 16: Promedio de la presión de superficie en KPA

Fuente: Elaboración propia

5.2.7. Dirección de velocidad del viento

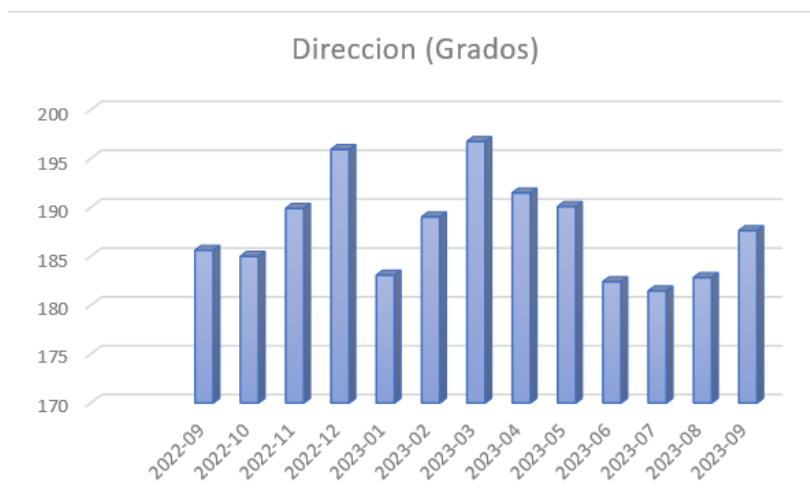
Utilizando datos meteorológicos obtenidos del NASA-POWER que van desde el 01/09/2022 hasta 01/09/2023. Donde se obtiene que el valor promedio de la dirección del viento en grados es de 187,770. Datos obtenidos del anexo 6.

Tabla 10: Dirección del viento

AÑO-MES	DIRECCIÓN (GRADOS)
2022-09	185,608
2022-10	184,983
2022-11	189,887
2022-12	195,917
2023-01	183,053
2023-02	189,015
2023-03	196,727
2023-04	191,473
2023-05	190,076
2023-06	182,396
2023-07	181,447
2023-08	182,819
2023-09	187,614

PROMEDIO | 187,770
(01/09/2022 - 31/09/2023)

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 17: Promedio de la dirección en grados
Fuente: Elaboración propia

Utilizando el valor promedio en grados, y teniendo en cuenta que la dirección en la que el viento sopla generalmente es con relación al norte, podremos estimar dicha dirección dividiendo dicho promedio entre 360°, la fracción resultante se podrá multiplicar por 8, esto se debe a que existen 8 puntos cardinales, obteniendo dicho resultado se redondea y con ello se sabrá a que dirección va. [36]

$$Dv = \frac{187,770}{360} = 0,52$$

$$Dv = 0,52 * 8 = 4$$

El valor obtenido es de 4 por lo que la dirección del viento será Sur oeste.

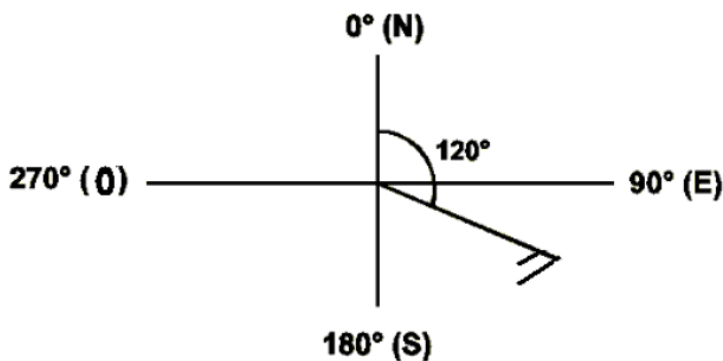


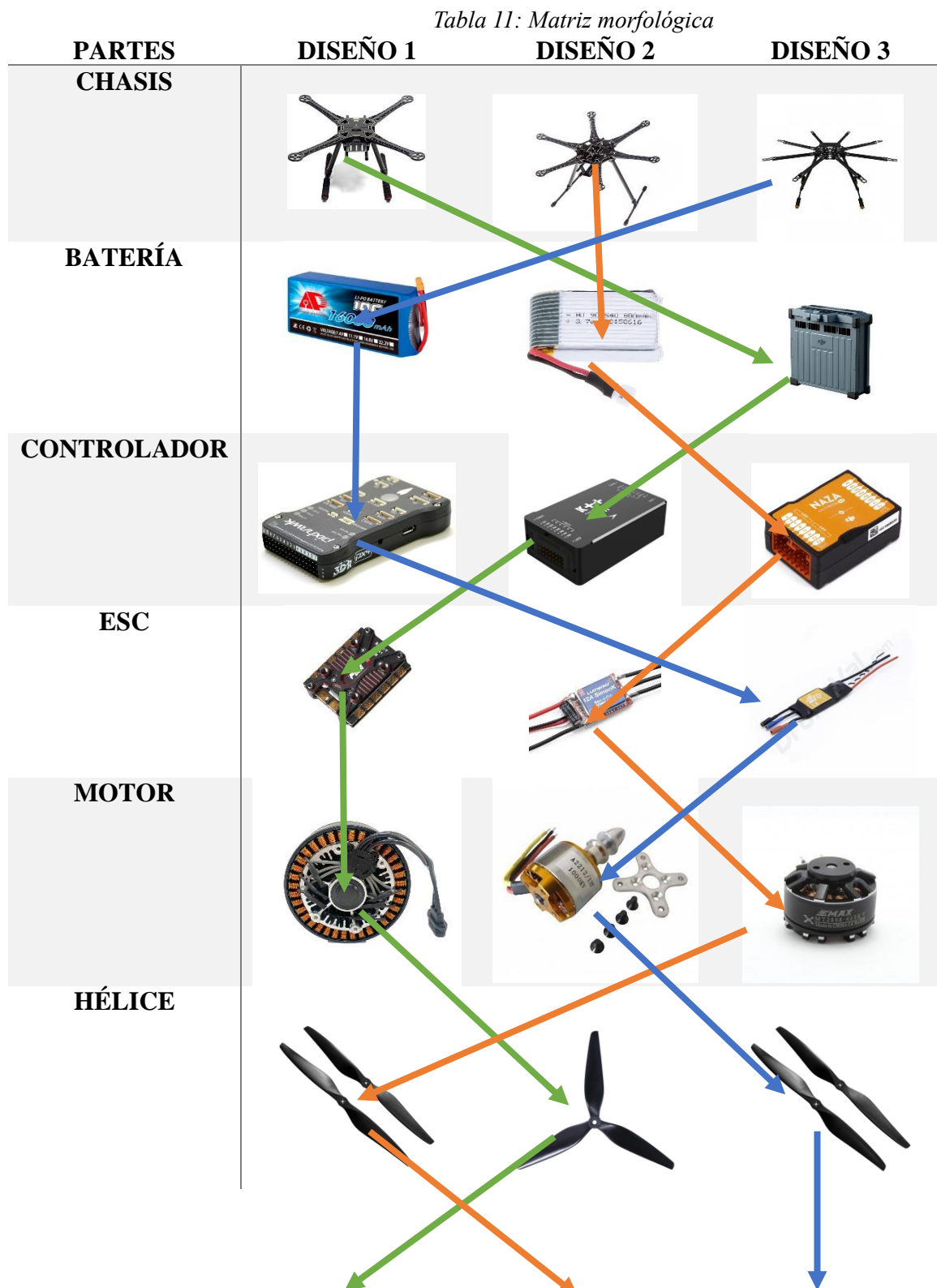
Figura 37: Dirección del viento en grados

Fuente: Instituto Meteorológico de costa rica

5.3. Diseño Estructural

5.3.1. Matriz morfológica

En la tabla 10 se puede mostrar la matriz morfológica, en la cual se plantea 3 diseños propuestos para el sistema de fumigación del dron.








Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta estos 3 diseños podemos realizar la tabla 11, donde se puede ver los conceptos de solución.

Tabla 12: Estructuras de líneas

Tipos de diseño	Tipo de Línea
1	
2	
3	

Fuente: Elaboración propia

5.3.2. Combinación de los diseños

5.3.2.1. Diseño 1

La elección del primer diseño se fundamenta en la utilización de un chasis de 4 brazos, lo que implica un costo más bajo en termino de compra de motores, y esto resulta beneficioso pues implicaría un menor gasto económico en la sustitución eventual de estos componentes. Además, la incorporación de las hélices de 3 palas, nos proporciona una estabilidad superior a bajas revoluciones, esto no solo permite una operación más fácil, sino que favorece de manera eficiente al consumo de energía, lo cual prolonga la duración de las baterías y contribuye a una operación más rentable en las tareas de fumigación.

5.3.2.2. Diseño 2

El presentar un chasis de 6 brazos, promete de manera importante una mayor estabilidad, pero al presentar futuras fallas, será más oneroso el recambio de estas. Además, la configuración con 6 motores requerirá de una mayor cantidad de baterías para que pueda

cumplir las labores de fumigación, lo que podría generar complicaciones financieras.

5.3.2.3. Diseño 3

El chasis con 8 brazos, presenta una estabilidad superior, pero este presenta desventajas notables, el presentar futuras fallas genera la necesidad de reemplazar dichos componentes lo cual se traduce en costos financieros altos. Ahora, dicha configuración de 8 motores requiere significativamente un mayor número de baterías, esta necesidad de energía, no solo aumenta de manera significativa los costos operativos, sino que también complicaría el tema de mantenimiento de los sistemas.

5.3.3. Cuadro de ventajas y desventajas

En la tabla 12 podemos observar las ventajas y desventajas de las características necesarias que se necesita para poder implementar dicho dron.

Tabla 13: Ventajas y desventajas de los posibles diseños

CARACTERÍSTICA	QUADCOPTER	HEPTACOPTER	OCTACÓPTER
	R	O	O
ESTABILIDAD	Al tener hélices de 3 aspas presenta buena estabilidad a bajas revoluciones.	Buena estabilidad debido a sus 6 rotores.	Mayor estabilidad por el número de rotores.
DURACIÓN DE BATERÍAS	Mayor duración de baterías.	Menor duración debido a mayor consumo.	Alto consumo de baterías por los 8 rotores.
COMPLEJIDAD TÉCNICA	Menor complejidad técnica.	Mayor complejidad técnica por más motores.	Mayor complejidad técnica y posibles desafíos sobre el control
MANIOBRABILIDAD	Buena maniobrabilidad.	Menor flexibilidad debido a mayor tamaño.	Reducción de flexibilidad y maniobrabilidad debido a la complejidad del diseño.

Fuente: Elaboración propia

5.3.4. Matriz Ponderada

En esta matriz se procederá a evaluar los 3 tipos de diseños planteados, siempre y cuando tengamos en cuenta los diferentes criterios planteados con anterioridad. Se evaluará con el siguiente puntaje:

- ✓ 0= No aceptable
- ✓ 1= Regular
- ✓ 2= Aceptable
- ✓ 3= Bueno
- ✓ 4= Muy bueno
- ✓ 5= Ideal

Tabla 14: Matriz pondera de los diseños

CRITERIOS	POSIBILIDAD			
	DESCRIPCIÓN	Peso	Quadcopter	Heptacoptero
ESTABILIDAD	4	4	4	5
TIEMPO DE VUELO	5	4	3	3
MANIOBRABILIDAD	3	5	4	3
FACTIBILIDAD TECNICA	5	4	3	3
TOTAL		71	58	59

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la matriz la ponderada, se puede observar los resultados obtenidos, dando como resultado final la alternativa del quadcopter.

5.3.5. Bosquejo

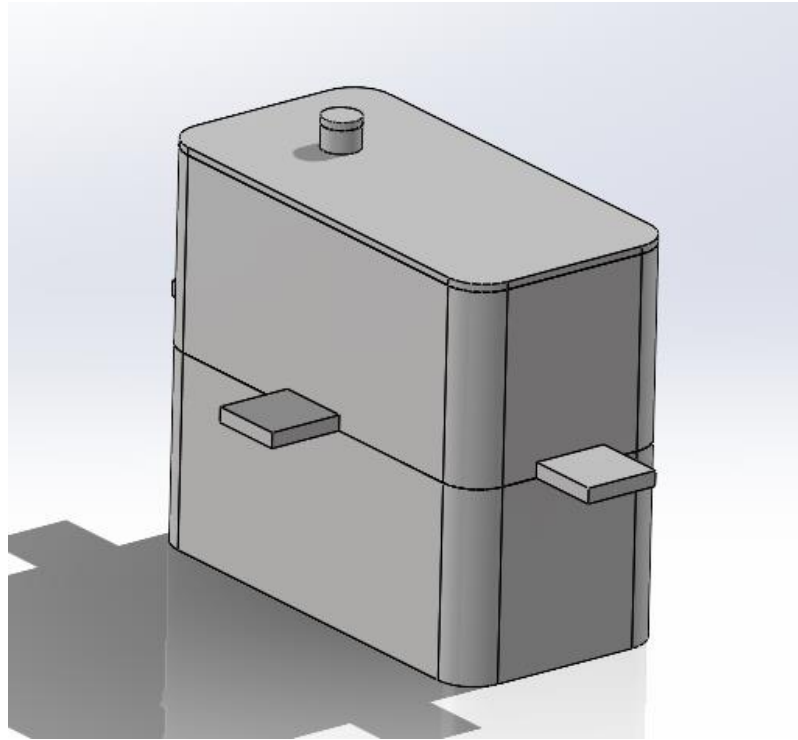


Figura 38: Tanque de agua
Fuente: Elaboración propia

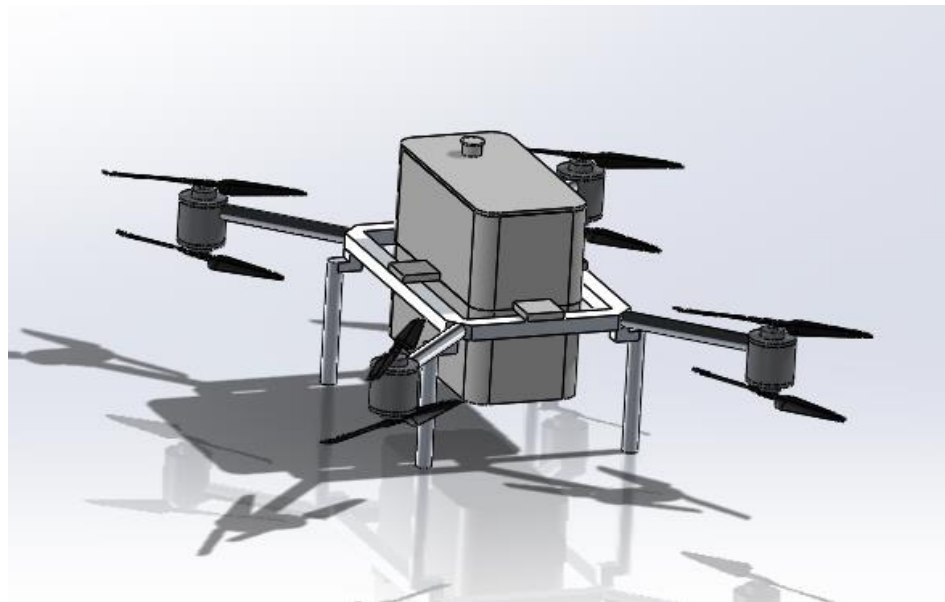


Figura 39: Chasis armado del dron
Fuente: Elaboración propia

5.3.6. Materiales y Propiedades

Para poder realizar los estudios mecánicos correspondientes, se evaluará diferentes materiales, con el fin elegir el más adecuado. Dicha

evaluación se realizará con un Estudio de propiedades, el cual incluirá un cuadro de pruebas para determinar las propiedades mecánicas de cada material, tales como la resistencia, dureza, elasticidad, entre otras. [37]

Tabla 15: Material de referencia

Material de referencia	Valor	Unidad
Módulo de elasticidad	200	GPa
Límite de fluencia	300	MPa
Densidad	4000	kg/(m) ^3
Expansión térmica	0,00007	/K
Conductividad térmica	150	W/(m.k)

Fuente: Ultraprecision mechanism design

Tabla 16: Propiedades del Aluminio 3003

Aluminio 3003	Valor	Unidad
Módulo de elasticidad	69	GPa
Límite de fluencia	41	MPa
Densidad	2700	Kg/cm^3
Expansión Térmica	0,000023	/K
Conductividad Térmica	170	W/(m.k)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Propiedades del aluminio 7075 T6 SS

Aluminio 7075 T6 Chapa SS	Valor	Unidad
Módulo de elasticidad	72	GPa
Límite de fluencia	505	Mpa
Densidad	2810	Kg/cm^3
Expansión Térmica	0,000024	/K
Conductividad Térmica	130	W/(m.k)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Propiedades del aluminio 6061

Material 3- Aluminio 6061	Valor	Unidad
Módulo de elasticidad	69	GPa
Límite de fluencia	227,52	MPa
Densidad	2700	kg/cm^3
Expansión Térmica	0,000024	/K
Conductividad Térmica	152	W/(m.k)

Fuente: Elaboración propia

5.3.6.1. Estudio de propiedades

Aplicando el estudio de propiedades en los materiales a evaluar, se obtuvo la tabla N° 18.

Tabla 19: Estudio de propiedades en relación al material de referencia

	AL 3003	AL 7075 T6	AL 6061
MÓDULO DE ELASTICIDAD	0,35	0,36	0,35
LÍMITE DE FLUENCIA	0,14	1,68	0,76
DENSIDAD	0,68	0,70	0,68
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	1,13	0,87	1,01
EXPANSIÓN TÉRMICA	2,43	3,43	3,43

Fuente: Elaboración propia

5.3.6.2. Criterio

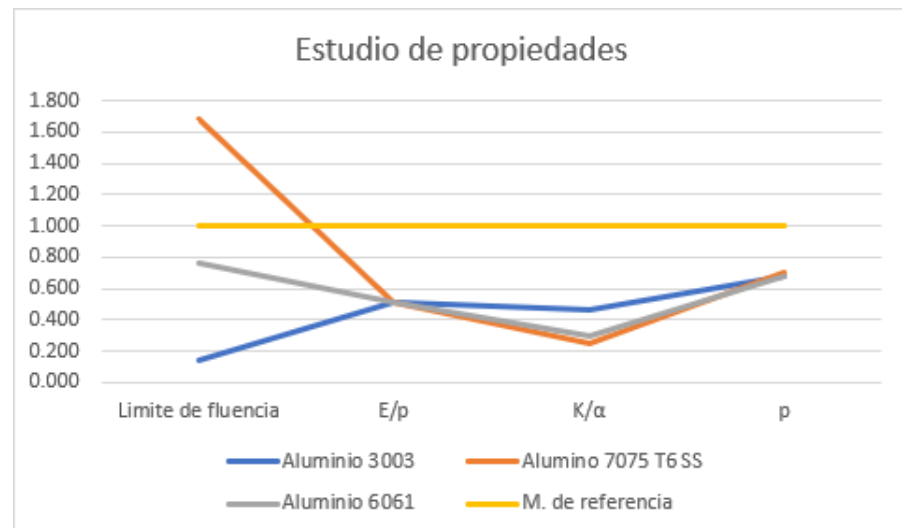
Los criterios a tener en cuenta son:

- Para reducir el riesgo de fluencia: elegir alto: Y
- Para evitar deformaciones por propio peso, elegir alto: E/ρ
- Para frecuencias naturales altas, elegir alto: E/ρ
- Para expansiones pequeñas, elegir alto: k/α

Tabla 20: Resumen de propiedades

	BASE	AL 3003	AL 7075 T6	AL 6061
LÍMITE DE FLUENCIA	1	0,137	1,683	0,758
E/P	1	0,511	0,512	0,511
K/A	1	0,467	0,253	0,296
P	1	0,675	0,703	0,675

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 18: Gráfica de estudio de propiedades
Fuente: Elaboración propia

5.3.6.3. Conclusión

Teniendo en cuenta los criterios de estudio de propiedades, el material a elegir es el Aluminio 7075 T6 chapa SS; pues posee Y y un E/ρ más alto a referencia de los otros materiales, lo que lo vuelve ideal para aplicaciones en la que requieren alta resistencia estructural.

