UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

TESIS:

DISEÑO DE UN SISTEMA DE FUMIGACIÓN AÉREA NO TRIPULADO PARA LA APLICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS EN SEMBRÍOS DE ARROZ, LA CRUCETA – TAMBOGRANDE, PIURA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Autores:

Bach. Fernandez Guevara Jose Alexander
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-2910-8392
Bach. Herrera Pizarro Marco Daniel
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-3313-8252

Asesor
Mtro. Vives Garnique Juan Carlos
https:// 0000-0003-0988-9881

Línea de Investigación:

Infraestructura, Tecnología Y Medio Ambiente

Pimentel – Perú

2021

DISEÑO DE UN SISTEMA DE FUMIGACIÓN AÉREA NO TRIPULADO PARA LA APLICACIÓN DE PRODUCTOS QUÍMICOS EN SEMBRÍOS DE ARROZ, LA CRUCETA – TAMBOGRANDE, PIURA

APROBACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Dra. Silvia Yvone Gastiaburú Morales

Presidente del jurado de tesis

MSc. Ángel Marcelo Rojas Coronado |

Secretario del jurado de tesis

Mtro. Juan Carlos Vives Garnique

Vocal del jurado de tesis

Dedicatoria.

A mis padres Pedro Alejandrino y Leli Zarela, por creer en mí y saber sacarme adelante a pesar de las dificultades que se presentaron en el camino, con su motivación constante y consejos han logrado hacer de mí una persona de bien. Este logro va en especial a mi querida madre, por su apoyo incondicional, por su fortaleza y por lo que ha hecho de mí.

José Alexander.

Dedicatoria.

A mis padres Carlos y Clara Nancy, por siempre enseñarme a valorar la vida, a luchar por todos nuestros sueños y siempre ser humildes. Ellos lucharon mucho para darnos lo mejor, sobre todo su constante e incondicional amor, su motivación, su fortaleza y su sabiduría; esenciales para ser una persona profesional llena de valores.

Marco Daniel.

Agradecimiento.

Mi gratitud a Dios, por gozar de una buena salud y bienestar, para lograr alcanzar una meta trazada en mi vida.

Mi gran estima y consideración a toda la comunidad educativa de la Universidad Señor de Sipán, del cual me encuentro orgulloso de pertenecer.

A mi hermana Célida, por sus consejos y apoyo incondicional por estar siempre a mi lado motivándome para perfeccionarme como un profesional de bien.

José Alexander.

Agradecimiento.

Doy gracias a Dios por bendecirme día a día, también a mi padre Carlos por brindarme todo su apoyo; a la misma vez quiero darle toda mi gratitud a mi madre Clara Nancy, porque ella siempre es y será mi fortaleza para salir adelante y lograr mis objetivos.

A mis hermanos Alex, Diana, Anyela y Noemi por su apoyo incondicional, a mi abuela Zara y a mi novia Yeny por su amor sin límites.

A toda mi familia en general, ellos también son parte de este gran logro.

Marco Daniel.

Resumen

El presente proyecto de investigación surge por las diversas plagas que afectan al desarrollo de las plantaciones de arroz en el centro poblado la cruceta. Es por ello que se propone diseñar un sistema de fumigación aéreo no tripulado (dron hexacoptero) para la aplicación de productos químicos.

Para determinar el diseño se realizó una encuesta, con ello se determinó las necesidades y los requisitos de diseño. Se determino cuatro propuestas de diseño, en la cual se aplicó una matriz de ponderación para seleccionar el mejor diseño, la propuesta cuatro fue la seleccionada.

Se utilizo la metodología de una aspersión tipo abanico, ya que cuenta con todas las características para el tipo de plantaciones, se diseñó un tanque de 15 litros de polímero en SolidWorks. El análisis de esfuerzo y aerodinámica, se llevó a cabo en el programa SolidWorks. Los resultados indica que el hexacoptero viaja a una velocidad de 26m/s, además con una velocidad de chorro de 2.1m/s, el peso total del dron es de 42.6 kg, para ello usara seis variadores (ESC), un controlador de vuelo tipo JIYI K++, el material para diseñar algunas piezas fue el aluminio 7075 para el chasis del hexacóptero.

Palabras claves: hexacoptero, plagas, sistema de fumigación, aspersión.

Abstrac

This research project arises from the various pests that affect the development of rice plantations in the center of La Cruceta. That is why it is proposed to design an unmanned aerial spraying system (hexacopter drone) for the application of chemical products.

To determine the design, a survey was carried out, with which the needs and design requirements were determined. Four design proposals were determined, in which a weighting matrix was applied to select the best design, proposal four was selected.

The methodology of a fan-type spray was used, since it has all the characteristics for the type of plantations, a 15-liter polymer tank was designed in SolidWorks. The stress and aerodynamic analysis was carried out in the SolidWorks program. The results indicate that the hexacopter travels at a speed of 26m/s, also with a jet speed of 2.1m/s, the total weight of the drone is 42.6 kg, for this it will use six variators (ESC), a flight controller type JIYI K++, the material to design some parts was 7075 aluminum for the hexacopter chassis.

Keywords: hexacopter, pests, fumigation system, sprinkler.

INDICE.

CAPÍTULO I *14*
I. INTRODUCCION *15*
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA 15
1.2. ANTECEDENTES DE ESTUDIO 16
1.3. MARCO TEÓRICO 19
1.3.1. Hexacóptero 22
1.3.2. Componentes del Hexacoptero 23
1.3.3. Sistema de pulverización 31
1.3.4. Sistema de vuelo 34
1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA 38
1.5. JUSTIFICACION 38
1.5.1. Justificación tecnológica 38
1.5.2. Justificación económica 38
1.5.3. Justificación ambiental 38
1.5.4. Justificación social 38
1.6. HIPOTESIS 39
1.7. OBJETIVOS 39
1.7.1. Objetivos Generales 39
1.7.2. Objetivos Específicos 39
CAPÍTULO II *40*
II. METODO *41*
2.1. Tipo y Diseño de la Investigación 41
2.2. Variables 41
2.3. Población Y Muestra 43
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad 43
2.4.1. Registros electrónicos 43
2.4.2. La observación 43
2.4.3. Análisis bibliográfico 43
2.4.4. Procedimiento de análisis de datos 44
2.5. Criterios éticos 45
2.5.1. Código de ética del colegio de ingenieros del Perú (CIP) 45
2.5.2. Código de ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS). 45