5.3.7. Análisis estático estructural

Para poder realizar el análisis estático estructural se utilizó el software ANSYS STUDENT 2023 R2, en dicho programa se ejecutó el análisis de todo el diseño estructural del dron. Se realizó un análisis de desplazamiento estático, en donde se aplicó 400 N lo cual equivale 40.77 kg del peso total del tanque, incluyendo el líquido fumigante para las plantaciones.

En la figura 40, se muestra la realización del análisis en la cual se eligió como material el Aluminio 7075 T6 chapa SS el cual contiene las siguientes características que se muestran en la siguiente tabla

Tabla 21: Propiedades del Aluminio 7075 T6 chapa SS

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD
DENSIDAD	1230	kg/m^3
MODULO ELASTICO	71200	MPA
COEFICIENTE DE POISSON	0,33	

LIMITE DE TRACCION	570	MPA
LIMITE ELASTICO	505	MPA
DENSIDAD DE MASA	2810	kg/m ³

Fuente: SolidWorks.

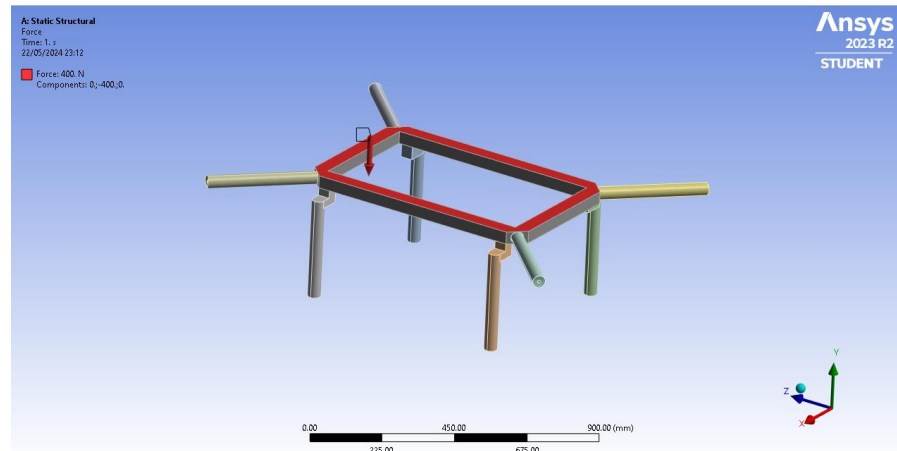


Figura 40: Aplicación 400 N
Fuente: Elaboración propia

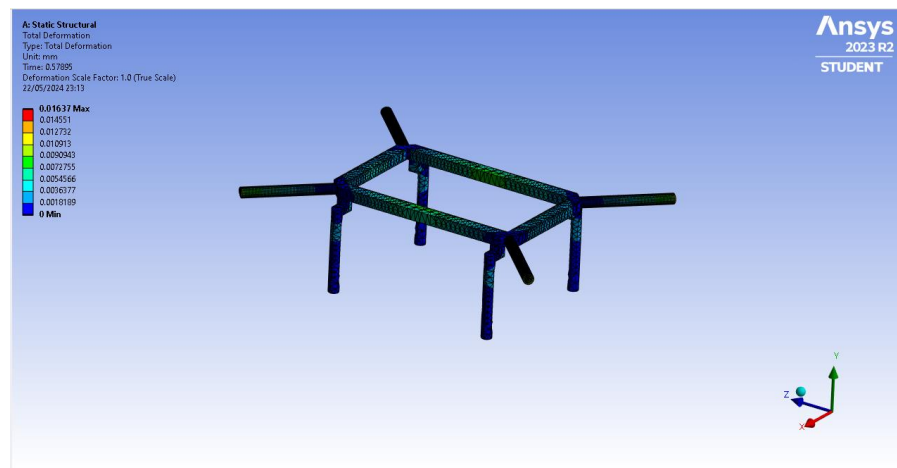
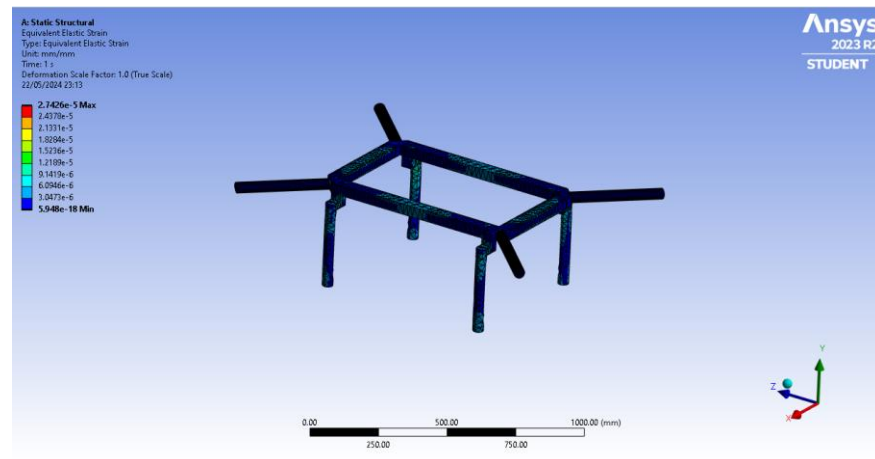


Figura 41: Deformación a escala real
Fuente: Elaboración propia



*Figura 42: Von-Mises
Fuente: Elaboración propia*

5.3.8. Conclusión

En el análisis estructural, en la figura 41 se puede observar que presenta una deformación de 0,01637 mm (valor máximo) a escala real, esto quiere decir que es una deformación o desplazamiento sumamente pequeño, del orden de millonésimas, por lo que la estructura soporta sin mayores complicaciones la carga de 40 kg. Por otro lado, en la figura 42 podemos observar que nos otorga un resultado de deformación de Von-Mises de 2,02 MPA, teniendo en cuenta que el límite elástico es 505 MPA, por lo que este no lo supera.

5.3.9. Análisis de Fatiga

La fatiga de un material se produce cuando este se debilita y eventualmente falla debido a la deformación y la propagación de grietas. Mayormente estas grietas se producen en áreas donde el material recibe esfuerzos cíclicos alcanzando su punto máximo debido a imperfecciones.

En la figura 43, se comprueba que que la vida útil de la estructura del dron en ciclos es de $1e9$, por lo que esta tendra una larga vida util.



Figura 43: Ciclo de Vida
Fuente: Elaboración propia

En la figura 44, se puede observar que no hay una sección crítica en la estructura del dron, por lo que el daño acumulador en este es mínimo.

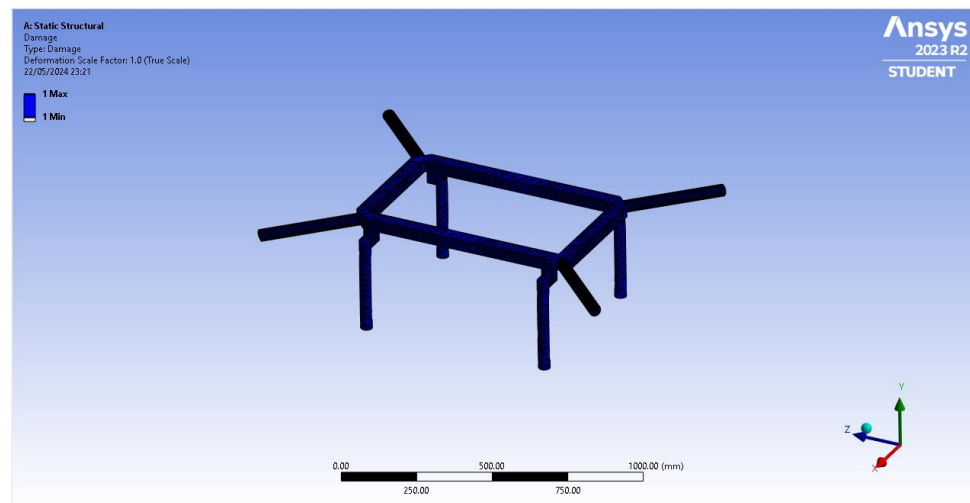


Figura 44: Daño
Fuente: Elaboración propia

En la figura 45, se puede observar que el factor de seguridad se encuentra dentro del rango aceptable, esto quiere decir que la estructura del dron no va a fallar.

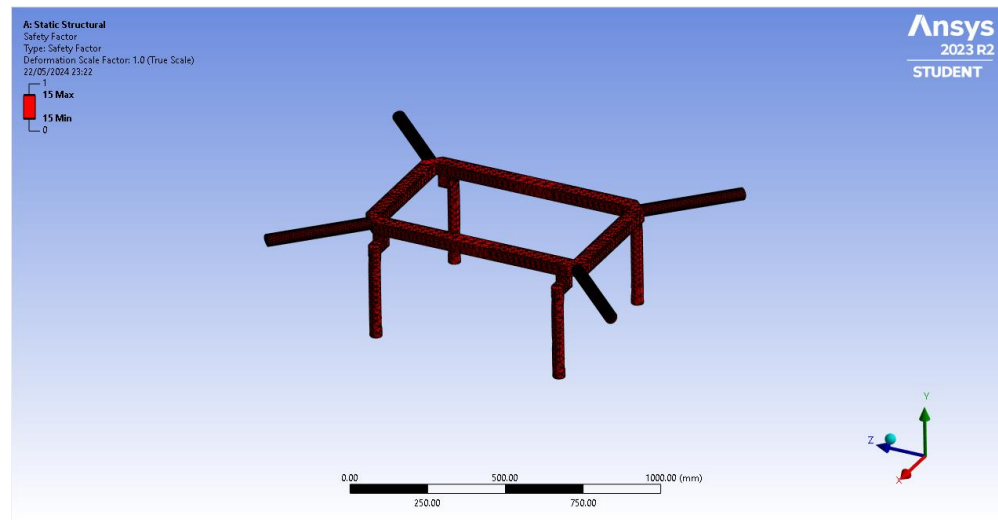


Figura 45: Factor de seguridad
Fuente: Elaboración propia

En la figura 46, se puede observar el grafico de la sensibilidad de la fatiga, al no presentar ninguna curvatura se puede decir que el ciclo de vida es infinito.

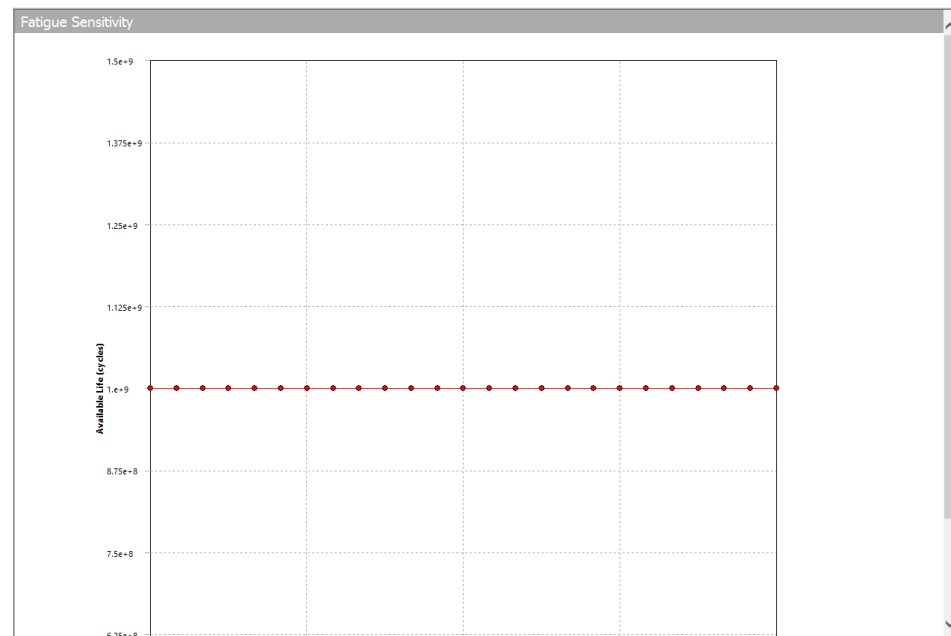


Figura 46: Sensibilidad de fatiga
Fuente: Elaboración propia

5.3.10. Conclusión

En el análisis de fatiga realizado en la estructura del dron, se pueden destacar 3 puntos importantes. En primer lugar, el ciclo de vida

proporcionado por el software ANSYS, no indica que tenga un límite definido, esto quiere decir que el dron puede tener una vida útil indefinida desde el punto de vista de fatiga. En segundo lugar, en termino de acumulación de daños, los valores que se han obtenido sugieren que la estructura no experimenta acumulación de daño significativa. Por último, el factor de seguridad se encuentra dentro del rango aceptable, el cual indica que la estructura está diseñada para soportar las cargas esperadas sin riesgo de falla.

5.3.11. Componentes

Para poder equipar el dron de manera correcta se requiere de componentes electrónicos y los componentes del sistema de fumigación.

5.3.11.1. Motor

El rotor es una parte fundamental dentro del dron, para seleccionar el motor eléctrico sin escobillas, se revisaron distintas páginas web, en donde se procedió a elegir el motor modelo MN1018 KV72. En la figura. Planos del motor Anexo 11.



Figura 47: Rotor sin escobillas
Fuente: RCDrone

Tabla 22: Especificaciones técnicas del motor

MOTOR SIN ESCOBILLAS	
MODELO	MN1018 KV72
PESO	1020 gr
VOLTAJE	38 V
FACTOR KV	72
CONSUMO MAX. DE CORRIENTE	193 A
DIMENSIONES	46,5*121 mm

Fuente: RCDrone

Mediante la ecuación 11, se pudo calcular la potencia de 4284,6 W, por lo que de esta potencia debemos seleccionar la batería.

5.3.11.2. Batería

Para poder elegir la batería adecuada para el dron es necesario realizar el cálculo de la tensión nominal. Teniendo en cuenta que una batería LiPo suele estar conformada por distintas células conectadas en serie, estas producen aproximadamente 3,7 V, por lo que dos baterías conectadas en serie pueden producir 7,4V. [38] Por lo que se obtuvo según el programa una tensión nominal de 22,2V. Anexo 7.

Tabla 23: Especificaciones técnicas de la batería

BATERÍA	
MODELO	TA-PLUS1.0
PESO	6058 gr
CAPACIDAD	22000 mAh
VOLTAJE	44,4 V
TASA DE DESCARGA	25C
DIMENSIONES	237*173*116 mm

Fuente: DroneVal

Es necesario calcular la corriente máxima consumida, esto se halla utilizando la ecuación 09, donde se obtuvo una corriente de 146 Amp. Además, al contar con 8 rotes de 193 Amp cada uno, es necesario calcular la duración para el ESC con la ecuación 08, donde se obtuvo un valor de 0,85 min.

5.3.12. Sistema de fumigación

Utilizando la ecuación 13, se calculó el caudal requerido de las boquillas pulverizadoras que fue de 0,17 litros/min. Teniendo en cuenta que vamos a utilizar 6 boquillas pulverizadoras con un tanque de una capacidad de 20 litros como se muestra en la figura

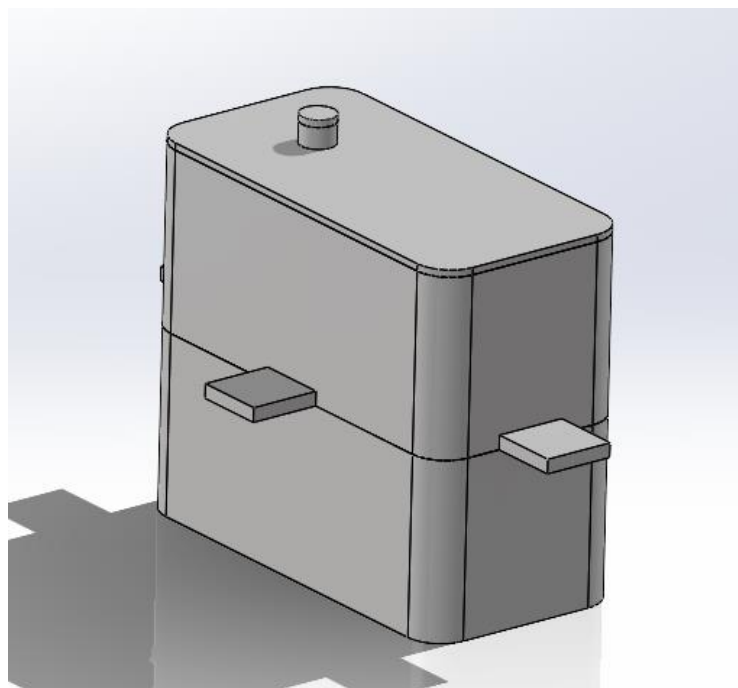


Figura 48: Tanque
Fuente: Elaboración propia

5.3.13. Resultado final

Tabla 24: Resultados del diseño

PROPIEDADES	RESULTADOS	ECUACIÓN
NUMERO DE BATERÍAS	6	-
BATERÍA DEL ESC	22V	07
POTENCIA MAX	4284,6W	11
DURACIÓN DE BATERÍA ESC	0,85 min	08
VELOCIDAD DE VUELO	29,16 m/s	12
AREA DE BOQUILLA	9 mm ²	-
CAUDAL DE BOQUILLA	0.015 l/min	14
CAUDAL REQUERIDO	0,84 l/min	15
TIEMPO DE DURACION DEL TANQUE	22,2 min	16
TIEMPO DE FUMIGACIÓN POR HA	33,3 min	17
DISTANCIA EN 20 LITROS	6666,7 m ²	18
PESO SIN CARGA	38 kg	-

Fuente: Elaboración propia

5.4. Perfil Aerodinámico

5.4.1. Geometría de la hélice

Mediante el uso del software ANSYS, se procederá a analizar el perfil aerodinámico del alabe del rotor que se va a utilizar en el rotor del dron. Teniendo en cuenta que es un cuatrimotor con doble hélice por brazo, esto quiere decir que el empuje vendrá dado por 8 hélices.

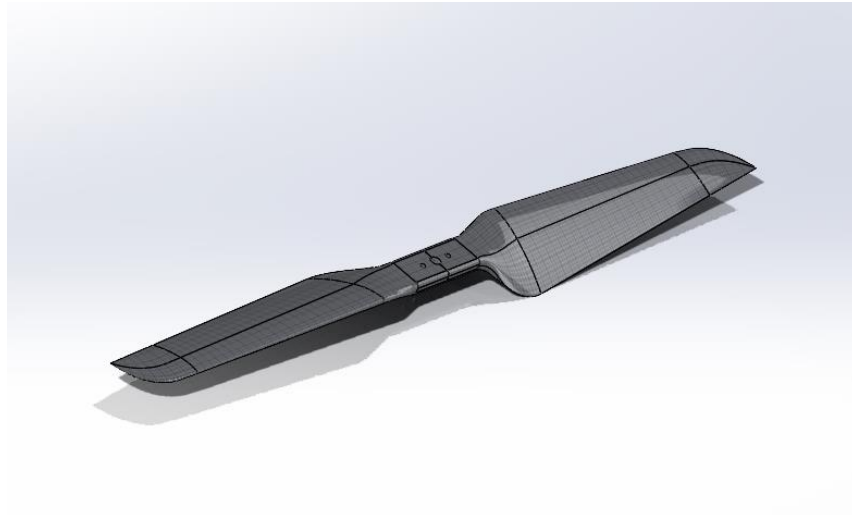


Figura 49: Alabe del rotor
Fuente: SolidWorks

5.4.2. Mallado

La creación del mallado en software es uno de los puntos más importantes para el desarrollo de un estudio que está basado en el CFD, pues este es el encargado de determinar la precisión de los resultados. Por eso, es determinante una buena definición del mallado para obtener una buena calidad en la simulación. [39]

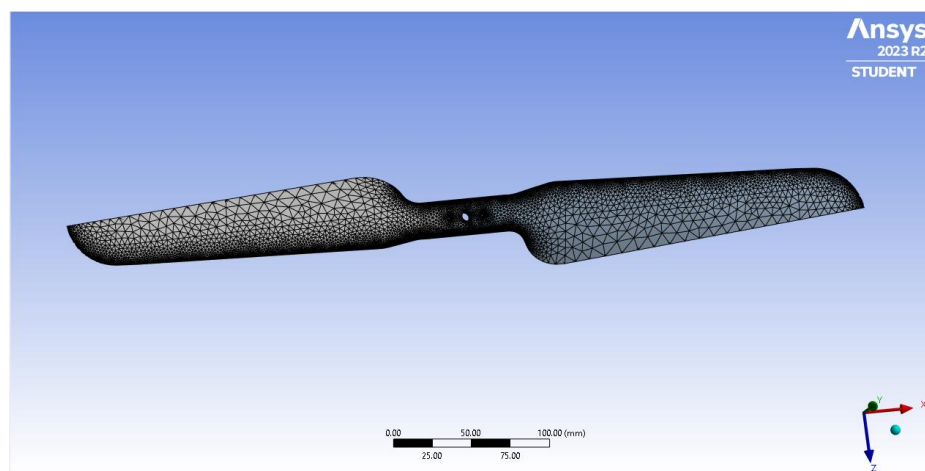


Figura 50: Mallado de la hélice
Fuente: Ansys (mesh)

5.4.3. Dominio estático

Esta región es la parte inmóvil del estudio, pues está ocupada principalmente por el fluido, en este caso es el aire. En la figura 49 se observa la región estática. [39]

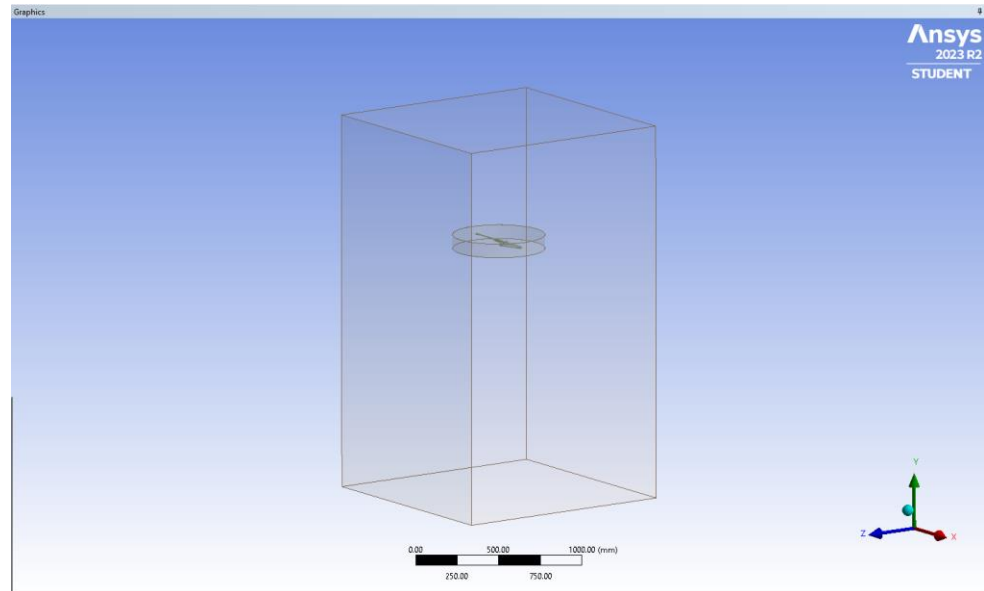


Figura 51: Dominio Estático
Fuente: Ansys

5.4.4. Dominio dinámico

Es la parte que posee movimiento del dominio, además en esta región se encuentra la hélice. Teniendo en cuenta que esta es la zona más sensible, donde la malla tiene que ser refinada para que se pueda obtener resultados más precisos. En la figura 50 se puede observar la región dinámica. [39]

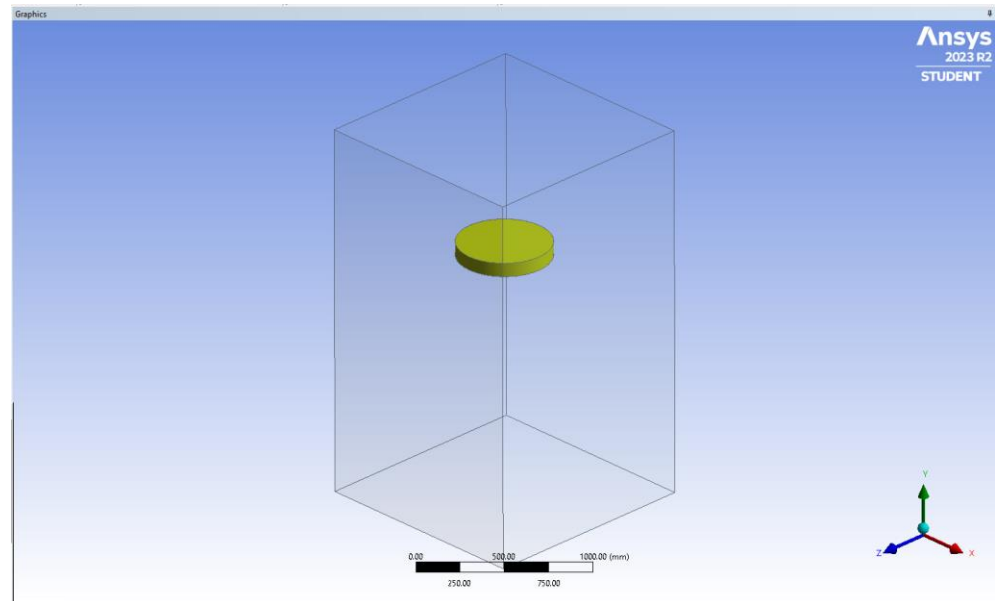


Figura 52: Dominio dinámico

Fuente: Ansys

5.4.5. Condiciones de contorno

Para poder desarrollar el estudio CFD es necesario establecer parámetros, es necesario que estos se encuentren bien definidos para obtener resultados más precisos. En la tabla 21 podemos observar los parámetros establecidos.

Tabla 25: Parámetros de la simulación de la hélice

PARAMETROS	VALOR
VELOCIDAD ANGULAR - HELICE	1500 RPM
TAMAÑO DE LA MALLA	80 mm
GRAVEDAD	9,81 m/s
ESTADO DE TIEMPO	Estable
N° DE INTERACIONES POR PASO DE TIEMPO	1000 (0.01s)
MODELO VISCOSO	K-Epsilon (Realizable)
FLUIDO DE FLUJO	Aire
DENSIDAD DE FLUJO	1,225 kg/m ³
TRATAMIENTO CERCA DE LA PARED	Pared escalable
VELOCIDAD DE INLET	15 m/s
TEMPERATURA	298.15 K

Fuente: Elaboración propia

5.4.6. Resultados

En la figura 53 y 54, se puede observar la presión obtenida por la hélice. La presión máxima obtenida en el CFD fue de 944,483 Pa.

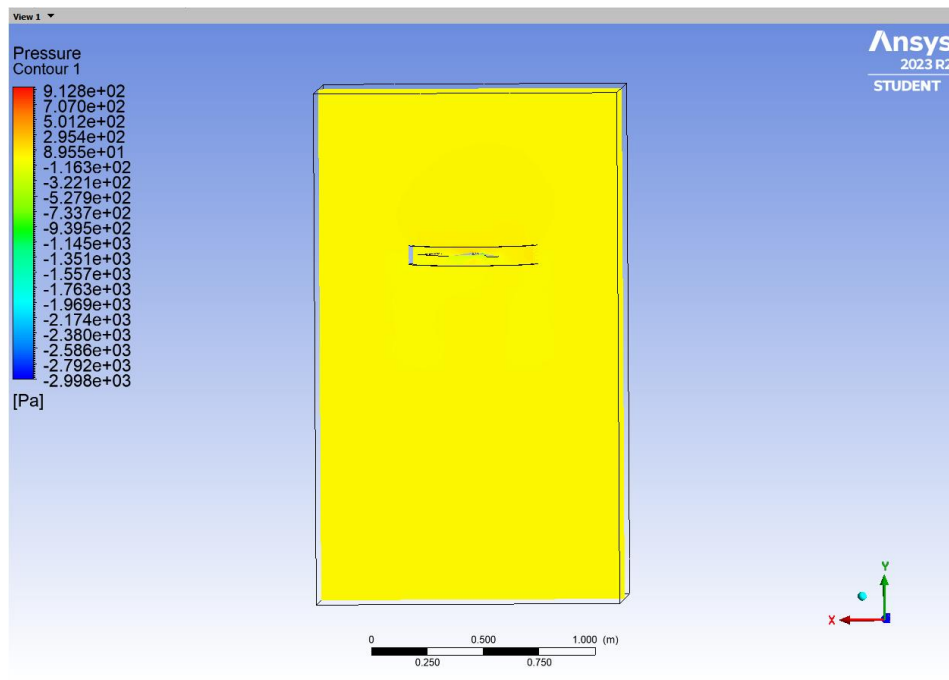


Figura 53: Presión de pala
Fuente: Ansys

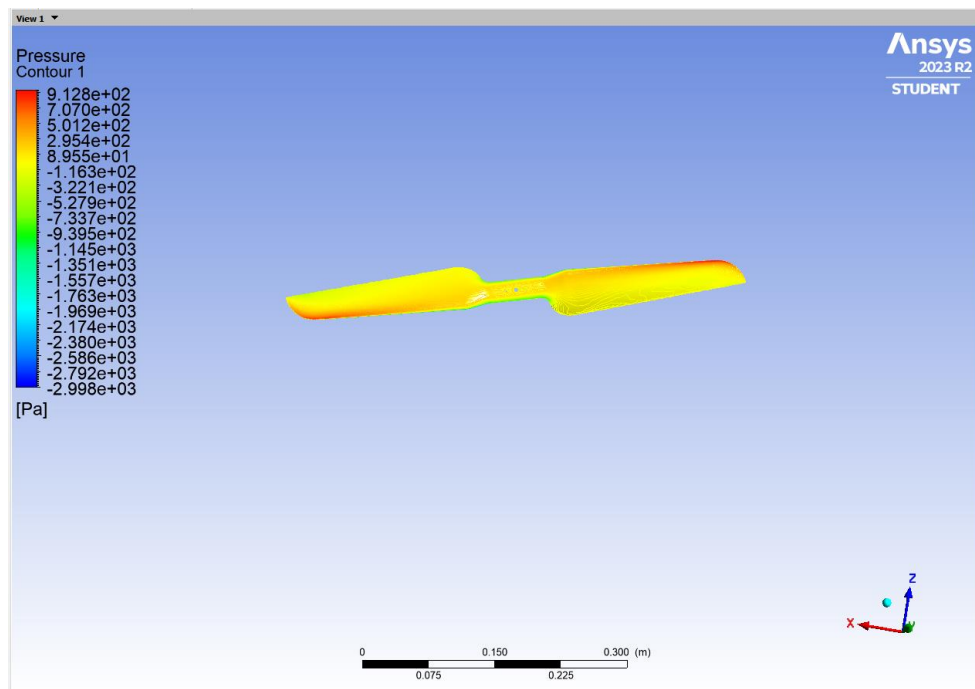


Figura 54: Presión en la hélice
Fuente: Ansys

En la figura 55, se puede observar la velocidad obtenida por la hélice, la cual fue de 56,7293 m/s como máximo

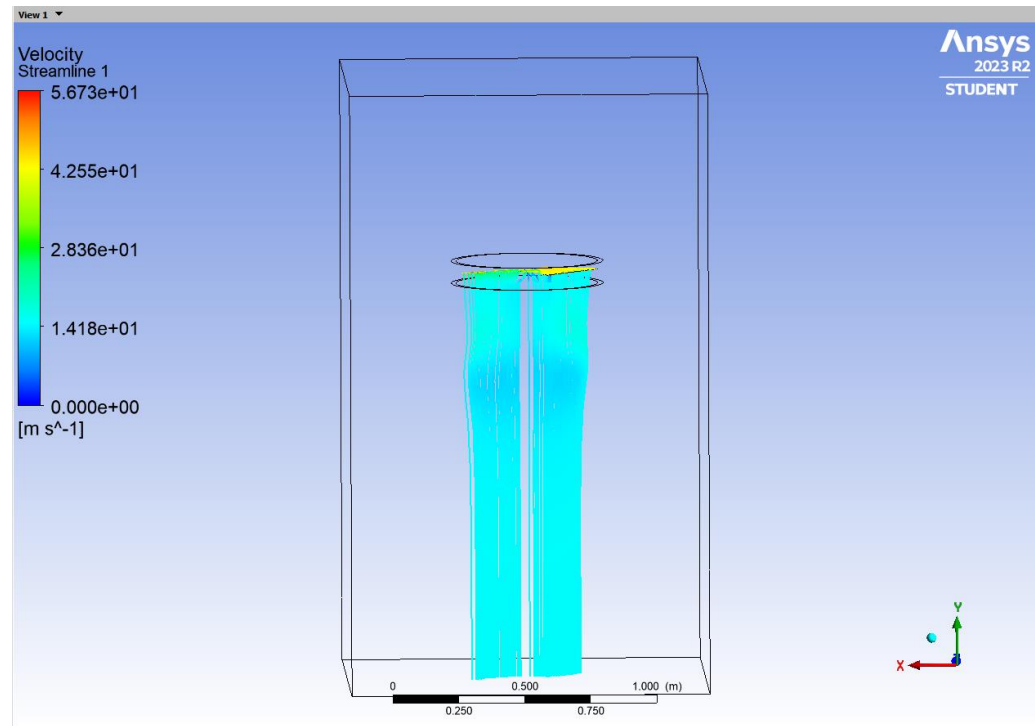


Figura 55: Velocidad
Fuente: Ansys

5.4.7. Perfil aerodinámico del chasis del dron

El análisis aerodinámico se ejecutó realizando el programa de SolidWorks, para ello se utilizó el ensamble completo del dron para poder obtener los resultados necesarios.

En la figura 56, se puede observar la inserción de nuevas piezas, con la finalidad de poder de simular que está volando, cabe resaltar que estas piezas son únicas para el diseño del dron.

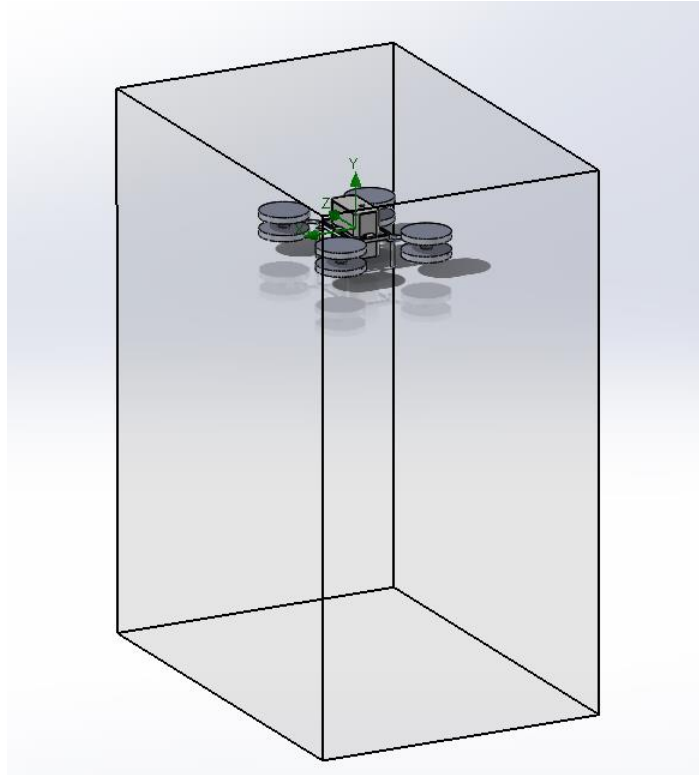


Figura 56: Parámetros para la simulación.
Fuente: Elaboración Propia

En la figura 57, se puede observar el sistema de unidades para dicha simulación, que es el sistema internacional (SI). Los parámetros seleccionados fueron la gravedad, presión, temperatura, el aire y también la humedad, los cuales se pueden observar en la tabla N°21.

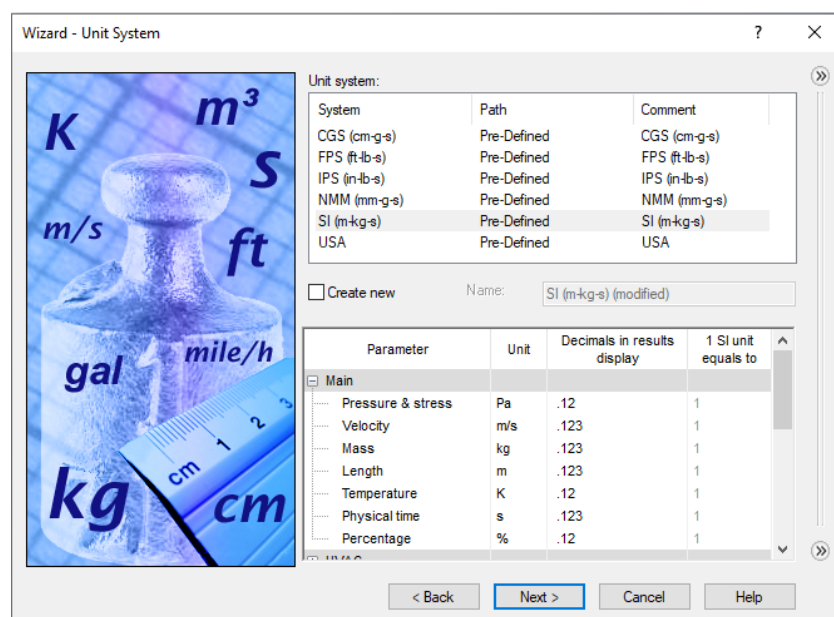


Figura 57: Sistemas de unidades
Fuente: SolidWorks

Tabla 26: Parámetros del SolidWorks

PARAMETROS	VALOR
VELOCIDAD ANGULAR - HELICE	1500 RPM
PRESIÓN	101325 PA
GRAVEDAD	9,81 m/s
INTENSIDAD DE TURBOLENCIA	0.1
LONGITUD DE TURBOLENCIA	0.006125
HUMEDAD RELATIVA	50%
FLUIDO DE FLUJO	Aire
DENSIDAD DE FLUJO	1,225 kg/m ³
TEMPERATURA	298.15 K

Fuente: SolidWorks

En la figura 58, podemos visualizar que el dron cumple con las condiciones de vuelo, pues genera una presión máxima de 102682,81 PA.