2.6. Criterios de rigor científico 45
a) Credibilidad 45
b) Validez 45
c) Fiabilidad 46
d) Replicabilidad 46
CAPÍTULO III *47*
III. RESULTADOS *48*
3.1. Requerimientos para el diseño del dron fumigador 48
3.1.1. Estudio de mercado 49
3.2. Selección de diseño óptimo del sistema de fumigación a través de una matriz de ponderación 58
3.2.1. Matriz de ponderación 63
3.3. Dimensionamiento y materiales del dron fumigador 67
3.4. Selecciona los componentes eléctricos y electrónicos del sistema de fumigación. 73
3.5. Análisis de estático de las piezas del dron hexacoptero 77
3.6. Análisis de la factibilidad económicamente del dron hexacoptero 83
3.6.1. Cálculo de tasa mínima de retorno 83
3.6.2. Calcular depreciación contable 84
IV. DISCUSIÓN *87*
V. CONCLUSIONES *87*
VI. RECOMENDACIONES *88*
VII. REFERENCIAS *89*
ANEXOS *92*

INDICE DE TABLAS

Tabla. 1. *Clasificación del número de rotores* *17*

Tabla. 2 *Algunos parámetros técnicos de un variador de velocidad* *22*

Tabla. 3. *Especificaciones técnicas de las baterías de Li-ION* *27*

Tabla. 4. *Tipo de boquillas de pulverización* *30*

Tabla. 5. *Parámetros de diseño para el sistema de pulverización* *30*

Tabla. 6. *Comparación de bombas de agua para alimentación DC* *31*

Tabla. 7. *Variables dependiente e independiente* *39*

Tabla. 8. *Requerimientos para el diseño* *45*

Tabla. 9. *Descripción de los requerimientos de diseño* *46*

Tabla. 10. *Características del Dron tipo DJI Agras T20* *47*

Tabla. 11. *Ventajas y desventajas del Dron tipo DJI Agras T20* *48*

Tabla. 12. *Características del dron agrícola tipo M4E* *50*

Tabla. 13. *Ventajas y desventajas del dron agrícola tipo M4E* *50*

Tabla. 14. *Características del dron fumigador electrostático de 10 litros* *51*

Tabla. 15. *Ventajas y desventajas del dron electrostático de 10 litros* *52*

Tabla. 16. *Características del Dron tipo DJI Agras T30* *53*

Tabla. 17. *Ventajas y desventajas del Dron tipo DJI Agras T30* *54*

Tabla. 18. *Matriz morfológica para el dron fumigador* *57*

Tabla. 19. *Estructura de funciones* *58*

Tabla. 20. *Indicadores de conceptos* *62*

Tabla. 21. *Análisis de criterios técnicos* *63*

Tabla. 22. *Análisis de criterios económicos* *64*

Tabla. 23. *Resultados Análisis de ponderación para el diseño* *64*

Tabla. 24. *Parametros iniciales del hexacoptero* *66*

Tabla. 25. *Especificaciones del motor seleccionado* *72*

Tabla. 26. *Especificaciones del variador de velocidad (ESC)* *73*

Tabla. 27. *Resultados del diseño del hexacoptero* *75*

Tabla. 28. *Propiedades del aluminio 7075(SS)* *76*

Tabla. 29. *Propiedades del aluminio 7075* *79*

Tabla. 30. *Parametros de simulacion dinamica* *81*

Tabla. 31. *Taza mínima de retorno* *83*

Tabla. 32. *Depreciación de los drones* *83*

Tabla. 33. *Depreciación otros equipos* *83*

Tabla. 34. *Resumen de gastos para el diseño del dron hexacoptero* *84*

Tabla. 35. *Resultados de la caja de flujo del dron hexacoptero* *84*

Tabla. 36. *Total de gastos para el diseño del hexacoptero* *85*

Tabla. 37. *Algunas características del hexacoptero* *94*

Tabla. 38. *Resultados de la capacidad del tanque para el dron hexacoptero* *95*

Tabla. 39. *Resultados de la eficiencia del hexacoptero* *96*

INDICE DE FIGURA

Figura 1. *Dron de ala fija* *16*
Figura 2.*Hexacoptero de helices expuestas*..... *17*
Figura 3. *Diseño de helices parcialmente cubiertas*..... *18*
Figura 4. *Diseño de helices totalmente cubiertas tipo VANT*..... *18*
Figura 5.*Diseño de un hexacoptero****.*..... *19*
Figura 6. *Movimientos de un hexacoptero* *20*
Figura 7. *Estructura de un hexacoptero marca Tarot.* *20*
Figura 8. *Motor electrico tipo brushless.* *21*
Figura 9. *Esquema de funcionamiento de motor brushless*..... *21*
Figura 10. *Variador de velocidad para un dron* *22*
Figura 11. *Diagrama de un variador de velocidad (ESC)* *23*
Figura 12.*Sistema de referencia de un dron*..... *23*
Figura 13. *Eje de rotacion del giroscopio* *24*
Figura 14. *Acelerometro y su orientación* *24*
Figura 15. *Circuito integrado del controlador de vuelo* *25*
Figura 16. *Modulo GPS par dron tipo phantom* *26*
Figura 17. *Baterías de iones de litio* *26*
Figura 18. *Bateria de polimero de litio* *28*
Figura 19. *Control remoto modelo WFT06X-A*..... *28*
Figura 20. *Dron DJI Agras T20* *47*
Figura 21. *Dron tipo M4E agricola* *49*
Figura 22. *Dron fumigador centrifugo electrostático de 10 litros*..... *51*
Figura 23. *Dron agricola DJI Agras T30* *53*
Figura 24. *Caja negra de un dron fumigador* *54*
Figura 25. *Caja de funciones de un dron fumigador* *55*
Figura 26. *Diseño 01, dron hexacoptero* *60*
Figura 27. *Diseño 02, dron hexacoptero* *61*
Figura 28. *Diseño 03, dron hexacoptero* *61*
Figura 29. *Diseño 04, dron hexacoptero* *62*
Figura 30. *Diseño seleccionado del dron hexacoptero* *66*
Figura 31. *Diseño parte superior del dron hexacoptero* *67*
Figura 32. *Vista en 3D del dron hexacoptero* *67*