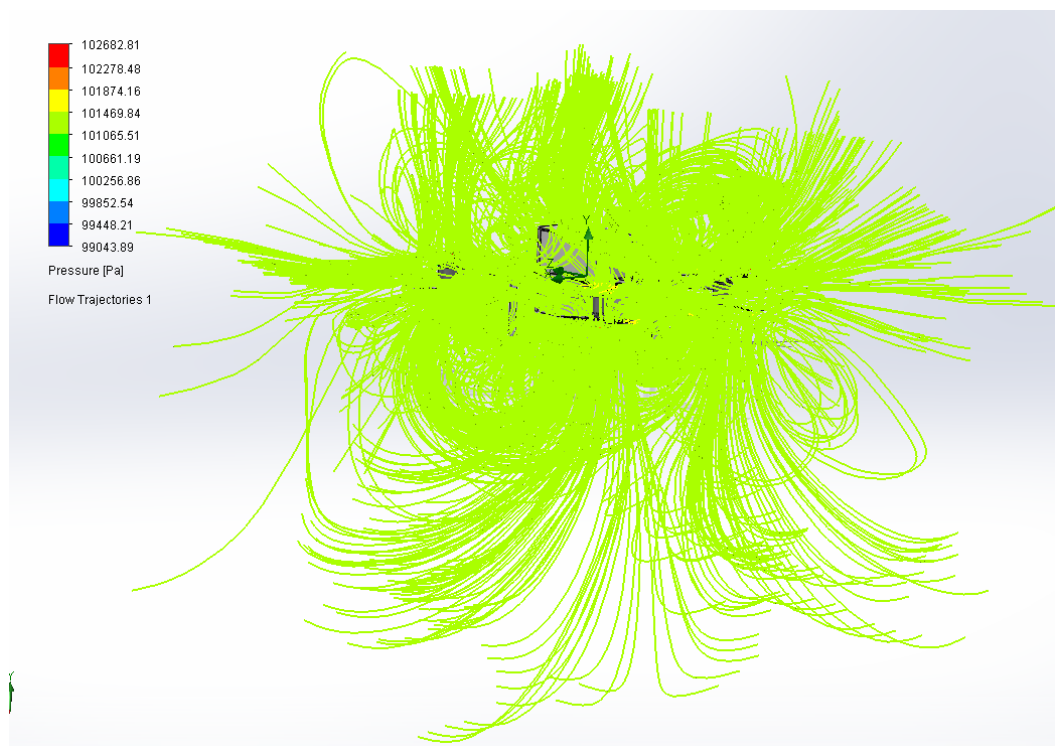


Figura 58: Simulación del perfil aerodinámico

Fuente: Elaboración propia

En la figura 59, podemos visualizar que el dron cumple con las condiciones de vuelo, pues genera una velocidad máxima de 45,752 m/s.

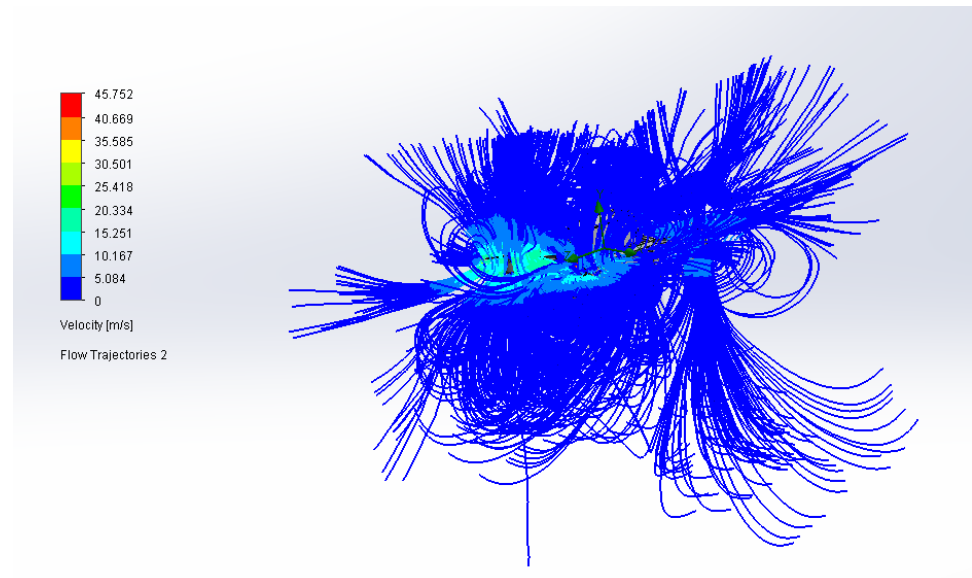


Figura 59: Velocidad del dron
Fuente: Elaboración propia

5.4.8. Conclusión

Los resultados de la simulación tanto de la hélice como en la aerodinámica del chasis, nos indican que este cumple con todas las condiciones requeridas para el vuelo.

5.4.9. Resultados

Análisis CFD de cuadricóptero completo publicado por International Journal Of Advanced Multidisciplinary [40]. Los resultados fueron:

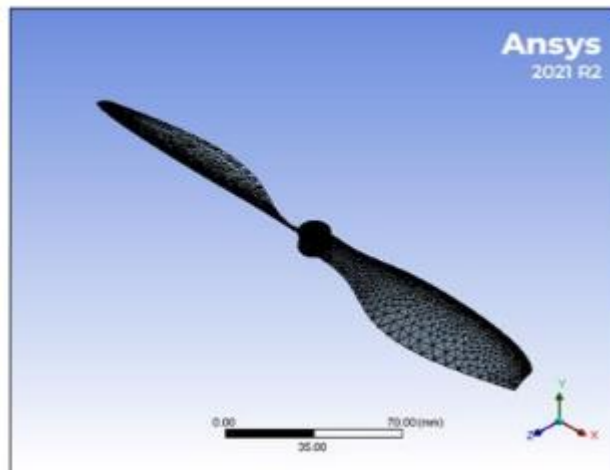


Figura 60: Helice

Fuente: International Journal Of Advanced Multidisciplinary

Table 1: Simulation Parameters of Propeller

Parameter	Value
Propeller Angular Velocity	6000 RPM
Size of Mesh Element	20 mm
Gravity	9.81 m/s ²
Time State	Steady
No. Iterations per time step	1000 (0.01 s)
Viscous model	K-Epsilon (Realizable)
Near Wall Treatment	Scalable Wall function
Flow Fluid	Air
Quadcopter Mass	1.4 kg
Flow Density	1.225 kg/m ³

Figura 61: Parámetros de la simulación

Fuente: International Journal Of Advanced Multidisciplinary

Tabla 27: Tabla comparativa

	CFD (REFERENCIAL)	CFD (ANÁLISIS PROPIO)
PRESIÓN DE LA HÉLICE	2410,44 Pa	944,483 Pa
VELOCIDAD DE LA HÉLICE	70,5523 m/s	56,7293 m/s

Fuente: Elaboración propia

En el análisis comparativo se puede observar que la velocidad y la presión varía de acuerdo a los parámetros referenciales, pues en el CFD referencial, los rpm son de 6000 mientras que en el análisis realizado es de 1500.

CFD completo del dron usando SolidWorks obtenido del repositorio de la USS [8]. Los resultados obtenidos fueron:

Parámetros para simulación dinámica	
Parámetros de presión y temperatura	
Parámetro	Presión, temperatura
Presión	101325 Pa
temperatura	293.2 K
Parámetro de turbulencia	
Intensidad de turbulencia	0.1 %
Longitud de turbulencia	0.0121918405 m
Humedad	
Humedad relativa	50%

Tabla 30. Parámetros para la simulación de análisis dinámico

Figura 62: Parámetros referenciales

Fuente: Tesis (Fernández Guevara, Herrera Pizarro – 2021)

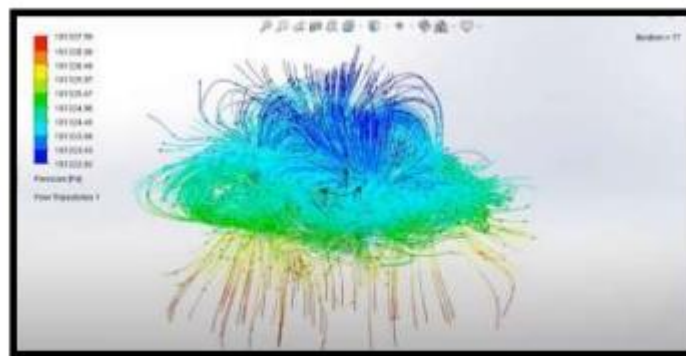


Figura 63: Simulación referencial

Fuente: Tesis (Fernández Guevara, Herrera Pizarro – 2021)

Tabla 28: Tabla comparativa (CFD-SolidWorks)

	CFD (REFERENCIAL)	CFD (ANÁLISIS PROPIO)
PRESIÓN GENERADA	101322,92 Pa	102682,81 Pa
VELOCIDAD GENERADA	26 m/s	45,752 m/s

Fuente: Elaboración propia

En el análisis comparativo se puede observar que la velocidad y la presión varía de acuerdo a los parámetros referenciales, pues en el CFD referencial, es de un chasis de hexacóptero.

5.5. Factibilidad económica

Teniendo en cuenta que los drones para la agricultura poseen una vida útil de 15 años y un periodo de depreciación de 10 años, se procederá a realizar el cálculo de la inversión considerando los costos implicados en su diseño, para ello se determina costos fijos y variables, como también la rentabilidad del dron. Los precios se trabajarán en soles. [8]

5.5.1. Material

Se obtuvo información con respecto al precio del material a utilizar en la fabricación del dron, a través de distribuidoras nacionales especializadas en este tipo de productos. El precio del Aluminio 7075 T6 SS en filamentos para impresora 3d, según dichas distribuidoras es de S/320 por rollo.

5.5.2. Costos para el diseño del dron

Tabla 29: Costos para la fabricación del dron

ITEM	MATERIA PRIMA/EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL
1	Impresora 3D	1	S/2500.00	S/2,500.00
2	Materia prima (placa)	2	S/320.00	S/640.00
3	Hélices	3 juegos	S/680.00	S/3,400.00
4	Laptop	1	S/3000.00	S/3,000.00
5	Batería	1	S/3000.00	S/3,000.00
6	Sistema de fumigación	4 juegos	S/500.00	S/2,000.00
7	Motor	8	S/950.00	S/7,600.00
8	ESC	8	S/200.00	S/1,600.00
9	Controlador de vuelo	1	S/500.00	S/500.00
TOTAL				S/24,240.00

Fuente: Elaboración propia

Se realizo en una hoja de cálculo de Excel, el cual se indica en el anexo 9.

Tabla 30: Caja de flujo

	PRECIO
VENTA DE ACTIVO	S/29,000.00
UTILIDAD	S/9,608.00
VALOR DE LIBRO	S/19,392.00
IMPUESTO DE 15%	S/1,729.00
UTILIDAD NETA	S/7,878.56
VALOR DE LIBRO	S/19,392.00
FLUJO NETO	S/21,121.44

Fuente: Elaboración propia

5.5.3. Depreciación contable

Para poder calcular la depreciación contable del dron, se divide el costo total de fabricación ente los años en el que este se desprecia.

Tabla 31: Resultado de la epreciación contable

DEPRECIACIÓN CONTABLE	
$D =$	S/2,424
$V_{\alpha} =$	S/24,240.00

$$n = \quad | \quad S/10$$

Fuente: Elaboración propia

5.5.4. Tasa mínima de retorno

Para poder calcular la tasa de retorno mínima, es necesario considerar la inflación y la tasa de riesgo [41]. Además, la tasa que se debe elegir es alta, siendo un 18%. Ahora, el BCRP para el año 2023 – 2024 nos da una tasa de inflación del 7.25%. Se puede calcular utilizando la siguiente ecuación 19:

$$T_{MR} = T_i + T_r \quad (19)$$

✓ $T_i = \text{Tasa inflación}$

✓ $T_r = \text{Tasa de riesgo}$

Tabla 32: Tabla de criterios

ITEM	RIESGO	RANGO
1	Bajo	3 – 6 %
2	Medio	6 – 10 %
3	Alto	>10%

Fuente: Sapag (Proyectos de Inversión)

$$T_{MR} = (15 + 7)\%$$

$$T_{MR} = 22\%$$

5.5.5. Situación en proyecto fabricado

En la tabla 29 podemos observar una situación ya con el proyecto fabricado.

Tabla 33: Proyecto fabrica (Situación)

ITEM	PROYECTO
INGRESOS	S/29000.00
DEPRECIACIÓN	S/2,424.00
COSTOS	S/24,240.00
UTILIDAD	S/2,336.00
IMPUESTO	S/350.4
UTILIDAD NETA	S/1,985.6
DEPRECIACIÓN	S/2,424
FLUJO NETO	S/4,409

Fuente: Elaboración propia

5.5.6. Conclusión

De acuerdo a la tabla 25, la inversión total del proyecto es de S/24,240.00 soles, por esa razón para poder obtener una ganancia se ha valorizado en un costo de S/29,000.00. Teniendo en cuenta que el

análisis económico aplicado fue solo para determinar los gastos de fabricación, ensamble e inversión. El precio es razonable teniendo en cuenta que los drones que se encuentran en el mercado tienen un precio de alrededor de S/50,000.

VI. Discusión

El diagnóstico realizado reveló varios riesgos e ineficiencias con el uso de las herramientas manuales en los sistemas de pulverización, por lo que resalta la necesidad del uso de un nuevo sistema de pulverización. La evaluación ambiental permitió identificar parámetros críticos, como la velocidad del viento que fue de 3,14 m/s, dirección suroeste y una temperatura promedio de 24,16 °C, que son esenciales para tener en cuenta al momento del diseño y simulación.

El diseño estructural del chasis y la selección de componentes, utilizando SolidWorks y ANSYS, demostró ser un diseño robusto y eficiente. La elección del Aluminio 7075 T6 SS como material para el chasis, garantiza durabilidad, y las simulaciones confirmaron que el chasis soporta las cargas operativas sin fallos estructurales.

La evaluación aerodinámica CFD mostró que el sistema opera eficientemente, con una velocidad máxima de 56,7293 m/s para las hélices y una presión máxima de 102682181 Pa a 1500 rpm para el chasis del dron, asegurando con ello un vuelo efectivo y controlado.

Con un costo de fabricación de S/24,240.00 y un precio de venta propuesto de S/29,000.00, el estudio de factibilidad económica reveló el dron es competitivo, pues el sistema se posiciona como alternativa accesible frente a otros drones del mercado, cuyo valor promedio es de S/50,000.00, lo que facilita su adopción.

VII. Conclusiones

- Se realizó el diagnóstico basado en investigaciones según fuentes y complementado de encuestas. Este reveló que los sistemas de pulverización (herramientas manuales), presenta distintas inconsistencias en el tema de pulverización, lo cual genera un impacto negativo en la eficiencia del uso de agroquímicos y la salud de quien los utiliza.
- Se evaluó las condiciones ambientales del área en donde se va a realizar la pulverización, y se determinó los siguientes parámetros como: la velocidad

promedio anual que fue 3,14 m/s a una altura de 10 m, una dirección de viento de suroeste y una temperatura promedio anual de 24.16 °C, que juegan un rol crucial en la eficiencia del proceso a realizar. Permitiendo establecer parámetros óptimos.

- Aplicando una matriz morfológica se seleccionaron los componentes necesarios para crear el modelo del chasis y los componentes a utilizar, utilizando el software SolidWorks. Además, mediante un estudio de propiedades se seleccionó el material para la estructura, el cual fue el Aluminio 7075 T6 SS, pues posee un alto límite a la fatiga. Los resultados de la simulación utilizando el software ANSYS STUDENT, nos dio que el chasis tendrá un desplazamiento máximo de 0.01637 mm y un esfuerzo máximo de 2.02 MPA. La simulación por fatiga demostró que el chasis, al ser expuesto .de 400 N, no fallará, pues esta carga no es lo suficientemente grande como para causar el 1% del daño de material, y el ciclo de vida arroja $1e9$, lo que quiere decir que tendrá un ciclo de vida sumamente largo.
- La evaluación del perfil aerodinámico del alabe se realizó utilizando el software ANSYS (CFD), dando por resultado una velocidad máxima de 56,7293 m/s, con una presión de 944,483 PA. La evaluación aerodinámica del chasis completo del dron se realizó en el software SolidWorks, dando por resultado una presión máxima de 102682,81 a 1500 rpm, con una velocidad total de 45,752 m/s.
- Se realizó un estudio de factibilidad económica, donde el costo de fabricación es de S/24,240.00 soles. Con la finalidad de poder obtener una ganancia se valorizó en S/29,000.00, un precio razonable, teniendo en cuenta que los drones en esta categoría tienen un valor promedio de S/50,000.00

VIII. Recomendaciones

- Realizar el sistema de control de vuelo, el cual se debe profundizar, pues este es el encargo de realizar el vuelo autónomo.
- Realizar un nuevo estudio aerodinámico del chasis completo del dron en el software ANSYS CFD, por motivos de licencia no se realizó.

- Realizar un estudio de costo de mantenimiento, para poder observar cómo varían sus costos.
- Finalmente, teniendo en cuenta que dicha investigación tiene en cuenta las simulaciones realizadas en software, se recomienda su fabricación y con ello realizar la validación en cultivos de plantas gramíneas.