Figura 33. *Partes del diseño del dron hexacoptero* *68*
Figura 34. *Vista en 3D de la carcasa del dron hexacoptero* *69*
Figura 35. *Vista del sistema de fumigacion del dron hexacoptero* *69*
Figura 36. *Bateria del dron hexacoptero* *70*
Figura 37. *Diseño de las hélices de dos hojas* *70*
Figura 38. *Vista en 3D del motor para el dron hexacoptero* *71*
Figura 39 . *Diseño del tanque de 15 littros* *72*
Figura 40. *Motor sin escobillas T28* *72*
Figura 41. *Análisis estático base del soporte* *76*
Figura 42. *Análisis estático tension nodal* *76*
Figura 43. *Análisis estático deformacion unitaria* *77*
Figura 44. *Analisis del brazo del dron hexacoptero* *77*
Figura 45. *Análisis del brazo del dron hexacoptero* *78*
Figura 46. *Implementacion de piezas para la simulacion de flujo* *80*
Figura 47. *Selección de parametros para la simulacion de flujo* *80*
Figura 48. *Simulacion aerodinámico del dron hexacoptero* *81*
Figura 49. *Simulacion aerodinámico en SolidWorks del dron hexacoptero* *82*
Figura 50. *Diagrama circular pregunta 01* *94*
Figura 51. *Diagrama circular pregunta 02* *95*
Figura 52. *Diagrama circular pregunta 03* *96*
Figura 53. *Diagrama circular pregunta 04* *97*
Figura 54 .*Diametros del motor del dron hexacoptero* *102*
Figura 55. *Tabla de caudales* *102*
Figura 56. *Diseño del dron hexacoptero* *103*
Figura 57. *Diseño del soporte de la batería.* *103*
Figura 58. *Diseño de la base metalica del dron hexacoptero* *104*
Figura 59. *Diseño de union entre motor y sistema de fumigacion* *104*
Figura 60. *Diseño del brazo del dron hexacoptero* *105*
Figura 61. *Diseño de las helices del dron hexacoptero* *105*
Figura 62. *Diseño de la base del dron hexacoptero* *106*
Figura 63. *Diseño de la boquilla del sistema de fumigacion del hexacoptero* *106*
Figura 64. *Diseño y ensamble del sistema de fumigacion del hexacoptero* *107*
Figura 65. *Diseño de la unión del sistema de fumigación del hexacoptero* *107*
Figura 66 . *Análisis de carga estáticas* *108*

Figura 67. *Diagrama de momentos* *108*
Figura 68. *Interfaz del software MD solids* *109*
Figura 69. *Interfa**z** programa SolidWorks* *109*
Figura 70. *Análisis estático del brazo del dron hexacoptero* *110*
Figura 71. *Análisis estatico del soporto del dron hexacoptero* *110*

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCION

1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Actualmente el mundo se encuentra en una época donde la tecnología avanza a pasos agigantados, permitiendo que los seres humanos puedan realizar trabajos con más precisión y en menos tiempo, además esto ayuda a que se investigue más sobre nuevos métodos aplicado la tecnología.

La agricultura es una de las actividades esenciales que el hombre ha ido mejorando con el transcurso del tiempo, anteriormente se utilizaba animales para esta actividad, hoy esos animales son reemplazados por maquinarias y otras tecnologías como drones.

Los drones cuentan con una tecnología sofisticada esta tiene que ser aprovechada para la agricultura en el Perú, permitiendo evaluar y recolectar información importante sobre las diferentes plagas o daños que padecen las diferentes plantaciones de arroz, de esta forma que se podrá aplicar los productos químicos recomendados por un especialista o un ingeniero agrónomo (Gonzales, Amarillo, & Sarmiento, 2016).

Los métodos desfasados como el uso de mochilas fumigadores de 20 litros o más, podrán ser reemplazados por drones fumigadores, así los operarios de las mochilas fumigadoras ya no sufrirán las consecuencias de estar expuestos a los productos químicos que pueden ocasionar diversas enfermedades, intoxicación y/o la muerte. Los drones garantizan una eficiencia de 80% comparada con mochila fumigadora, así mismo los últimos estudios realizados figura que en futuro el 80 a 90% de drones serán utilizados en la agricultura. (CropLife, 2021)

En el Perú, específicamente en el sector norte, la siembra de arroz tiene una alta demanda. MINAGRI realizo una publicación “Informe del Arroz” el departamento de Piura es la segunda región productora a nivel nacional, con 589 687 toneladas esta representa el 13% de la producción anual.

Por ello en la investigación se propone diseñar una aeronave no tripulada para la aplicación de productos químicos en las plantaciones de arroz; con el fin de minimizar el tiempo y los recursos económicos en la aplicación de estos productos. La cual nos basaremos en un tipo hexacóptero, se realizará un diseño para que el dron tenga la capacidad de poder llevar 15 o más litros de producto químico y cumpla con todos los objetivos propuestos.

1.2.ANTECEDENTES DE ESTUDIO

(Orna, Balseca, Caicedo, & Viteri, 2017), en su investigación da a conocer el análisis y diseño de un dron para el sector agrícola, para la determinación de la potencia usaron dos teorías, Teoría de Cantidad de movimiento y la Teoría de elemento de pala, además usaron dos teorías para el análisis de fallas como la Teoría de Von Mises y Teoría de Tsai- Wu. El dron diseñado tiene una carga de 13kg (8 de peso muerto y 5 de carga útil) y consta de 6 motores brushless Tarot 5008 de 700W cada uno.

(Navarro, 2019), en su investigación desarrolla un RPA (Remotely Piloted Aircraft) y que incluya un subsistema de visión, además para darle una mejor estabilidad se utilizó controlador de vuelo Pixhawk Px4, este se encarga de mandar una señal cuando el RPA y este le dará la capacidad de moverse en forma más estable. Además de ello el autor nos sugiere que para usar un RPA o UAV debemos tener en cuenta leyes de seguridad y privacidad ya que estos puedes causar diferentes daños.

(Rohi & Ofualagba, 2020), en su investigación analizó un dron ambiental este consta de cuatro hélices cada una pesa 460 g y mide 550 mm, la cual monitorea de forma autónoma la calidad del aire, además utiliza un Arduino Uno Rev. 3, un girómetro GY 521 este se encarga de estabilizar, el sensor utilizado fue BMP085 y módulos inalámbricos Xbee Pro 900HP. El dron tiene una base panel solar 8w y 18V, la cual lo realimenta en caso sus baterías este por debajo de 5V. El resultado fue que el E-dron puede implementar soluciones de reducción de la contaminación siempre que el sistema detecte que la concentración de un contaminante está por encima del umbral predeterminado

(Gonzales, Amarillo, & Sarmiento, 2016), la investigación describe la importancia del dron en la agricultura ya que esta capta información y evalúa las condiciones del terreno, UAV de 2.65 kg con una velocidad de 12 m/s, usa un receptor de GPS y un sistema de navegación Waypoint. Una cámara Sony Nex 5 para tomar las fotos aéreas, además para también se usó un software fotogramétrico Pix4dmapper que eso este avión aéreo no tripulado. Este estudio se realizó en un bosque de 20 hectáreas (500m x 400m)

(Praveen Kumar, y otros, 2017), en su investigación trata de los desafíos de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) ya que la mayoría son controlados por Wifi y Zigbee, pero aquí se propone el uso del Bluetooh Smart o Bluetooh Low Energy (BLE) esta tecnología inalámbrica es más económica que sus competidores, pero la desventaja

es que su distancia de transferir datos es corta, además, nos da a conocer los tipos de sensores como de luz, temperatura y humedad, para el manejo uso la aplicación Sky Farmers de precisión y monitoreo de riego, acoplados en una placa de Arduino.

Según (Morales., 2015), en su investigación da a conocer sobre un cuadricóptero que se puede emplear en los análisis de los cultivos agrícolas, para esto utilizó la base de un cuadricóptero prefabricado (3DRIris+), para la insertación de los algoritmos de control, estabilidad, altura y orientación se usó la tarjeta de control PX4 Pixhawk. Para capturar las imágenes multiespectrales utilizo de una cámara NGR, de esta forma las imágenes podrán calcular el NDVI de los cultivos analizados y posteriormente los resultados serán subidos a la nube de esta manera se puede acceder a la información cuando se crea conveniente.

(Villagrán, Ramos, Molina, & Arrazate, 2018), su investigación da a conocer sobre un diseño donde se busca que el dron cargue 10kg, la referencia es un dron de tipo quadracopter, con una base expandible a 8 motores para necesidades futuras, para el diseño de la base emplea fibra de carbono y aluminio por ser materiales ligeros, el autor hace uso de la plataforma de SolidWorks para diseñar cada elemento del dron, escogido el motor DYS BE8108-16 100KV sin escobillas para las 4 hélices. Para la implantación del dron hace uso de un kit Pixhawk Controller, también uso una cámara infrarroja para la captura de imágenes para luego ser procesadas mediante el software NI cRIO-9082 RT, el dron será capaz de ubicar las zonas con plagas en tiempo real en los plantíos de café y encender el sistema de fumigación en estas zonas, fumigando así únicamente las áreas infestadas.

Según (Ruipérez Martín, 2014), en esta investigación el autor diseña y fabrica un dron tipo cuadricóptero con un diseño innovador y eficiente, busca transportar cargas superiores, para ello utiliza SolidWorks para diseñar cada uno de los elementos en 3D que lo conforman la estructura del dron, hace uso de una impresora 3D Zortrax M200, para los brazos utiliza unos tubos de aluminio, que es un material liviano.

Para el controlador de vuelo se ha conectado el controlador Naza M Lite mediante un cable USB a una PC y abrir el software de control de las funciones del dispositivo, para el sentido de los motores y las hélices para este diseño propuesto se ha seleccionado la configuración Hexarotor, la eficiencia óptima de los motores es del 78.4 % dejando el 21.6% de la potencia para el control de la aeronave, resultado satisfactorio para el posible vuelo estable.

Según (Mayanquer Gavilanez, 2019), en la investigación implemento un sistema de pulverización para la fumigación de plantaciones de frutilla a través de un dron, el prototipo de dron vuela con una autonomía de aproximadamente 20 minutos con una disposición de una aplicación de punto de ruta, creada dentro de la interfaz de software libre Android, el sistema de pulverización acoplado al drone cuenta con una bomba de agua (motor DC), una batería de polímero de 704 v y 300mAh, dos boquillas de aspersión uniforme, dos tanques contenedores de 250 cm3 de capacidad y sus respectivos conductos, hace uso de boquillas pulverizadoras de abanico plano que tiene un tipo de aspersión uniforme para un correcto cubrimiento de las plantaciones

Según (Orna chavez & Dávila Aldas, 2015), en la investigación diseño y construyo un dron tipo hexacóptero, se construye a base de fibra de carbono para obtener el menor peso posible, se realizó cálculos aerodinámicos para la determinación de la potencia de los rotores para ello se hace uso de las teorías de cantidad de movimiento y la teoría de diseño de hélice o cuchilla llegando a obtener como resultado que cada motor debe contar con una potencia de 614,64 W. para su alimentación se utilizan hasta 6 baterías de LIPO de 5000 mAh de capacidad de 6 celdas para obtener un voltaje de 22,2 v; con esta configuración se tiene un tiempo de vuelo continuo sin carga de 40 minutos. Para el análisis de la resistencia de su estructura se analiza mediante elementos finitos en donde se puede calcular el coeficiente de seguridad del elemento critico de esta manera se asegura la resistencia mecánica del equipo, obteniendo como resultado 1,33 de coeficiente de seguridad a través de ensayos experimentales. Para controlar el equipo se utilizó un controlador NAZA M V2 y para el manejo se requiere un radio con un mínimo de 6 canales, el hexacóptero tiene una capacidad de carga de 5 kg con una autonomía de 40 minutos sin carga.

1.3.MARCO TEÓRICO

1.3.1 Sistema Aéreo no Tripulado

Conocidos como drones, es una aeronave que tiene la capacidad de volar sin algún humano a bordo, debido a que es controlado autónomamente desde cualquier lugar en la tierra.

❖ **Clasificación de los drones**

- Drones de ala fija: son los más adecuados para el uso de áreas más extensas, en la figura 1 se muestra un dron ala fija, debido a su mayor autonomía derivada, su aerodinámica es más eficiente.