IX. Referencias

- [1] D. F. M. Gavilanez, «Sistema autonomo de pulverizacion para fumigacion de plantaciones de frutilla asistido por un dron,» Universidad Tecnica de Ambato, Ecuador, 2019.
- [2] D. A. M. Puma, «Universidad Politecnica Salesiana,» 03 2016. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13088/1/UPS%20-%20ST002268.pdf>. [Último acceso: 14 09 2022].
- [3] M. A. L. Feijoo, «Revista Cientifica Agroecosistemas,» 13 02 2017. [En línea]. Available: <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/84>. [Último acceso: 13 09 2022].
- [4] L. Bramn, «ACADEMIA,» [En línea]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-77432021000200004&script=sci_arttext_plus&tlng=es#B3. [Último acceso: 14 09 2022].
- [5] O. D. G. F. Alberto Daniel Chira Pozo, «Repositorio UCV,» 2021. [En línea]. Available: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87216>. [Último acceso: 15 05 2023].
- [6] D. F. M. Gavilanez, «Repositorio Universidad Tecnica de Ambato,» 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30072>. [Último acceso: 15 05 2023].
- [7] J. P. R. Ospina, «Repositorio Los Libertadores,» 2021. [En línea]. Available: <https://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/4898>. [Último acceso: 05 2023].
- [8] H. P. M. D. Fernandez Guevara Jose Alexander, «Repositorio USS,» 2021. [En línea]. Available: <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/10159>. [Último acceso: 05 2023].
- [9] A. A. A. Aravela, «Renati,» 2021. [En línea]. Available: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3147834>. [Último acceso: 05 2023].
- [10] Comisión Nacional de Riego, «Instituto de Investigacion Agropecuarias,» 02 2001. [En línea]. Available: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/40180/NR26419.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [11] AEFA, «AEFA,» 2021. [En línea]. Available: <https://aeфа-agronutrientes.org/glosario-de-terminos-utiles-en-agronutricion/pulverizacion>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [12] CASAFE, «BVS,» BINANCIS, ARGENTINA, 1993.
- [13] A. P. H. F. Cristian Jimenez, «SCIELO,» 23 05 2016. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v18n3/v18n3a03.pdf>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [14] J.-P. y. N. H. y. S. O. y. C. A. Yaacoub, «IOPSCIENCE,» 2020. [En línea]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/169/1/012003/meta>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [15] J. M. Martínez-Carrasco, «Universidad Politecnica de Cartagena,» 04 10 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/8904/tfg-mar-est.pdf?sequence=1>. [Último acceso: 21 06 2023].

- [16] O. P. Cristian Serrano, «Universidad Politécnica de Cataluña,» [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/102000/Resumen.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [17] C. F. Rodriguez, «Universidad Politencia de Valencia,» 10 09 2021. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/175013/Flores%20-%20Estudio%20CFD%20del%20empuje%20generado%20por%20las%20helices%20de%20un%20dron%20cuatrimotor%20en%20condiciones%20de....pdf?sequence=1>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [18] J. M. R. Sanchez, «Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP),» 07 2018. [En línea]. Available: https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/12796/RAMIREZ_JULIO_AERODINAMICO_VEHICULO_AEREO_NO_TRIPULADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 05 10 2023].
- [19] O. Gomez, «Universidad Tecnologica de Pereira,» 2016. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/84108402.pdf>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [20] O. E. A. Balseca, «Universidad Politécnica de Madrid,» [En línea]. Available: https://oa.upm.es/56555/1/TFG_OMAR_ESTALIN_ALARCON_BALSECA.pdf. [Último acceso: 21 06 2023].
- [21] P. R. Martín, «Universidad Politecnica de Valencia,» [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73170/RUIP%C3%89REZ%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20fabricaci%C3%B3n%20de%20un%20dron%20mediante%20impresi%C3%B3n%203D.pdf?sequence=5>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [22] J. B. Garcia, «Universidad Pontificia Comillas,» 07 2016. [En línea]. Available: <https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/31447/retrieve>. [Último acceso: 21 06 2023].
- [23] E. A. P. Peredo, «Repositorio UDEP,» 05 2016. [En línea]. Available: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2514/MAS_IME_AUT_002.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 22 06 2023].
- [24] P. D. Javier Orna, «La Escuela Politécnica Nacional,» 04 2015. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10924/1/CD-6343.pdf>. [Último acceso: 22 06 2023].
- [25] M. C. Perez, «Universidad de Almería,» 11 2017. [En línea]. Available: http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/6113/17216_MCP_Documento_TFM_final.pdf?sequence=1. [Último acceso: 22 06 2023].
- [26] V. U. Constantino, «SCIELO,» 03 2006. [En línea]. Available: <http://www.vidarural.es/>. [Último acceso: 20 06 2023].
- [27] JACTO, «jacto,» 26 08 2022. [En línea]. Available: <https://bloglatam.jacto.com/tipos-de-pulverizadores/>. [Último acceso: 18 09 2023].
- [28] Dr. Luis Ruiz Garcia, «Tractores y maquinas,» 11 01 2023. [En línea]. Available: <https://www.tractoresymaquinas.com/pulverizadores-atomizadoras-tipos/>. [Último acceso: 18 09 2023].
- [29] Bruno Cilloniz, «AgroForum,» 06 11 2008. [En línea]. Available: <https://www.agroforum.pe/procesos/peru-cinco-avionetas-fumigacion-aerea-de-toda-area-agricola-1660/>. [Último acceso: 18 09 2023].
- [30] Helipan Corp, «Helipan,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.helipan.com/es/servicios/fumigacion>. [Último acceso: 18 09 2023].
- [31] E. Pino, «Scielo,» 03 2019. [En línea]. Available: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v37n1/0718-3429-idesia-00402.pdf>. [Último acceso: 18 09 2023].
- [32] QuestionPro, «QuestionPro,» QuestionPro, [En línea]. Available: <https://www.questionpro.com/es/calculadora-de-muestra.html>. [Último acceso: 11 2023].
- [33] SENAMHI-PERÚ, «Servicio Nacional de Metereologia e Hidrologia,» [En línea]. Available: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-meteorologico>. [Último acceso: 08 10 2023].
- [34] NASA, «NASA POWER,» [En línea]. Available: <https://power.larc.nasa.gov>. [Último acceso: 08 10 2023].

- [35] Iperu, «Portal iPeru,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.iperu.org/distrito-de-nueva-arica-provincia-de-chiclayo>. [Último acceso: 05 10 2023].
- [36] Gobierno de Navarra, «Meteo Navarra,» [En línea]. Available: <http://meteo.navarra.es/definiciones/viento.cfm>. [Último acceso: 10 10 2023].
- [37] S. T. a. D. C. Smith, *Ultraprecision Mechanism Design*, CRC Press, 2003.
- [38] Translatorcafe, «TranslatorCafe,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.translatorscafe.com/unit-converter/es-ES/calculator/multicopter-lipo-battery/>. [Último acceso: 20 05 2024].
- [39] R. F. Cristian, «Universidad Politecnica de Valencia,» 10 08 2021. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/175013>. [Último acceso: 01 06 2024].
- [40] A. O. E. Saleh Hamada Almallah, «International Journal of Advanced Multidisciplinary,» 19 11 2022. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/365999969_CFD_Analysis_of_Full_Quadcopter. [Último acceso: 15 06 2024].
- [41] N. S. Chain, *Proyectos de Inversion, Chile* : Maria Clara Andrade, 2011.
- [42] U. D. SONORA, «SCIELO,» 02 2018. [En línea]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992018000100007. [Último acceso: 20 06 23].

X. Anexos

Anexo 1. Cuestionario de encuesta

**INNOVACIÓN EN EL PROCESO DE FUMIGACIÓN, DE LOS CULTIVOS
DESARROLLADOS EN EL SECTOR AGRICOLA DEL DISTRITO DE NUEVA
ARICA, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE**

Objetivo:

La siguiente encuesta tienen como finalidad la recopilación de información sobre las dificultades que enfrentan los agricultores, del distrito de Nueva Arica, de la provincia de Chiclayo departamento de Lambayeque, con respecto a la fumigación, de sus sembríos, con equipos manuales (mochila pulverizadora), con la intención de explorar la viabilidad de introducir sistemas de pulverización aéreos (drones), de mayor eficiencia, para mejorar dicho proceso.

Instrucciones:

Agradezco, sinceramente, su colaboración en la validación de los ítems que conforman la presente encuesta.

A continuación, se adjunta una plantilla con los puntos, considerados básicos, para evaluar la realidad actual que presenta la ejecución de la actividad de fumigación de cultivos en el sector agrícola mencionado.

Las respuestas de los agricultores involucrados, serán cruciales para tener una idea clara del nivel de su problemática, necesidades y preocupaciones.

Se les agradecerá, respondan con honestidad, marcando con un aspa (X) o escribiendo alguna opinión a la pregunta planteada; esto será fundamental para orientar futuras innovaciones.

I. Información Demográfica

- Nombre del agricultor:
- Ubicación:
- Tipo de cultivo:

II. Experiencia con Herramientas Manuales

- a) Al utilizar la mochila pulverizadora, ¿Cuáles son las principales dificultades que se le presenta?
- Fatiga o cansancio durante el uso.
 - Dificultara para alcanzar algún tipo de área específica.
 - Limitación en la cobertura de aplicación.
 - Otro(especifique):

- b) ¿Ha presentado dificultades para fumigar plantas con altura considerable?
- Si.
 - No
 - En algunas ocasiones.
 - Otro(especifique):

JAIME M. CORREA CASTAÑEDA

III. Salud Impacto

a) ¿Ha presentado efectos adversos en salud debido a la exposición de los agroquímicos durante el proceso de trabajo, utilizando la fumigación manual?

- Si.
 No.
 No estoy seguro.
 Otro(especifique):

b) ¿Considera que la salud de los trabajadores agrícolas se encuentra en riesgo debido a la fumigación tradicional?

- Si.
 No.
 No estoy seguro.
 Otro(especifique):

IV. Conocimiento Actual

a) ¿Posee conocimiento sobre el uso de drones en la agricultura?

- Si.
 No.
 No estoy seguro.
 Otro(especifique):

b) ¿Cree que la innovación con drones sería beneficioso en comparación con otros métodos de fumigación?

- Si.
 No.
 No estoy seguro.
 Otro(especifique):

V. Beneficios y preocupaciones

a) ¿Qué preocupaciones tendría al adoptar el uso de drones para la fumigación?

- b) ¿Qué beneficios espera obtener al utilizar drones en comparación con otras herramientas manuales?

VI. Interés

- a) ¿Estaría dispuesto a recibir capacitación para operar drones de fumigación en sus cultivos?

- b) ¿Qué tipo de recursos o apoyo requerirá para optar con éxito esta innovación?

VII. Comentarios adicionales

- ¿Hay algo más que le gustaría añadir sobre sus experiencias con la fumigación o opiniones sobre el uso de drones de fumigación?

Anexo 3. Cuadro obtenido por la comisión de regantes del distrito de Nueva Arica

COMISION DE USUARIOS NUEVA ARICA
RESUMEN

N°	CANAL	AREA TOTAL	BAJO RIEGO	LICENCIA	PERMISO	N° USUARIOS	N° PREDIOS
01	PALMO	511	511	500.5	121	272	272
02	COLLAO	195	195	187		112	112
03	CAMPANA	189	189	189		58	64
04	CHUMBENIQUE	424	424	424		75	88
05	GRAMADAL	152	152	121	1	36 81	36 81
06	CULPON	198	198	198	97	92	93
07	SORRONTO	51	51	45.6		9	17
	TOTAL	1,720	1,720	1,665.10	219	699	727

Sechilo 19 Apr. 2018

COMISION DE USUARIOS
NUEVA ARICA
Roberto Zaldia Sanchez
VICEPRESIDENTE

COMISION DE USUARIOS
NUEVA ARICA
Javier Solis Maate
TESORERO

ING. JORGE CADILLO N.
FOCUA SAAJA

Anexo 4. Calculo de la muestra por la calculadora en línea Questionpro

Calculadora de muestra

Nivel de confianza: 95% 99%

Margen de Error:

Población:

Tamaño de Muestra:

Anexo 5. Datos del SENAMHI (01-09-22) HASTA (30-09-23)

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACION (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/09/2022	26.6	13.5	82.7	0
2/09/2022	26.2	12.8	83.3	0
3/09/2022	28	12.8	80.9	0
4/09/2022	25.6	13.2	84.9	0
5/09/2022	28.4	13.2	83.1	0
6/09/2022	27.4	13.4	80.8	0
7/09/2022	27.6	13.6	77.9	0
8/09/2022	26.8	14.2	78.7	0
9/09/2022	27	13.8	82.2	0
10/09/2022	26.2	14	84.2	0
11/09/2022	26	13.4	82.3	0
12/09/2022	27	13.8	80	0
13/09/2022	28.6	13.6	84.8	0
14/09/2022	27.4	14.2	78.4	0
15/09/2022	27.6	14.8	79.1	0
16/09/2022	26.2	15.4	84.6	2.4
17/09/2022	27.8	15.6	83.8	0
18/09/2022	27.2	14.4	80.7	0
19/09/2022	26.8	14.6	83.7	0
20/09/2022	24.8	14.8	83.3	0
21/09/2022	27.4	13.8	84.2	0
22/09/2022	26.6	14	82.7	0
23/09/2022	26.4	13.6	78.7	0
24/09/2022	25.4	14.4	80.6	0
25/09/2022	25.8	13.2	85	0
26/09/2022	26.4	13	81	0
27/09/2022	27.8	13.2	83.1	0
28/09/2022	27.6	14	80.5	0
29/09/2022	27.8	14.6	82	0
30/09/2022	25.6	14.6	83.5	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIO N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/10/2022	28.4	14.2	82	0
2/10/2022	28.2	13	81	0
3/10/2022	28.8	13.4	80.2	0
4/10/2022	27	12.2	81.8	0
5/10/2022	28.8	13.8	73.9	0
6/10/2022	26.8	13.2	82.9	0
7/10/2022	27.8	13	83.5	0
8/10/2022	28	14.4	81.5	0
9/10/2022	28.2	14	77.8	0
10/10/2022	27.2	14.6	79.8	0
11/10/2022	28.2	14.2	81.1	0
12/10/2022	26.8	14.4	79.9	0
13/10/2022	27	13.8	80.6	0
14/10/2022	27.8	13.2	76.6	0
15/10/2022	28.4	14.4	77.4	0
16/10/2022	28	14	78.5	0
17/10/2022	26.8	13.4	79.4	0
18/10/2022	28.2	14.4	77.4	0
19/10/2022	27.2	14.8	78.7	0
20/10/2022	28	14.4	78.9	0
21/10/2022	27.4	14.4	79.3	0
22/10/2022	28	13.2	76.8	0
23/10/2022	28.4	14.4	76.6	0
24/10/2022	25	14.8	81.5	0
25/10/2022	27.8	15.2	80.1	0
26/10/2022	28.4	15	76.8	0
27/10/2022	26.6	15	77.7	0
28/10/2022	27.8	13	82.1	0
29/10/2022	27.4	13.4	80.1	0
30/10/2022	28.4	11.8	78.9	0
31/10/2022	26.8	11.8	80.1	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIO N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/11/2022	28	12.4	80.5	0
2/11/2022	26.8	13.2	77.2	0
3/11/2022	28.2	13.4	77.5	0
4/11/2022	29.4	12.4	77.3	0
5/11/2022	29.8	14.4	74.8	0
6/11/2022	28.4	14	75	0
7/11/2022	29.6	15.4	69.6	0
8/11/2022	27.8	14.6	78.1	0
9/11/2022	30.4	15.6	74.3	0
10/11/2022	29.4	15.4	75.1	0
11/11/2022	27.8	14	78.7	0
12/11/2022	25.4	13.4	80.6	0
13/11/2022	26	15.2	75.2	0
14/11/2022	29	12	76.3	0
15/11/2022	28	13.4	73.1	0
16/11/2022	28.8	13.4	81.2	10.3
17/11/2022	29.4	16.6	79.3	0
18/11/2022	30	15.6	79.3	0
19/11/2022	30.2	15.4	75.6	0
20/11/2022	30.4	15	73.4	0
21/11/2022	30.8	15	74.7	0
22/11/2022	31.4	14.8	77.5	0
23/11/2022	31.8	15	72.4	0
24/11/2022	31.4	15.4	79.6	0
25/11/2022	31	16.2	80.2	0
26/11/2022	31	17.2	77	0
27/11/2022	29.8	17.8	71.8	0
28/11/2022	26.4	17	80.6	0
29/11/2022	28.6	18	75.7	0
30/11/2022	30.8	16.4	80.3	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACION (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/12/2022	31	16.4	77.6	0
2/12/2022	32.2	15.6	72.3	0
3/12/2022	30.8	16	74.9	0
4/12/2022	30.6	15.6	75.8	0
5/12/2022	30.8	14.8	70.9	0
6/12/2022	30.8	14.6	72.9	0
7/12/2022	30.2	16	75.7	0
8/12/2022	29.8	16.6	71.6	0
9/12/2022	30.4	16.6	74	0
10/12/2022	30.6	17.6	78.4	0
11/12/2022	32.4	17.8	71.8	0
12/12/2022	32.2	17.8	72.2	0
13/12/2022	32	18.2	71.3	0
14/12/2022	32.2	18	73.4	0
15/12/2022	30.6	18.8	78.3	8.4
16/12/2022	30.4	19	76.7	0
17/12/2022	31	19.8	79.8	0
18/12/2022	32.8	18.8	73.1	0
19/12/2022	32.4	19	72.6	0
20/12/2022	31.8	19.2	70.7	0
21/12/2022	30.2	19	69.8	0
22/12/2022	31	17	74.2	0
23/12/2022	32.6	19.4	72.1	0
24/12/2022	32	19.6	72.2	0
25/12/2022	28.6	19	82.6	0
26/12/2022	31.4	19.6	80.4	0
27/12/2022	32	19.6	76.1	0
28/12/2022	31.6	18.8	75.5	0
29/12/2022	29.2	19.2	81.2	0
30/12/2022	30	19.2	81	0.7
31/12/2022	27.8	19.4	83.5	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIO N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/01/2023	29.4	20	78.4	0
2/01/2023	31.8	17.8	75.7	0
3/01/2023	30.8	17.4	76	0
4/01/2023	31.2	17.8	79.2	0
5/01/2023	32.8	18.6	73.6	0
6/01/2023	31.4	18	75.8	0
7/01/2023	31.8	16.6	78	0
8/01/2023	32.6	16.8	77.8	1.6
9/01/2023	32.8	17.6	74.5	0
10/01/2023	33	18.6	69.5	0
11/01/2023	33.4	18.6	70.6	4.3
12/01/2023	31.8	20	79.2	0
13/01/2023	31.4	19	73.1	0
14/01/2023	32.8	18.6	72.3	0
15/01/2023	31.6	18.6	71.4	1.4
16/01/2023	32.2	19.8	79.3	0
17/01/2023	32.8	18	71.4	0
18/01/2023	33.2	18.2	71	0
19/01/2023	31.2	19.2	75.9	0
20/01/2023	32	20.4	83.4	4.7
21/01/2023	31.6	21	80.7	0
22/01/2023	33	20.6	74.7	0
23/01/2023	34.4	19.8	71.1	0
24/01/2023	34.2	19.6	72	0
25/01/2023	32	21.2	72.2	0
26/01/2023	31	20.6	76	0
27/01/2023	33.6	20.8	72.7	0
28/01/2023	32	21	74.1	0
29/01/2023	31.8	20.2	74.7	0
30/01/2023	31.4	21.2	71	0
31/01/2023	34.6	21.2	72.4	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIO N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/02/2023	33.2	21	73.2	0
2/02/2023	30.8	20.4	74.6	0
3/02/2023	30.2	20.8	77.6	0
4/02/2023	32.4	19.8	73.6	0
5/02/2023	31	20.2	79.8	0
6/02/2023	32.4	21.8	77.8	0
7/02/2023	33.8	21.4	73.9	0
8/02/2023	34	21.2	80.9	1.8
9/02/2023	33.2	21.6	76.5	0
10/02/2023	31.8	21.8	85.8	3.9
11/02/2023	29	21.2	81.6	0
12/02/2023	31.8	22.2	76.5	0
13/02/2023	31.8	21.8	79	0
14/02/2023	31.2	22.6	84.7	7.9
15/02/2023	28	23	88.5	0
16/02/2023	31.4	22	82	0
17/02/2023	32.8	22.2	78.3	0
18/02/2023	33.4	22	79.9	0
19/02/2023	32.8	21.8	76.7	0
20/02/2023	32	22.2	76.7	0
21/02/2023	29.8	22.4	87.8	21
22/02/2023	29.8	22.6	86.2	5.3
23/02/2023	29	22.2	92	11
24/02/2023	32.2	22.8	88.5	7.2
25/02/2023	30.6	22	87.4	6.2
26/02/2023	29.6	21.8	87.5	0
27/02/2023	31.2	22.4	81.2	0
28/02/2023	31.8	22	81.2	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACION (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/03/2023	31.6	21.4	81.5	0
2/03/2023	30.8	22	82.1	0
3/03/2023	31.4	23	88.6	2.6
4/03/2023	30.6	22.8	83.3	0
5/03/2023	30.6	23	91	5.7
6/03/2023	32.4	22.8	91.7	15.3
7/03/2023	30.8	22.4	91.4	28.3
8/03/2023	32.6	22.8	88.8	39
9/03/2023	31.6	23	91.7	98.4
10/03/2023	30.4	22.6	90.2	67.2
11/03/2023	31	22	87.3	37.7
12/03/2023	32	22.6	87.8	25.2
13/03/2023	31.4	23	86.6	14.2
14/03/2023	31.4	22.4	85.7	29.6
15/03/2023	32.6	22	87.5	0
16/03/2023	32	22.6	85	0
17/03/2023	32.2	22.2	84.3	0
18/03/2023	31.2	22.6	87.1	0
19/03/2023	31.4	23	87.1	0
20/03/2023	32.6	23.4	84.4	0
21/03/2023	32.4	21.8	87.4	0
22/03/2023	33.2	22	82.3	0
23/03/2023	33.6	21.2	80.9	0
24/03/2023	33.2	21.8	82.6	0
25/03/2023	31.6	23	91	0
26/03/2023	31.8	22.2	85.3	0
27/03/2023	31	22.8	88.1	0
28/03/2023	30.8	23	91.2	23.5
29/03/2023	31.2	23	90.6	34.4
30/03/2023	30.4	22.4	91.4	26
31/03/2023	30.4	21.6	87.3	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACION (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/04/2023	31.4	23	88.5	0
2/04/2023	30.4	23.2	90	15.9
3/04/2023	31	23.6	86.6	30.3
4/04/2023	30.2	23.6	91.7	4.3
5/04/2023	29.4	22.6	89.7	24.7
6/04/2023	30.6	22.8	92.2	2.6
7/04/2023	32	23	90.5	6.5
8/04/2023	31.8	22.2	88.3	0
9/04/2023	31	22.6	88.4	0
10/04/2023	32	23.2	87.7	0
11/04/2023	30	23.6	89.5	1.4
12/04/2023	27.8	23	92.4	2.4
13/04/2023	28.8	21.4	92.1	5.7
14/04/2023	31.8	21.2	87.9	0
15/04/2023	29	22	91.4	1.6
16/04/2023	28.6	21.8	91.9	13
17/04/2023	28	23	93.3	0
18/04/2023	32.4	21.4	89.1	0
19/04/2023	31.2	21.8	88.9	0
20/04/2023	31	22.2	87.9	0
21/04/2023	31.2	22	90.3	0
22/04/2023	31.8	23	90.9	0
23/04/2023	30.8	23.6	90.1	2.4
24/04/2023	31	21	82.2	2.3
25/04/2023	31.4	21.2	88.2	2.9
26/04/2023	31.4	22.8	90	0
27/04/2023	32.4	22.6	89	0
28/04/2023	31.4	22	87.8	0
29/04/2023	31.8	22.4	89.1	2.4
30/04/2023	31.2	23	89.3	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIO N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/05/2023	32	22.4	90.7	2.6
2/05/2023	30.2	22	86.8	0
3/05/2023	30.8	21.8	82.9	0
4/05/2023	30.8	20.4	87.8	0
5/05/2023	28.6	21	90.8	0
6/05/2023	30.8	20.4	83.5	0
7/05/2023	30.6	21.4	86.9	0
8/05/2023	30.4	22.2	88.7	0
9/05/2023	32.6	22	84.7	0
10/05/2023	28.8	21.8	89.9	0
11/05/2023	31	21.6	88.1	0
12/05/2023	29.2	22	90.6	0
13/05/2023	31.2	21.2	84.5	0
14/05/2023	32.2	21.8	88.2	0
15/05/2023	32.4	20	85.3	0
16/05/2023	32.4	20.4	83.3	0
17/05/2023	32.8	19.8	80.5	0
18/05/2023	29.6	20	86.3	0
19/05/2023	29.4	20.2	80.1	0
20/05/2023	31.8	21	80	0
21/05/2023	29.8	20.2	81.7	0
22/05/2023	32.8	19	79.4	0
23/05/2023	32.6	19	78	0
24/05/2023	28.8	21.2	88.4	0
25/05/2023	30.8	21.2	89.7	0
26/05/2023	32.2	20	80.4	0
27/05/2023	26.6	20.8	92	0
28/05/2023	29.2	20.8	87.2	0
29/05/2023	30.4	21	78	0
30/05/2023	31	21	81.5	0
31/05/2023	31	21	86.4	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACIO N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/06/2023	33	20	80.3	0
2/06/2023	29.6	20.4	81.7	0
3/06/2023	32.6	20.2	80.6	0
4/06/2023	25.6	20.8	90	0
5/06/2023	29.6	20.8	83.6	0
6/06/2023	30.6	18	82.7	0
7/06/2023	31	19	85.8	0
8/06/2023	30.8	19	83	0
9/06/2023	32.6	22.4	78.6	0
10/06/2023	29.6	21.2	80.7	0
11/06/2023	31.4	21.2	77.9	0
12/06/2023	31.4	19.2	80	0
13/06/2023	25.2	20	88.8	0
14/06/2023	30	19.6	82.8	0
15/06/2023	30.8	18	80.7	0
16/06/2023	31.2	17.8	80	0
17/06/2023	30.8	18	75.1	0
18/06/2023	30.4	17.6	76.3	0
19/06/2023	30.4	19	79.8	0
20/06/2023	30	16.2	79.8	0
21/06/2023	26	16.4	79.5	0
22/06/2023	28	18.8	86	0
23/06/2023	30.6	17	74.4	0
24/06/2023	31	17.2	76.1	0
25/06/2023	26.4	18.6	83.3	0
26/06/2023	30.2	20.2	78.6	0
27/06/2023	30.2	17.8	80.6	0
28/06/2023	29	17	80.4	0
29/06/2023	26.2	17.6	79.4	0
30/06/2023	28	19.4	79.1	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACION (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/07/2023	32.2	18	76	0
2/07/2023	26.2	18	85.5	0
3/07/2023	31.2	20.4	75.8	0
4/07/2023	32	19	78.1	0
5/07/2023	27	19	82.3	0
6/07/2023	30	20.2	76.8	0
7/07/2023	30.2	17.6	77.9	0
8/07/2023	31.8	18.4	80.3	0
9/07/2023	29.4	20.6	83.7	0
10/07/2023	29.6	20.6	79.6	0
11/07/2023	25	19	88	0
12/07/2023	26.2	19.4	84.4	0
13/07/2023	25.4	20	85.7	0
14/07/2023	29	17.8	78.3	0
15/07/2023	29.6	19.2	82.2	0
16/07/2023	27.8	19.8	84.6	0
17/07/2023	27	19.2	87.7	0
18/07/2023	30.8	17.4	81.8	0
19/07/2023	24.8	18	85.5	0
20/07/2023	30.2	19	76.5	0
21/07/2023	23.6	18.2	83	0
22/07/2023	29.2	16	80.6	0
23/07/2023	28.4	16.8	77.6	0
24/07/2023	27	16.4	81.2	0
25/07/2023	27.8	17.2	76.7	0
26/07/2023	28	18.8	77.9	0
27/07/2023	29.4	14.4	78.9	0
28/07/2023	30.4	19.2	79.7	0
29/07/2023	29.2	17.8	80	0
30/07/2023	30.2	18.4	78.9	0
31/07/2023	29.4	16.2	80.4	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACION N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/08/2023	29.6	15.6	83.8	0
2/08/2023	28.6	16	76.3	0
3/08/2023	29.2	16.4	80.2	0
4/08/2023	27.2	17.2	78.8	0
5/08/2023	29.2	18	78.7	0
6/08/2023	30	18.4	81.2	0
7/08/2023	28	17.2	80.7	0
8/08/2023	30	17.4	79.4	0
9/08/2023	26.8	18	80.7	0
10/08/2023	28.6	20.2	80	0
11/08/2023	25.2	19.8	85.4	0
12/08/2023	30.4	17.2	77.8	0
13/08/2023	30.2	17.4	80.1	1.2
14/08/2023	27.6	18.4	86.8	1.6
15/08/2023	27.4	20	85.5	0
16/08/2023	28.6	20.6	77.8	0
17/08/2023	29.4	18.2	81.5	0
18/08/2023	27.4	18.8	79.4	0
19/08/2023	29.4	16.2	81	0
20/08/2023	30.4	16.8	76.8	0
21/08/2023	31	17.4	82.9	0
22/08/2023	28	18	83.3	0
23/08/2023	30.4	18.2	79.8	0
24/08/2023	30	17.2	78.9	0
25/08/2023	28.4	18	80.1	0
26/08/2023	29	17.6	79.5	0
27/08/2023	28	16.4	80.7	0
28/08/2023	30	17	81.5	0
29/08/2023	31	17.2	77.8	0
30/08/2023	24.8	17.6	86	0
31/08/2023	27.2	18	81.5	0

AÑO / MES / DÍA	TEMPERATURA (°C)		HUMEDAD RELATIVA (%)	PRECIPITACION N (mm/día)
	MAX	MIN		TOTAL
1/09/2023	31.2	17.6	78.6	0
2/09/2023	29.2	17.8	80.7	0
3/09/2023	30	18.2	86.9	0
4/09/2023	29.8	18	78.6	0
5/09/2023	30.4	18	79.5	0
6/09/2023	29.8	17	79.3	0
7/09/2023	28.8	16.6	79.4	0
8/09/2023	28.4	16.2	82.5	0
9/09/2023	30	16.6	81.3	0
10/09/2023	30.2	17	75.6	0
11/09/2023	30.6	17.2	78.4	0
12/09/2023	30.6	17	77.1	0
13/09/2023	30.4	17	78.5	0
14/09/2023	29.8	16.4	76.7	0
15/09/2023	30.2	16.2	78.7	0
16/09/2023	30	16.4	79.2	0
17/09/2023	30.6	16.6	79.7	0
18/09/2023	30.2	16.8	84.8	0
19/09/2023	30	18	78.7	0
20/09/2023	29.4	17	87.1	0
21/09/2023	30.8	17	82.5	0
22/09/2023	29.2	16.8	80.2	0
23/09/2023	28.4	17	80	0
24/09/2023	31.2	17.2	77.9	0
25/09/2023	31.4	18	76.3	0
26/09/2023	30	18	79.7	0
27/09/2023	30	18	79.1	0
28/09/2023	S/D	17.8	S/D	S/D
29/09/2023	30.4	17.6	78.8	0
30/09/2023	31.4	18.4	75.5	0

Anexo 6. Datos obtenidos del NASA-POWER (1-09-22) hasta (30-09-23)

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/09/2022	91.79	3.66	4.16	180.62
2/09/2022	91.73	3.48	3.87	189.31
3/09/2022	91.73	3.66	4.2	178.12
4/09/2022	91.76	2.96	3.49	171.81
5/09/2022	91.83	3.19	3.7	168.94
6/09/2022	91.93	3.2	3.68	169.81
7/09/2022	91.98	3.66	4.12	186.94
8/09/2022	91.85	3.46	3.91	191.06
9/09/2022	91.79	3.92	4.37	189.69
10/09/2022	91.91	4.03	4.59	181.06
11/09/2022	91.98	3.78	4.38	178.06
12/09/2022	91.95	3.77	4.26	187.19
13/09/2022	91.85	3.46	3.88	192.94
14/09/2022	91.79	3.82	4.16	185.5
15/09/2022	91.89	3.61	3.88	191.56
16/09/2022	91.99	3.16	3.57	188.69
17/09/2022	91.89	3.72	4.22	179.88
18/09/2022	91.87	3.45	3.8	184.44
19/09/2022	91.9	3.44	3.71	195.25
20/09/2022	91.92	3.98	4.49	192.75
21/09/2022	91.85	4.21	4.76	187.56
22/09/2022	91.83	3.5	3.96	186.94
23/09/2022	91.85	3.89	4.36	185.5
24/09/2022	91.89	3.87	4.38	185.25
25/09/2022	91.74	3.69	4.08	188.12
26/09/2022	91.73	3.8	4.12	190.81
27/09/2022	91.81	3.63	3.98	185.44
28/09/2022	91.88	3.53	3.87	192.88
29/09/2022	91.85	3.7	3.99	191
30/09/2022	91.79	3.11	3.41	191.12

AÑOS	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/10/2022	91.76	3.67	4.2	176.19
2/10/2022	91.85	3.66	4.23	170.94
3/10/2022	91.89	3.56	4.04	179.62
4/10/2022	91.9	3.99	4.4	186.81
5/10/2022	91.76	3.6	4.01	183.69
6/10/2022	91.8	3.27	3.5	189.62
7/10/2022	91.88	3.3	3.66	180.81
8/10/2022	91.76	3.94	4.25	192.81
9/10/2022	91.71	3.82	4.2	187.62
10/10/2022	91.79	4.12	4.46	190.31
11/10/2022	91.89	4.01	4.44	183.5
12/10/2022	91.94	3.6	4.01	187.06
13/10/2022	91.88	3.39	3.73	191.88
14/10/2022	91.84	3.06	3.43	184.75
15/10/2022	91.92	3.4	3.9	188.06
16/10/2022	91.84	3.74	4.31	180.19
17/10/2022	91.78	2.71	3.02	191.88
18/10/2022	91.82	3.31	3.66	193.25
19/10/2022	91.98	3.78	4.19	192.38
20/10/2022	91.95	2.9	3.61	165.56
21/10/2022	91.86	3.71	4.27	178.19
22/10/2022	91.83	3.06	3.38	178.44
23/10/2022	91.84	3.48	3.8	187.25
24/10/2022	91.9	3.75	4	194.62
25/10/2022	91.93	3.81	4.15	193.62
26/10/2022	91.86	3.21	3.43	201.62
27/10/2022	91.85	3.25	3.59	178.56
28/10/2022	91.89	3.02	3.15	185.5
29/10/2022	91.92	3.02	3.2	181.94
30/10/2022	91.82	3.03	3.22	183.62
31/10/2022	91.77	3.09	3.37	174.19

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/11/2022	91.78	3.13	3.6	174.25
2/11/2022	91.84	3.91	4.27	191.31
3/11/2022	91.94	3.47	3.87	184.25
4/11/2022	91.89	3.43	3.79	189.31
5/11/2022	91.87	3.23	3.5	195.5
6/11/2022	91.79	3.51	3.73	195.5
7/11/2022	91.89	3.7	3.92	191.38
8/11/2022	91.98	3.53	3.66	197.44
9/11/2022	91.98	3.41	3.72	185.5
10/11/2022	91.91	2.98	3.19	181.94
11/11/2022	91.89	2.94	3.21	177.31
12/11/2022	91.89	2.8	2.88	166.81
13/11/2022	91.85	2.88	2.95	182.25
14/11/2022	91.75	3	3.02	198.88
15/11/2022	91.88	3.22	3.48	196.06
16/11/2022	91.88	3.83	4.22	197.38
17/11/2022	91.8	3.46	3.81	191.75
18/11/2022	91.67	3.62	3.94	194.56
19/11/2022	91.67	3.66	3.92	194.06
20/11/2022	91.66	3.66	3.93	194.38
21/11/2022	91.7	2.74	2.84	186.38
22/11/2022	91.82	2.85	2.84	182.06
23/11/2022	91.77	2.95	2.98	188.12
24/11/2022	91.74	3.02	3.02	193.06
25/11/2022	91.71	3.23	3.48	193.75
26/11/2022	91.8	4.02	4.22	201.56
27/11/2022	91.88	3.63	3.8	201.56
28/11/2022	91.81	3.2	3.35	194.62
29/11/2022	91.77	2.95	2.99	187.31
30/11/2022	91.73	2.73	2.73	188.38

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/12/2022	91.77	2.88	2.9	192.12
2/12/2022	91.81	3.01	3.22	177.19
3/12/2022	91.81	3.45	3.82	180.94
4/12/2022	91.78	3.12	3.27	184
5/12/2022	91.72	3.08	3.02	174.25
6/12/2022	91.75	3.54	3.66	184.75
7/12/2022	91.92	3.31	3.46	204.06
8/12/2022	91.8	3.42	3.55	206.31
9/12/2022	91.63	3.77	3.98	209.56
10/12/2022	91.7	3.78	4.03	216.94
11/12/2022	91.81	3.38	3.73	208
12/12/2022	91.75	3.2	3.52	198.56
13/12/2022	91.68	3.2	3.42	207.88
14/12/2022	91.68	3.38	3.6	204.81
15/12/2022	91.7	3.52	3.73	205.5
16/12/2022	91.67	3.02	3.27	197.12
17/12/2022	91.6	2.78	2.88	220.31
18/12/2022	91.65	2.34	2.35	209.88
19/12/2022	91.73	3.24	3.38	196.88
20/12/2022	91.8	3.7	4.01	197.44
21/12/2022	91.76	3.59	3.98	197.75
22/12/2022	91.72	3.73	4.11	196.62
23/12/2022	91.73	3.88	4.27	193.94
24/12/2022	91.7	3.43	3.66	201.62
25/12/2022	91.69	3.07	3.15	203.69
26/12/2022	91.84	3.16	3.3	190.62
27/12/2022	91.95	3.56	3.82	183.25
28/12/2022	91.96	3.77	4.08	190.44
29/12/2022	91.86	3.68	4.18	179.19
30/12/2022	91.89	3.58	4.16	179.31
31/12/2022	92.02	3.4	3.86	180.5

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/01/2023	92.01	3.56	4.08	170.88
2/01/2023	91.93	3.32	3.7	178.75
3/01/2023	91.87	2.62	2.51	183.38
4/01/2023	91.89	3.31	3.49	168.31
5/01/2023	91.88	3.04	3.27	174
6/01/2023	91.93	3.12	3.28	185.44
7/01/2023	91.94	3.42	3.7	194.69
8/01/2023	91.96	3.36	3.62	184.12
9/01/2023	91.94	2.83	3.1	165
10/01/2023	91.94	2.76	2.74	197.25
11/01/2023	92	2.94	3.16	183.38
12/01/2023	91.88	2.67	2.91	177.56
13/01/2023	91.82	2.81	2.8	199.31
14/01/2023	91.87	2.97	3.07	174
15/01/2023	91.94	2.12	2.25	188.56
16/01/2023	91.85	2.66	2.93	181.56
17/01/2023	91.83	3.02	3.18	180.38
18/01/2023	91.73	2.76	2.96	167.62
19/01/2023	91.86	2.07	2.22	189
20/01/2023	91.86	2.29	2.52	193.5
21/01/2023	91.73	2.72	3.02	185.38
22/01/2023	91.64	2.55	2.67	174.44
23/01/2023	91.62	3.27	3.64	193.69
24/01/2023	91.72	3.65	4.03	192.19
25/01/2023	91.68	2.85	3.07	190.5
26/01/2023	91.67	2.12	2.2	181.75
27/01/2023	91.62	2.95	3.21	183.75
28/01/2023	91.59	3.12	3.55	176.44
29/01/2023	91.65	3.12	3.44	186.38
30/01/2023	91.65	2.03	2.02	196.69
31/01/2023	91.74	2.43	2.5	176.75