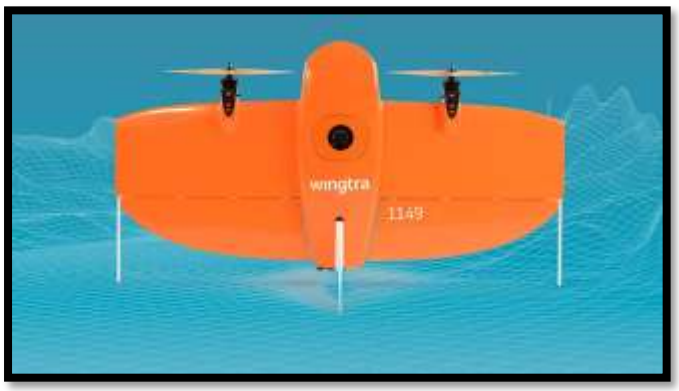


Figura 1: Dron de ala fija.

Fuente: (Survey Rental & Sales, 2020)

❖ **Drones multirotor o multicoptero**

Son propulsados por rotores y hélices. En la tabla 1 se muestra la clasificación de los drones según el número de rotores.

Tabla 01. Clasificación según el número de rotores.

Numero de rotores	Ventajas	Desventajas
Tricóptero	Fácil de construir, reparar y bajo de costo	La vida útil corta
Cuadricóptero	Maniobrables y buena estabilidad	Baja potencia de elevación
Hexacóptero	Excelente estabilidad	Elevado costo de reparación
Octocóptero	Rápidos, buena potencia de elevación y aceleración	Elevado consumo de energía

Fuente: Propio

Clasificación de las Hélices

- **Hélices expuestas**: No cuenta con ningún tipo de protección contra impactos, los más conocidos son los Hexacóptero tipo Thypoon H, utilizado para fotografías y filmaciones. En la figura 2 muestra un dron fumigadores de origen chino. (Huanqui, 2018)

Figura 2: Hexacóptero de la empresa China Yuneec.

Fuente: (YENEEC, 2021)

- **Hélices parcialmente cubiertas**: Estas ya no estas expuestas como muestras en la figura 3, en el sentido horizontal por lo cual permite poder rozar levemente superficies como paredes.

Figura3: Diseño de hélice parcialmente cubierta.

Fuente: (Cheskyw, 2021)

- **Hélices cubiertas:** Son hélices totalmente protegidas, como se muestra en la figura 4, aisladas de impactos y contacto con objetos y obstáculos.

Figura 4: Diseño VANT de forma esférica.

Fuente: (Malandrakis, Dixon, & Savvaris, 2016)

1.3.1. Hexacóptero

Es un dron o aeronave no tripulada la cual cuenta con 6 motores o también llamaros rotores, en la figura 5 muestra un hexacóptero constituido por 6 brazos y 6 hélices.

Figura 5: Diseño de un hexacóptero.

Fuente: (Ruipérez Martín, 2014)

Funcionamiento del hexacóptero

Los movimientos de un dron hexacóptero son esencialmente seis como ascender, descender, izquierda, derecha, adelante y atrás, para poder realizar estos movimientos el motor aumenta o disminuye el caudal del aire que producen los motores. En la figura 6, se aprecia el tipo de movimientos del Hexacóptero.

- Movimiento de alabeo (Roll): permite realizar movimiento de derecha o izquierda, está definido por el ángulo de giro.
- Movimiento de cabeceo (Pitch): permite realizar movimientos de adelante y atrás, está definido por el ángulo de giro.
- Movimiento de guiñada (Yaw): permite al hexacóptero girar su eje vertical.

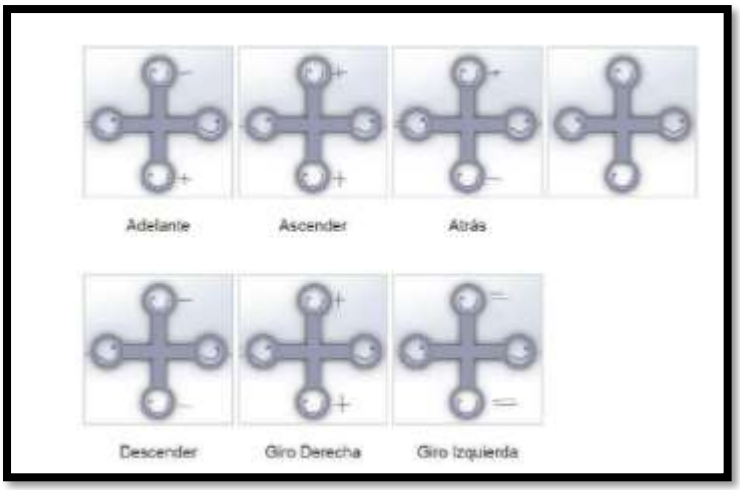


Figura 6: Movimientos del Hexacóptero.

Fuente: (Orna Chavez & Dávila Aldás, 2015)

1.3.2. Componentes del Hexacóptero

❖ **Estructura**

Es el esqueleto o armazón es aquel donde se acoplan los diversos accesorios o elementos en la cual permite el buen funcionamiento del hexacóptero, como se muestra en la figura 7.

Figura 7: Estructura de Hexacóptero marca Tarot.

Fuente: (Electronica RC, 2021).

❖ **Motor eléctrico**

Un motor es aquel componente que usa la fuerza magnética de atracción y repulsión generadas por los imanes y electroimanes, los motores para aeronaves no tripuladas son

muy particulares ya que estos presentan en ocasiones características de ser ligeros y llegan a girar a altísimas revoluciones. (PROMETEC, s/f)

En la figura 8 se muestra un motor multirotor sin escobillas 8320, este tiene una capacidad de carga de 10 -15kg, para fines agrícolas

Figura 8: Motor eléctrico tipo Brushless.

Fuente: (AliExpress, 2020).

Funcionamiento de un Motor Brushless

Motor Brushless es de los más usados en los drones, en la figura 9 se aprecia que uno de los devanados tiene una tensión de alimentación positiva, un segundo devanado tiene una tensión de alimentación negativa y un tercero se encuentra sin corriente. (Morales Rodriguez, 2018)

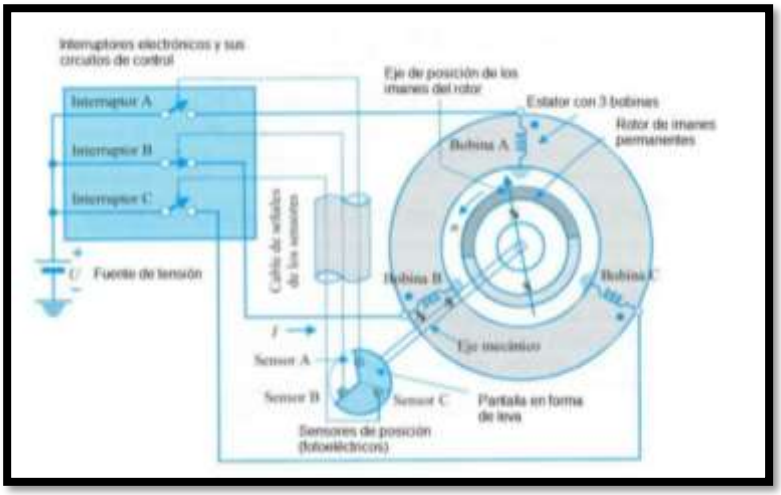


Figura 9: Esquema de funcionamiento de motor Brushless.

Fuente: (Morales Rodriguez, 2018)

❖ **Variadores (Electronic Speed Controllers -ESC).**

En la figura 10 se encuentra un ejemplo de variado de velocidad este dispositivo tiene la capacidad de coordinar la rotación y control de los motores o rotores, además genera pulsos trifásicos necesarios para generar el movimiento de los motores. (Chávez Arroyo Carrillo & Rodríguez Molleda, 2018)

Figura 10: Variador de velocidad para un dron.

Fuente: (PromeTec, s/f)

En la siguiente tabla 02 se muestra algunas especificaciones técnicas de un variado de velocidad de un hexacóptero

Tabla 02. Algunos parámetros técnicos de un variador de velocidad

Especiaciones Técnicas	
Voltaje de entrada DC	12 V – 5 V
Velocidad máxima	15 000 rpm
Par de polos de motor:	6
Corriente continua máxima (A)	5.7A
Potencia continua máxima (W)	63,3 W

Fuente: Diseño propio

Funcionamiento del ESC

Los ESC o variadores de velocidad crean corriente alterna que proviene de la batería, uno de los polos genera un pequeño voltaje proporcional a la velocidad de giro del motor llamado fuerza electromotriz, con esa información es llevada al controlador de velocidad, esta hace que envié corriente a los electroimanes para que los motores giren. En la figura 11 muestra un esquema de un variador de velocidad.

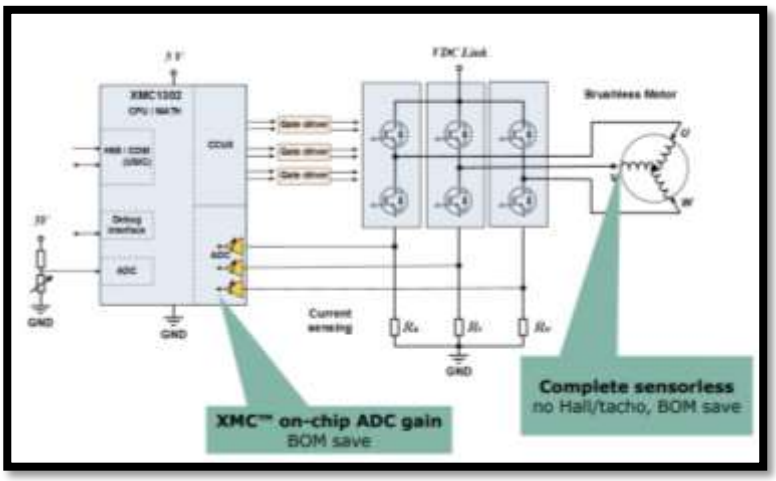


Figura 11: Diagrama de un ESC.

Fuente: (INFONEON, 2016)

- **Controlador de vuelo**

Este dispositivo se le denomina el cerebro de la aeronave no tripulada o dron, tiene vías de información hacia adentro y fuera, consiste básicamente en una placa de circuitos integrados que incluye cambios de orientación. En la figura 12 muestra cómo actúa el controlador de vuelo

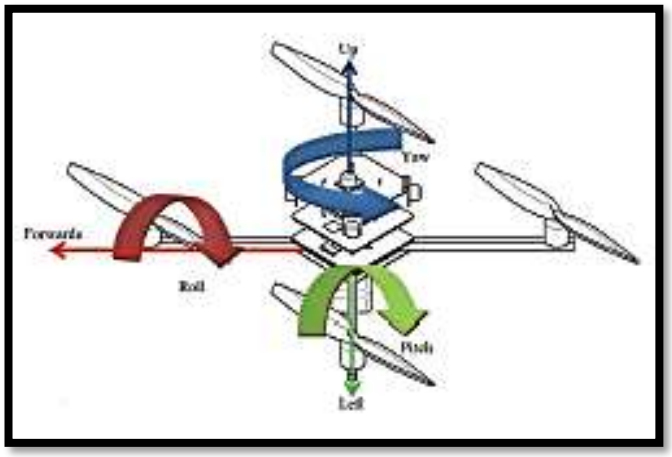


Figura 12: Sistema de referencia del dron.

Fuente: (Orna Chavez & Dávila Aldás, 2015)

Según (Drones.MX, 2016) el controlador envía información sobre el estado de los sensores, esto genera que el giroscopio envié señales para su nivelación al igual que el acelerómetro para medir su velocidad y dirección. Como muestra en la figura 13.

- **Giroscopio:** El dispositivo detecta su orientación con referencia a la gravedad de la Tierra.

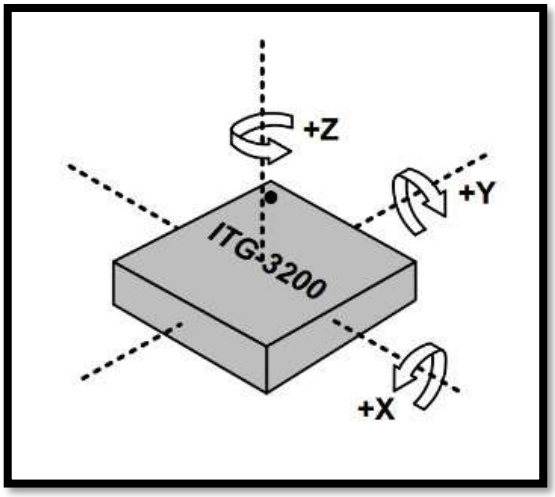


Figura 13. Ejes de rotación del giroscopio.

Fuente: (Hertz Electronica, 2021)

- **Acelerómetro**: El dispositivo mide la aceleración no-gravitacional como muestra en la figura 14, en su parte central contiene cristales microscópicos que se estresan cuando vibran y liberan voltaje medible.