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/02/2023	91.74	2.85	3.15	169.44
2/02/2023	91.72	2.84	3.2	168.31
3/02/2023	91.71	2.94	3.26	169.19
4/02/2023	91.78	3.15	3.47	183.88
5/02/2023	91.77	3.29	3.6	194.75
6/02/2023	91.68	3.19	3.59	187.31
7/02/2023	91.65	3.41	3.8	179.44
8/02/2023	91.64	3.27	3.66	186.06
9/02/2023	91.68	2.89	3.09	203.56
10/02/2023	91.62	2.78	3.12	190.31
11/02/2023	91.55	2.91	3.18	203.94
12/02/2023	91.52	3.23	3.62	196.94
13/02/2023	91.62	3.29	3.77	196.06
14/02/2023	91.71	1.94	2.2	197
15/02/2023	91.79	2.16	2.56	205.62
16/02/2023	91.72	2.43	2.62	189.06
17/02/2023	91.63	2.43	2.59	182.12
18/02/2023	91.68	2.8	3.01	163.94
19/02/2023	91.65	2.34	2.67	180.56
20/02/2023	91.61	2.54	2.71	188.38
21/02/2023	91.73	2.41	2.59	218.31
22/02/2023	91.85	2.64	2.98	185.5
23/02/2023	91.91	3.16	3.56	198.56
24/02/2023	91.84	3.41	3.77	185.12
25/02/2023	91.78	3.52	3.93	185.31
26/02/2023	91.75	2.55	2.74	196.75
27/02/2023	91.7	2.82	3.19	201
28/02/2023	91.75	3.18	3.75	186

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/03/2023	91.67	3.58	4.09	188.75
2/03/2023	91.62	3.24	3.63	192.19
3/03/2023	91.51	3.09	3.41	194.31
4/03/2023	91.54	2.81	3.22	206
5/03/2023	91.71	2.86	3.2	194.5
6/03/2023	91.78	2.47	2.8	182.06
7/03/2023	91.8	2.54	2.74	183.81
8/03/2023	91.82	2.52	2.67	171.06
9/03/2023	91.83	2.45	2.66	183.94
10/03/2023	91.92	2.23	2.41	227.12
11/03/2023	91.88	1.98	2.08	249.75
12/03/2023	91.89	2.23	2.49	211.94
13/03/2023	91.91	2.27	2.62	234.81
14/03/2023	92.01	1.99	2.39	167.25
15/03/2023	91.97	2.36	2.66	168.56
16/03/2023	91.92	2.55	2.79	173
17/03/2023	91.87	2.41	2.59	174.38
18/03/2023	91.82	2.53	2.62	172.44
19/03/2023	91.9	2.62	2.7	198.5
20/03/2023	91.92	2.48	2.66	185.69
21/03/2023	91.78	2.74	3.03	180.62
22/03/2023	91.75	3.06	3.38	195.75
23/03/2023	91.71	3.52	3.93	218.5
24/03/2023	91.84	3.14	3.55	215.25
25/03/2023	91.79	3.06	3.52	184.56
26/03/2023	91.69	2.5	2.88	179.62
27/03/2023	91.66	3.23	3.62	204.5
28/03/2023	91.67	3.16	3.52	216.12
29/03/2023	91.68	2.66	3.17	221.81
30/03/2023	91.75	2.16	2.54	203.56
31/03/2023	91.74	2.79	3.23	218.19

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/04/2023	91.7	2.61	3.06	192.94
2/04/2023	91.63	2.69	3.05	213.19
3/04/2023	91.51	3.09	3.58	204.5
4/04/2023	91.52	2.06	2.51	188.44
5/04/2023	91.58	2.64	3.09	193.25
6/04/2023	91.66	2.55	3.05	209.69
7/04/2023	91.68	2.69	2.97	190.06
8/04/2023	91.69	2.28	2.55	220.06
9/04/2023	91.68	3.04	3.49	192.5
10/04/2023	91.68	3.31	3.74	202.88
11/04/2023	91.71	2.94	3.36	209.44
12/04/2023	91.63	2.97	3.5	189.31
13/04/2023	91.57	2.95	3.4	199.5
14/04/2023	91.59	2.91	3.38	199.38
15/04/2023	91.72	3.17	3.64	200.81
16/04/2023	91.83	2.51	3.13	197.56
17/04/2023	91.74	2.67	3.1	176
18/04/2023	91.66	2.69	3.15	170.81
19/04/2023	91.68	2.46	2.85	174.06
20/04/2023	91.84	2.58	3.08	198.88
21/04/2023	91.87	1.48	1.79	180.44
22/04/2023	91.75	2.12	2.27	178.62
23/04/2023	91.79	1.93	2.24	180
24/04/2023	91.67	2.88	3.48	171.75
25/04/2023	91.79	2.38	2.8	182.69
26/04/2023	91.8	2.7	3.18	184.44
27/04/2023	91.72	2.62	2.91	185.94
28/04/2023	91.75	2.84	3.36	184.69
29/04/2023	91.83	2.57	3.02	191.06
30/04/2023	91.84	2.94	3.56	181.31

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/05/2023	91.75	3.11	3.67	185.5
2/05/2023	91.59	3.34	3.89	185.62
3/05/2023	91.52	3.59	4.23	183.94
4/05/2023	91.55	3.49	3.99	191.31
5/05/2023	91.64	3.5	4.01	185.38
6/05/2023	91.67	3.68	4.2	196.56
7/05/2023	91.66	3.68	4.33	190.25
8/05/2023	91.68	3.34	3.93	188
9/05/2023	91.8	3.05	3.48	182.75
10/05/2023	91.82	3.2	3.79	177.31
11/05/2023	91.79	3.06	3.55	192.19
12/05/2023	91.7	3.2	3.7	191.25
13/05/2023	91.71	3.38	3.87	197.44
14/05/2023	91.86	3.38	3.88	188.5
15/05/2023	92.02	3.27	3.84	184.56
16/05/2023	91.93	3.27	3.75	188
17/05/2023	91.81	3.65	4.08	191.81
18/05/2023	91.79	3.74	4.23	191.31
19/05/2023	91.8	3.87	4.37	193.25
20/05/2023	91.81	3.02	3.52	187.25
21/05/2023	91.78	2.98	3.38	191.31
22/05/2023	91.76	3.04	3.45	194.62
23/05/2023	91.83	2.94	3.31	189.5
24/05/2023	91.73	3.66	4.3	189.94
25/05/2023	91.77	3.23	3.96	190.06
26/05/2023	91.81	3.09	3.62	191.31
27/05/2023	91.92	3.49	4.05	191.19
28/05/2023	91.87	3.44	3.93	190.12
29/05/2023	91.86	3.73	4.21	193.75
30/05/2023	91.83	3.41	3.8	195.06
31/05/2023	91.84	3.27	3.64	203.31

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/06/2023	91.83	3.3	3.86	187.56
2/06/2023	91.83	3.17	3.91	180.94
3/06/2023	91.78	3.28	4.12	173.06
4/06/2023	91.82	2.72	3.29	187.5
5/06/2023	91.82	2.91	3.55	186.38
6/06/2023	91.86	2.92	3.59	187.19
7/06/2023	91.93	3.23	3.95	187.38
8/06/2023	91.99	3.38	4.12	186.62
9/06/2023	92	2.94	3.55	189.94
10/06/2023	91.9	3.23	3.81	189.5
11/06/2023	91.91	3.34	3.92	193.75
12/06/2023	91.83	3.55	4.19	186.69
13/06/2023	91.78	3.48	4.12	188.56
14/06/2023	91.73	3.36	4.01	185.19
15/06/2023	91.68	2.67	3.3	176.44
16/06/2023	91.79	2.7	3.34	178.5
17/06/2023	91.78	2.7	3.32	167.25
18/06/2023	91.75	3.07	3.86	168.12
19/06/2023	91.78	2.61	3.39	163.31
20/06/2023	91.73	2.92	3.67	168.62
21/06/2023	91.7	3.07	3.91	169.25
22/06/2023	91.77	2.99	3.73	176.5
23/06/2023	91.81	2.59	3.04	188
24/06/2023	91.85	2.84	3.3	189.19
25/06/2023	91.87	2.94	3.47	194.5
26/06/2023	91.78	3.12	3.66	188.75
27/06/2023	91.81	3.16	3.7	188.38
28/06/2023	91.75	3.19	3.83	182.38
29/06/2023	91.74	3.07	3.72	183.62
30/06/2023	91.74	3.15	3.79	178.81

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/07/2023	91.79	3.12	3.8	173.31
2/07/2023	91.82	2.93	3.52	187
3/07/2023	91.91	3.21	3.89	184.38
4/07/2023	91.96	3.48	4.31	181.75
5/07/2023	91.97	2.96	3.73	183.94
6/07/2023	91.83	2.91	3.55	190.5
7/07/2023	91.81	3.19	3.74	191.75
8/07/2023	91.88	3.38	3.95	197.38
9/07/2023	91.82	3.13	3.75	194.81
10/07/2023	91.82	3.07	3.63	188
11/07/2023	91.79	3.45	4.16	183.06
12/07/2023	91.72	3.31	4.03	178.19
13/07/2023	91.59	2.97	3.59	184.56
14/07/2023	91.69	3.14	3.81	182.56
15/07/2023	91.75	3.32	4.02	186.25
16/07/2023	91.75	3.32	4.01	186
17/07/2023	91.8	3.05	3.72	175.38
18/07/2023	91.75	2.88	3.64	169.94
19/07/2023	91.8	2.8	3.45	167.81
20/07/2023	91.77	2.59	3.27	166.31
21/07/2023	91.73	2.85	3.55	161.12
22/07/2023	91.75	2.86	3.45	169.25
23/07/2023	91.88	3.19	3.84	180.44
24/07/2023	91.98	3.08	3.72	179
25/07/2023	91.91	3	3.53	186.81
26/07/2023	91.84	3.31	3.77	191.62
27/07/2023	91.86	3.41	3.88	192.5
28/07/2023	91.84	3.34	3.96	184.06
29/07/2023	91.89	3.04	3.66	177.75
30/07/2023	91.87	2.95	3.59	174.81
31/07/2023	91.94	2.89	3.53	174.62

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/08/2023	91.93	2.61	3.25	164.06
2/08/2023	91.98	3.07	3.77	173.25
3/08/2023	91.92	3.08	3.64	171.88
4/08/2023	91.87	3.02	3.53	177.38
5/08/2023	91.91	3.18	3.77	179.75
6/08/2023	91.94	3.02	3.56	174.56
7/08/2023	91.94	3.13	3.62	182.75
8/08/2023	91.94	3.09	3.6	182.94
9/08/2023	91.92	3.23	3.78	182.38
10/08/2023	91.88	3.34	3.89	181.56
11/08/2023	91.83	3.2	3.65	187.88
12/08/2023	91.81	3.26	3.71	188.44
13/08/2023	91.79	3.29	3.88	186.38
14/08/2023	91.79	2.82	3.39	186.75
15/08/2023	91.82	3.48	4.12	183.12
16/08/2023	91.86	3.18	3.8	187.06
17/08/2023	91.82	3.32	3.96	197.81
18/08/2023	91.72	3.32	3.81	192.38
19/08/2023	91.64	3.1	3.66	182.75
20/08/2023	91.64	2.96	3.38	178.56
21/08/2023	91.55	2.56	2.67	188.31
22/08/2023	91.59	3.17	3.73	195.69
23/08/2023	91.67	2.99	3.56	185.62
24/08/2023	91.75	3.27	3.89	180.44
25/08/2023	91.83	2.96	3.61	178.62
26/08/2023	91.79	3.41	4	189.94
27/08/2023	91.76	3.23	3.73	192.81
28/08/2023	91.8	3.24	3.84	182.31
29/08/2023	91.8	3.21	3.92	170.81
30/08/2023	91.76	3.12	3.72	178.5
31/08/2023	91.72	3.48	4.09	182.69

AÑO	PS (KPA)	WS10M (m/s)	WS50M (m/s)	WD10M (Grados)
1/09/2023	91.81	3.59	4.21	185.12
2/09/2023	91.84	3.29	3.76	188.81
3/09/2023	91.85	3.34	3.74	196.56
4/09/2023	91.79	2.95	3.39	189.38
5/09/2023	91.79	3.26	3.8	190.06
6/09/2023	91.8	3.45	4.04	184.44
7/09/2023	91.72	3.41	3.91	185.06
8/09/2023	91.76	3.27	3.63	187.06
9/09/2023	91.74	3.1	3.53	188.31
10/09/2023	91.82	3.02	3.45	189.62
11/09/2023	91.82	3.66	4.23	185.69
12/09/2023	91.81	4.02	4.56	184.75
13/09/2023	91.78	3.45	3.91	189.69
14/09/2023	91.76	3.38	3.77	193.56
15/09/2023	91.74	3.59	4.09	186.06
16/09/2023	91.75	3.48	3.98	187.81
17/09/2023	91.74	3.65	4.29	176
18/09/2023	91.74	3.05	3.34	187.62
19/09/2023	91.71	3.38	3.89	185.94
20/09/2023	91.71	3.44	4.02	180.31
21/09/2023	91.65	3.48	4.01	182.19
22/09/2023	91.65	3.62	4.24	184.25
23/09/2023	91.61	3.23	3.71	191.62
24/09/2023	91.67	3.7	4.32	183.44
25/09/2023	91.81	3.21	3.69	184.12
26/09/2023	91.8	3.49	3.89	184.94
27/09/2023	91.79	3.66	3.97	197.44
28/09/2023	91.71	3.79	4.2	196.69
29/09/2023	91.65	2.84	3.3	190.25
30/09/2023	91.69	3.66	4.21	191.62

Anexo 7. Cálculos eléctricos

Página Web Translator

Número de motores
 N_{motors}

Corriente máxima por motor
 I_{motor} amperio (A)

Corriente máxima consumida por otros equipos del multicoptero
 I_{other} amperio (A)

Número de serie de células de la batería
 N_{series} 6S

Tensión nominal de la batería (factor de 3,7 V)
 V_{bat} nominal V

Tensión nominal en 6 baterías

$$V_n = T_{bat} * N_{series} \quad (07)$$

$$V_n = 7.4 * 6$$

$$V_n = 44.4$$

Corriente máxima

$$I_{CM} = I_o + I_m * N_m \quad (09)$$

$$I_{CM} = 2 + (18 * 8)A$$

$$I_{CM} = 146 \text{ Amp} = 0.146 \text{ mA}$$

Corriente consumida de la batería con carga

$$W_{max} = V_{bat} * I_m$$

$$W_{max} = 146 * 20$$

$$W_{max} = 2920 \text{ amp}$$

Potencia consumida

$$W_{max} = V_{bat} * I_m \quad (11)$$

$$W_{max} = 22.2 * 193A$$

$$W_{max} = 4284.6 \text{ W}$$

Duración ESC

$$C_t = 8 * 193$$

$$C_t = 1544$$

Intensidad de corriente

$$I_c = 22A * 25$$

$$I_c = 550A$$

$$D_E = \frac{22A}{1544} = 0.85 \text{ min} \quad (08)$$

Velocidad

$$W_m = \frac{\pi}{8} (\rho * D^2 * v_2^3) \quad (12)$$

$$V_2 = \sqrt[3]{\frac{(8)(8569.2)}{(\pi)\left(\frac{1.225 \text{ kg}}{\text{m}^3}\right)(0.72 \text{ m})}} = 29.16 \text{ m/s}$$

Anexo 8. Cálculos de sistema de fumigación

Caudal boquilla

www.agroramon.com									
PRESIÓN (bar)	TABLA DE CAUDALES (litros/minuto)								
	01-NARANJA	015-VERDE	02-AMARILLO	025-LILA	03-AZUL	04-ROJO	05-MARRÓN	06-GRIS	08-BLANCO
1,5	0,28	0,42	0,57	0,71	0,85	1,13	1,41	1,50	2,26
2,0	0,33	0,49	0,65	0,82	0,98	1,31	1,63	1,96	2,61
2,5	0,37	0,55	0,73	0,91	1,10	1,46	1,83	2,19	2,92
3,0	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00	2,40	3,20
4,0	0,46	0,69	0,92	1,15	1,39	1,85	2,31	2,77	3,70