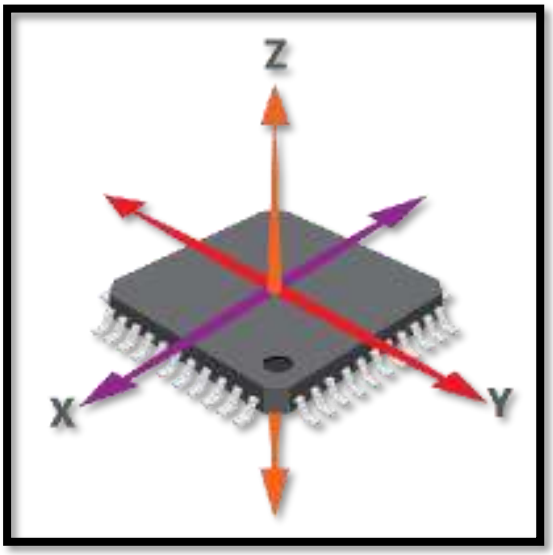


Figura 14: Acelerómetro y su orientación.

Fuente: (DIWO, 2015)

- **Barómetro:** Este dispositivo sirve para medir la altitud, la presión del aire, en este caso el barómetro puede ser utilizado por el controlador de vuelo para mantener la altitud. En la fórmula 1 muestra como hallar la presión atmosférica.

$$\boldsymbol{P = \rho\, g\, H} \qquad (\mathbf{1})$$

Donde:

P= Presión Atmosférica

ρ = Densidad del fluido (aire)

H = Altura

g = Gravedad (9.81 m/s^2)

Despejando la altura en la ecuación 2 se obtiene:

$$\boldsymbol{H = \frac{P}{\rho\, g}} \qquad (\mathbf{2})$$

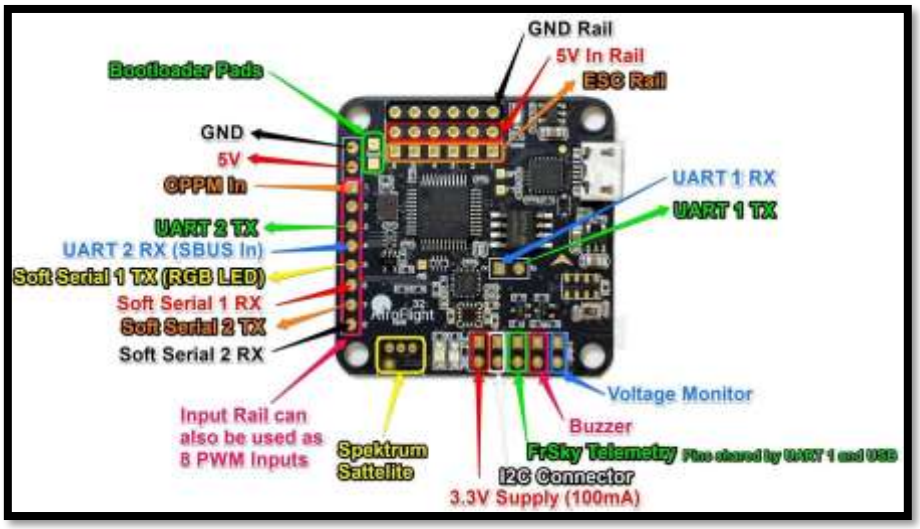


Figura 15: Circuito integrado del controlador de vuelo.

Fuente: (PROMETEC, s/f)

- **Modulo GPS:** El dispositivo indica el punto donde se encuentra la aeronave no tripulada o dron. En la figura 16 nuestra el GPS el cual permite al piloto establecer rutas e indicarle al dron que continúe su recorrido. (Juguetrónica, 2021)

Figura 16: Modulo GPS para dron tipo Phantom.

Fuente: (Megafav, s/f)

- **Batería:** Son un componente esencial para el funcionamiento de todos los componentes electrónicos de la aeronave no tripulada, existen dos tipos de batería.
  - **Baterías de iones de litio (Li-ION):** Este tipo basada de electrolitos, una sal de litio que procura los iones necesarios para la reacción electroquímica reversible entre el ánodo y cátodo. En la figura 17 muestra un ejemplo de baterías de iones de litio.

Figura 17: Baterías de iones de litio.

Fuente: (TAC, 2011)

En la tabla 03 se mostrará algunas especificaciones de las baterías de iones de litio.

Tabla 03. Especificaciones técnicas de las baterías de Li-ION

	Artículos	Especificaciones	Observación
1	Capacidad nominal	2100mAh	descarga estándar 0.2C
2	Voltaje nominal	3.2V	Voltaje malo de la operación
3	Voltaje de la entrega	3.2~3.3V	En el plazo de 10 días de la fábrica
4	Voltaje de carga	3.65V±0.03V	Por método estándar de la carga
5	Corriente de carga	0.2C 420mA	Carga estándar, tiempo de la carga sobre 6h (referencia)
6	Impedancia interna de la célula	≤50mΩ	Resistencia interna medida en la CA 1KHZ después de la carga del 50%

Fuente: (TAC, 2011)

- **Baterías de polímero de litio (Li-Po)**: Son una variación de las baterías de Iones de litio, su característica permite una mayor densidad de energía y una tasa de descarga superior. Estas baterías su voltaje nominal de 3,7 voltios, máximo 4.2 voltios y mínimo 3 voltios. En la figura 18 muestra una batería de polímero de litio de 2200 mAh.(Valentino & Cantero, 2015)

Figura 18: Batería de polímero de litio.

Fuente: (HobbyKing, 2021)

- **Radio control:** Es un dispositivo fundamental para las aeronaves no tripuladas que les permite interactuar en tiempo real con el dron. En la figura 19 muestra un radio control cual nos permite iniciar el vuelo, aterrizar y activar algunas funciones. (Chávez Arroyo & Rodríguez, 2018)

Figura 19: Control remoto de un dron modelo WFT06X-A.

Fuente: (UAV COACH, 2019)

1.3.3. Sistema de pulverización

- **Boquillas pulverizadoras:** Estos dispositivos transforma la energía total de un líquido en energía cinética, la forma es descomponer el líquido en pequeñas partículas y de esta manera distribuirlas de manera uniformemente en todo el sembrío o área.