← CAUDAL (Litros/minuto) →

$$Q_{req} = Q_1 \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} \quad (13)$$

$$Q_{req} = 0,28 \sqrt{\frac{1,5}{4}} = 0,17$$

Caudal boquilla

$$Q_b = \frac{A_b * V_{ch}}{Coef.Des} \quad (14)$$

$$Q_b = \frac{0,00009m^2 * 132 \frac{m}{min}}{0,81} = 0,015 l/min$$

Caudal requerido

$$Q_r = Q_{calb} * N_b \quad (15)$$

$$Q_r = 0,15 * 6 = 0,90 \frac{l}{min}$$

Velocidad del Chorro

$$V_c = \frac{1,60 - 0,25}{2} \left(\sqrt{\frac{9,81}{(0,5) * 2}} \right)$$

$$V_c = 2,11 m/s$$

Diámetro de la manguera

$$D_m = A_{boq} * \sqrt{\frac{V_{ch}}{V_{pul}}}$$

$$D_m = A_{boq} * \sqrt{\frac{V_{ch}}{V_{pul}}} = 2.12 \text{ mm}$$

Tiempo del tanque

$$T_{tan} = \frac{V_{tan}}{Q_r} \quad (16)$$

$$T_{tan} = \frac{20 \text{ l}}{0.9} = 22.22 \text{ minutos}$$

Volumen x Ha

$$V_e = \frac{600 * 0.015}{1 * 0.3} = 30 \text{ LxHa}$$

Tiempo de fumigación

$$T_{fha} = \frac{22.22 * 30}{20} = 33.33 \text{ minxHa} \quad (17)$$

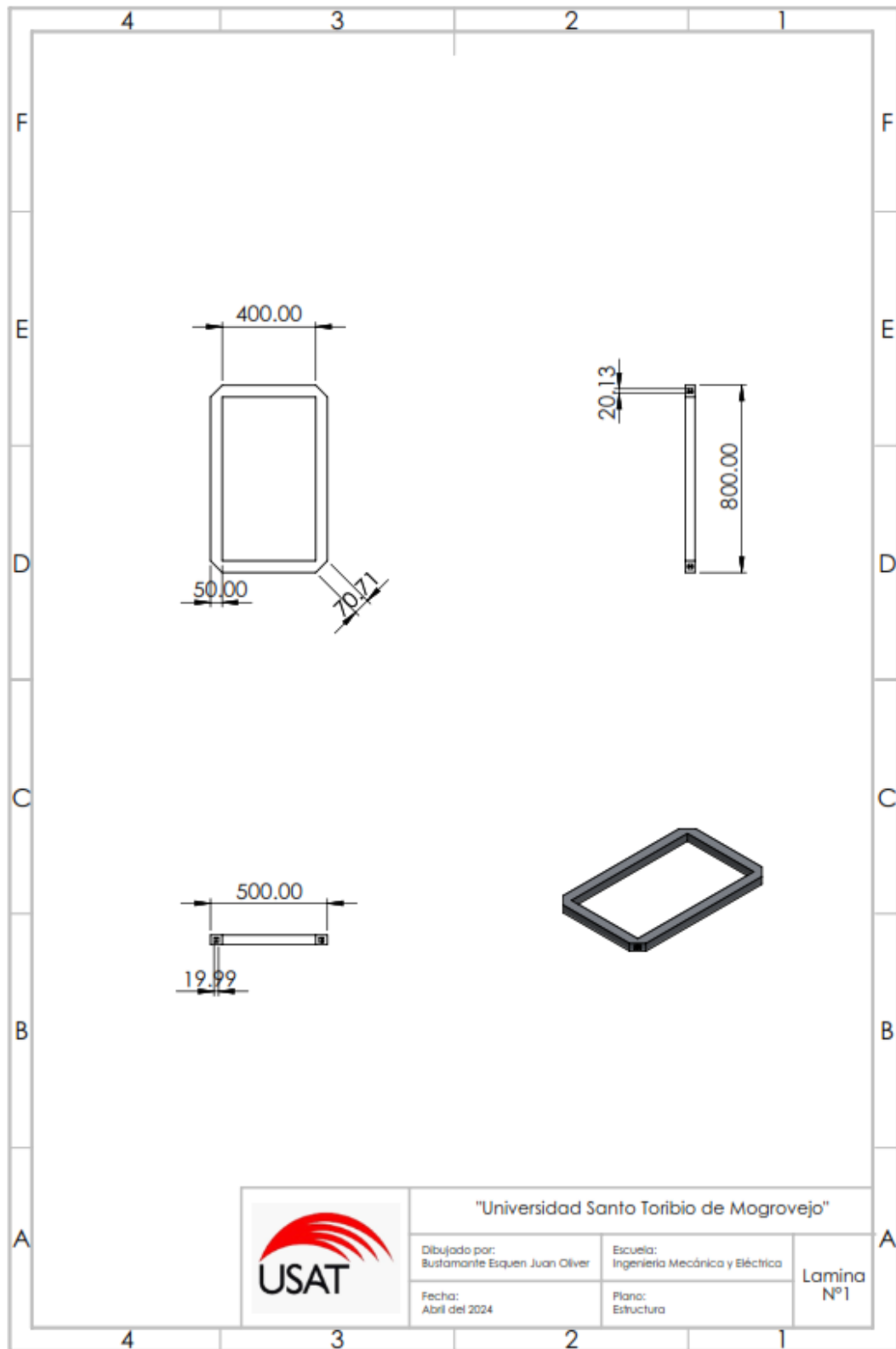
Distancia en 20 L

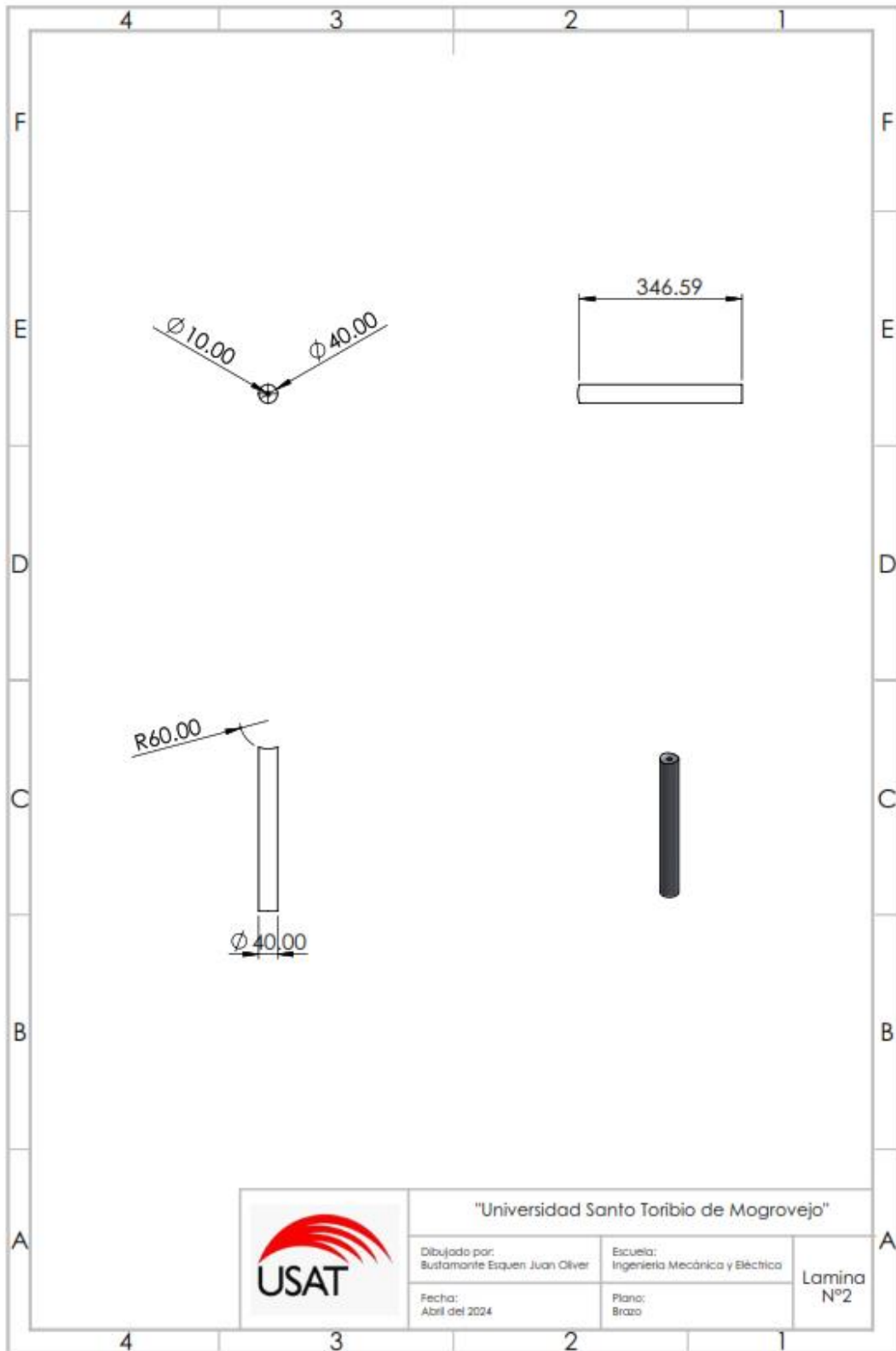
$$D_{ha} = \frac{10000 * 20}{30} = 6666.7 \text{ m}^2 \quad (18)$$

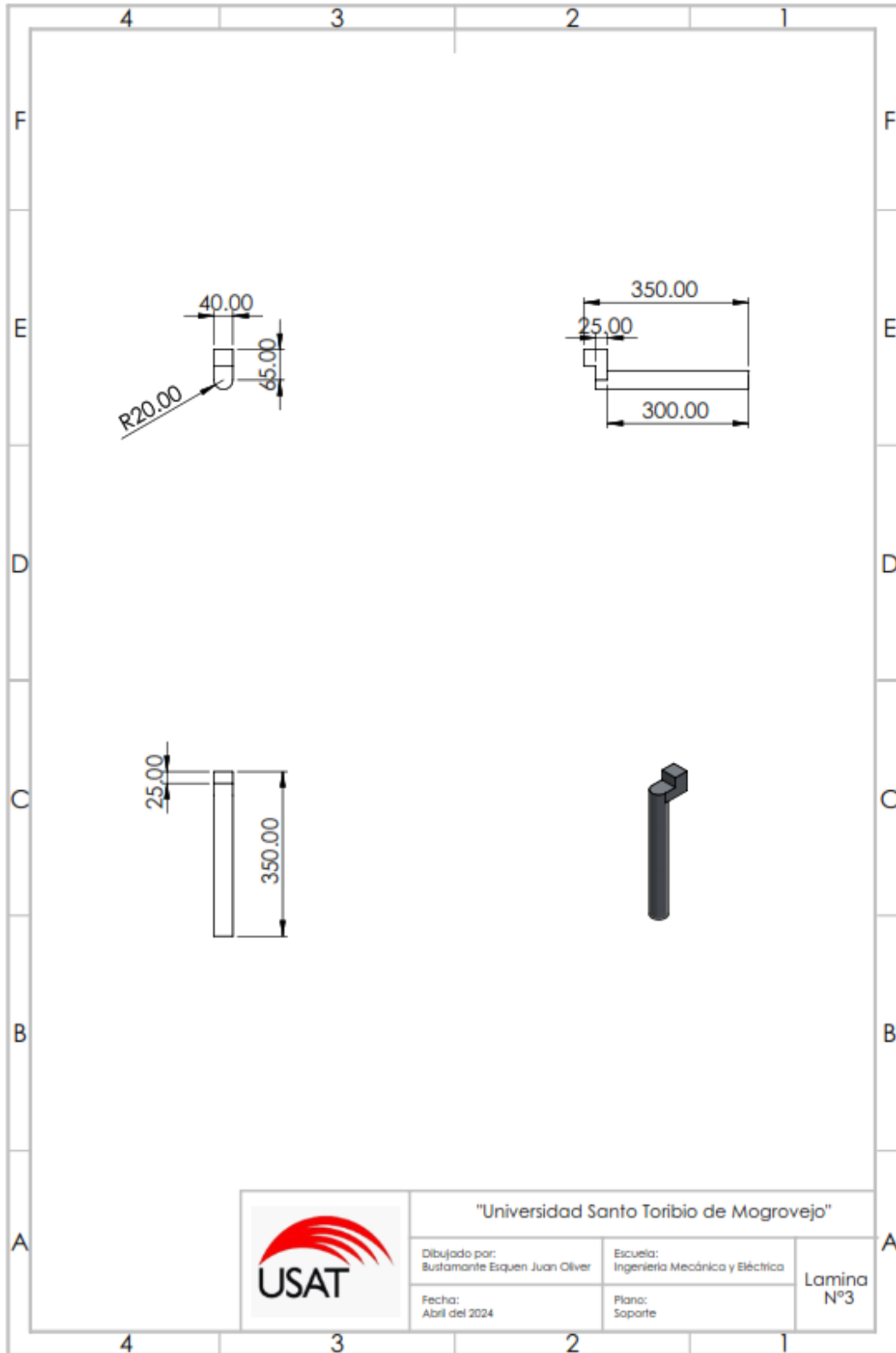
Anexo 9: Caja de flujo

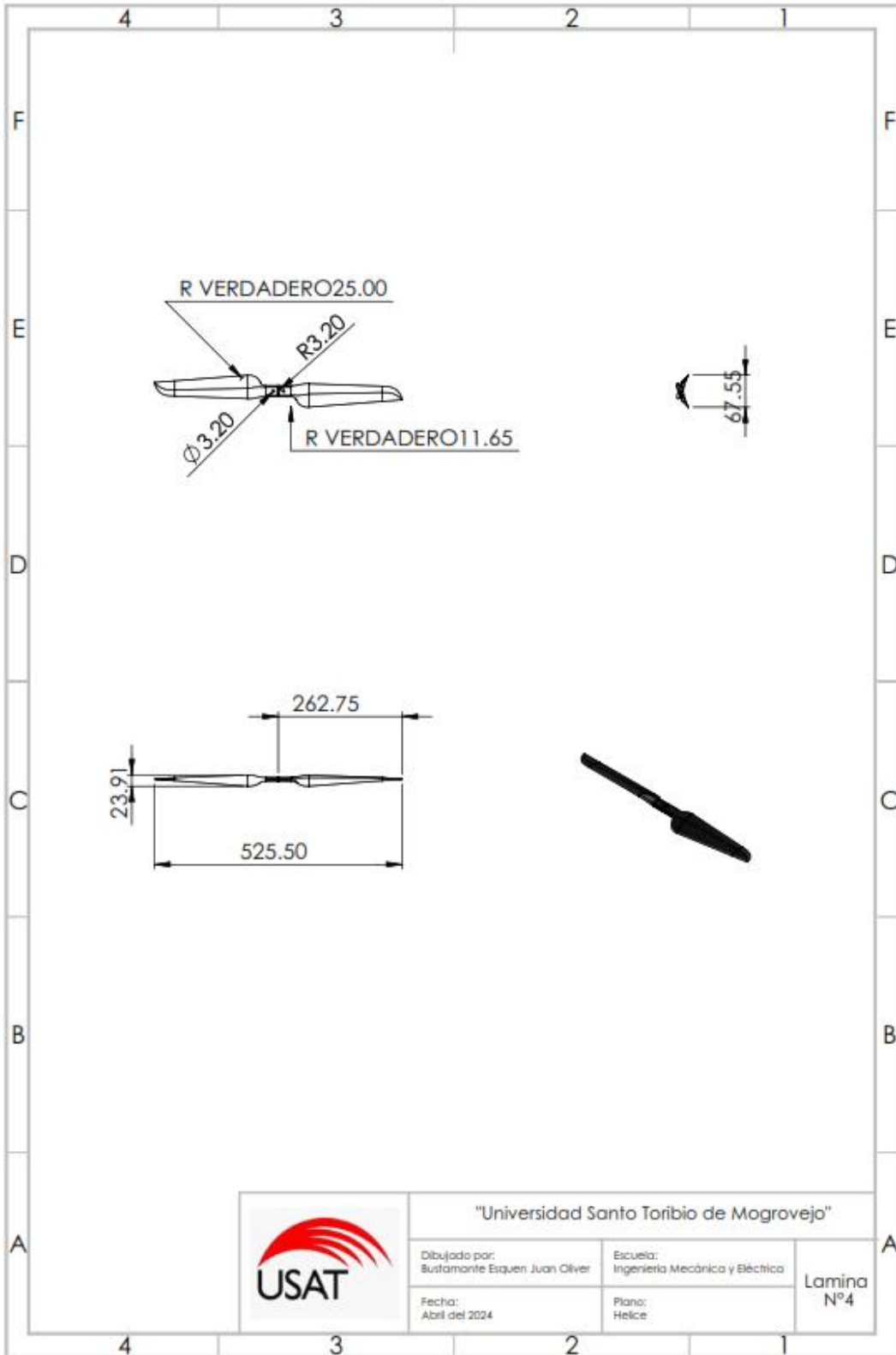
	1	2	3	4	5	6	7	8
Venta de activo	29000.00	29000.00	29000.00	29000.00	29000.00	29000.00	29000.00	29000.00
Depreciación	2424.00	2424.00	2424.00	2424.00	2424.00	2424.00	2424.00	2424.00
	26576.00	24152.00	21728.00	19304.00	16880.00	14456.00	12032.00	9608.00

Valor de libro	19392.00
Impuesto	1729.44
Utilidad neta	7878.56
Flujo neto	21121.44

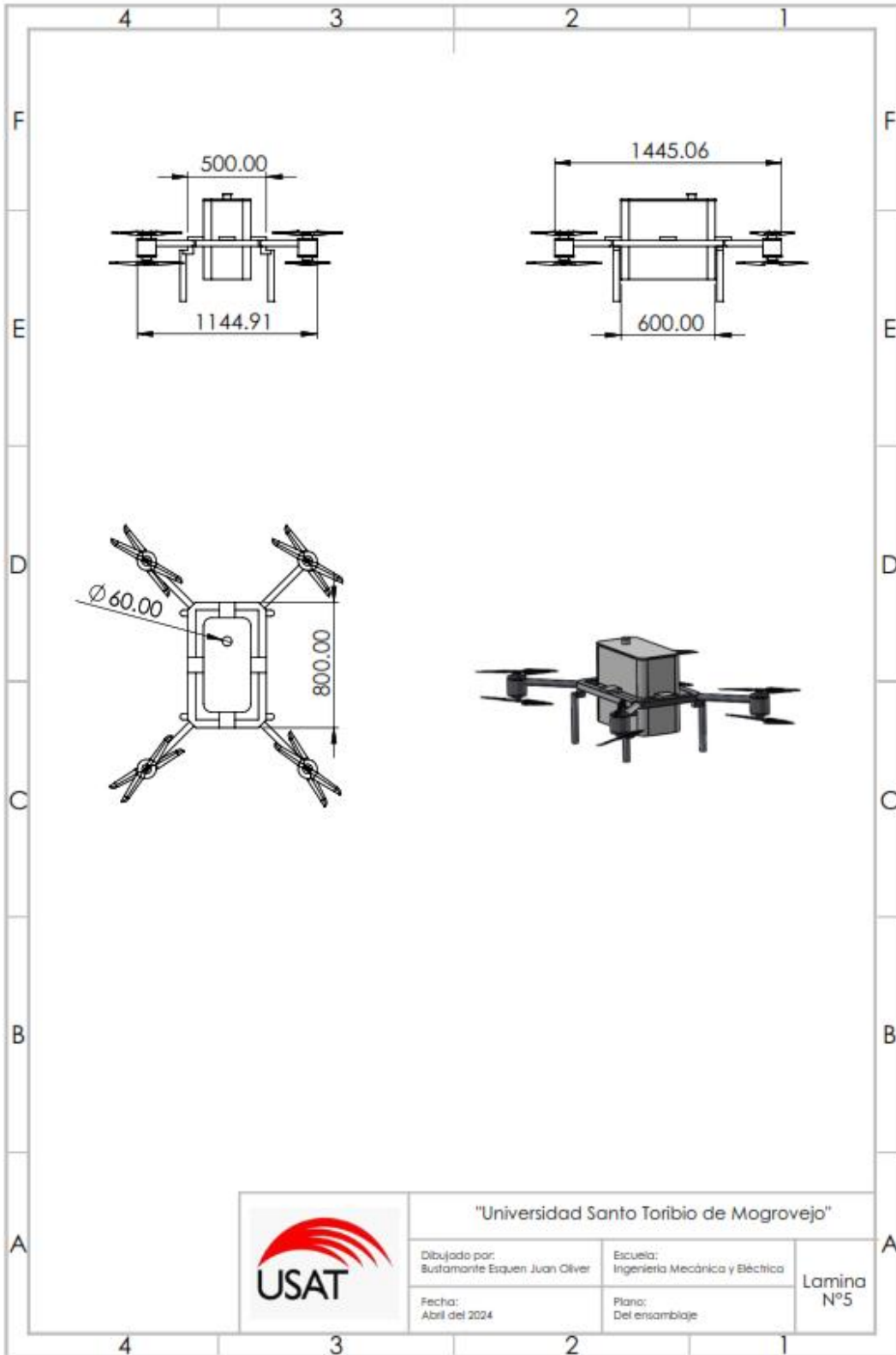
Anexo 10: Planos de los componentes del chasis







	"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"		Lamina N°4
	Dibujado por: Bustamante Esquen Juan Oliver	Escuela: Ingeniería Mecánica y Eléctrica	
	Fecha: Abril del 2024	Plano: Helice	



	"Universidad Santo Toribio de Mogrovejo"		Lamina N°5
	Dibujado por: Bustamante Esquen Juan Oliver	Escuela: Ingeniería Mecánica y Eléctrica	
	Fecha: Abril del 2024	Plano: Del ensamble	

Anexo 11: Dimensiones del motor