Se determina por le diámetro interno de paso, así como por la presión ejercida.

$$Q_{req} = Q_1 \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} \qquad (3)$$

Siendo:

- Q1 (lt/min)
- P1 y P2 (bar)
- Q req (lt/min)

- **Angulo de aspersión.**

Generalmente el ángulo de aspersión se mide del orificio, en caso que se aumente la distancia de medición, podemos decir que se pierde presión a causa de la gravedad y de las condiciones ambientales.

A continuación, se describen las categorías principales en la tabla 04 observamos los tipos de boquillas de pulverización. En la tabla 05 se muestra algunos parámetros para tomar en cuenta para el diseño para el sistema de pulverización.

Tabla 04. tipos de boquillas de pulverización.

TIPOS DE BOQUILLAS DE PULVERIZACION		
BOQUILLA	**PATRON DE ASPERSION**	**CARACTERISTICAS.**
Abanico		Pulverización con concentración hacia el centro en relación con su contorno.
Cono		Gotas Finas; completa cobertura de la plantación; ideal para legumbres.
Espejo		Gotas gruesas; necesitan de un gran flujo de líquido para que su aspersión sea la adecuada.
Aspersión uniforme		Ideal para pulverización en bandas o camellones; provocan una aspersión uniforme sin traslape

Fuente: (Orna, et al.,2017)

Tabla 05. Parámetros de diseño para el sistema de pulverización.

Parámetros		**Unidades**
Caudal requerido	Q_{req}	L/min
Presión mínima de boquilla	P_{boq}	Bar
Altura del arroz	h_{arroz}	m
Caída vertical del chorro	Z	m
Total, de hectáreas	T_{ha}	Ha
Área de salida de la boquilla	A_{boq}	m^2
Número de boquillas	N_{boq}	adimensional
Eficiencia del motor	E_{mot}	%
Densidad liquido	ρ	kg/m^3
Presión de bombeo	P_{bom}	Bar
Potencia de motor	P_{mot}	W

Fuente: (Orna, et al.,2017)

- **Bombas de presión de agua.** En la tabla 06, se muestra la comparación de algunas bombas de agua para definir una apropiada que será acoplada en el hexacóptero. (Orna, et al.,2017)

Tabla 06. Comparación de bombas de agua para alimentación DC

BOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACION DC			
Bombas Características	**Bomba de Diagrama R385-PLUS**	**Micro-Bomba Anself 12 VDC**	**RS- 360SH**
Aspecto			
Dimensiones (mm)	90 x 40 x 35	52 x 46 x 55	42 x 45 x 65
Peso	98 gr	65 gr	106 gr
Caudal De Salida	1,5 – 2 lt/min	1,5 – 2 lt/min	1 – 2 lt/min
Voltaje De Operación	6 – 12 volts	6 – 12 volts	3- 9 volts
Corriente	0,25 – 0,75 Amper	≤ 0,25 Amper	≤ 0,2 Amper
Voltaje Nominal	7,2 volts	9 volts	7,2 volts

Fuente: (Orna, et al.,2017)

1.3.4. Sistema de vuelo

- **Velocidad del hexacóptero.** Para determinar la velocidad se marca una distancia mínima de 20 metros y se procede a medir el tiempo en segundos que tardará el drone en recorrer esta distancia, esta velocidad se expresa en kilómetros por hora (m/s) y se calcula con la ecuación 4. (Galvinez, 2019)

$$\boldsymbol{V} = \frac{\boldsymbol{d}}{\boldsymbol{t}} \qquad (\mathbf{4})$$

Donde:

v = Velocidad en (m/s)

d = Distancia medida en metros (m)

t = Tiempo en segundos que tardará el dron (s)

- **Cálculo de la potencia.**

Para calcular la densidad del aire a esa altitud se utiliza el modelo de atmosfera estándar ISA, la densidad se puede obtener con la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{\rho_{aire} = \rho_0 \left(1 - \frac{6,5x10^{-3}h}{288,15}\right)^{4,252}} \qquad (5)$$

Donde:

ρ_0 = Densidad del aire estándar a nivel del mar (kg/m^3)

h = altura máxima de vuelo (m)

La tracción que debe generar un hexacóptero es igual al peso propio más la carga útil, la potencia requerida para vuelo a punto fijo.

$$\boldsymbol{P_{i0} = T(v_{i0})} \qquad (5)$$

Donde:

T = tracción que genera cada motor (N)

v_{i0} = velocidad inducida en vuelo a punto fijo.

La velocidad inducida es la velocidad del aire a la salida de la hélice, la misma puede ser calculada con la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{v_{i0} = \sqrt{\frac{T}{2\rho_{aire} * A}}} \qquad (6)$$

Donde:

A = área de proyección del motor.

El área de proyección del rotor se calcula con la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{A = \pi R^2} \qquad (7)$$

R = radio de la hélice.

Se recomienda para una carga de 12 kg hélices de 15 pulg, y para cargas de hasta 16 kg hélices de 18 pulg.

Para calcular la solides de la hélice:

$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{\boldsymbol{bc}}{\boldsymbol{\pi R}} \qquad (\mathbf{8})$$

Donde:

σ: Área efectiva

b = número de palas de la hélice

c = cuerda de la pala (ancho de la pala)

R = radio de la hélice

- **Potencia en vuelo a punto fijo.** Se calcula el coeficiente de tracción $\boldsymbol{C_T}$.

$$\boldsymbol{C_T} = \frac{\boldsymbol{4mg}}{\boldsymbol{\rho \pi D^2 (\omega R)^2}} \qquad (\mathbf{9})$$

Donde:

m = masa (kg)

g = grave dad (m/s^2)

ρ = densidad (kg/m^3)

π = Pi (3,1415)

D = diámetro (m)

R = radio (m)

ω = velocidad angular de la hélice (rad/s)

La velocidad angular es una variable importante para el control del hexacóptero.

- **Fórmulas**

- **Número de baterías**

$$\boldsymbol{V_{nb} = T_{bateria} * N_{series}} \qquad (\mathbf{10})$$

Donde:

$T_{bateria}$= Tensión batería (V)

N_{series}= Número de serie

V_{nb}= Voltaje batería nominal (V)

- **Tiempo de vuelo**

$$\boldsymbol{T_{vuelo}} = \frac{\frac{\boldsymbol{C_{bateria}}}{\mathbf{1000}}}{\boldsymbol{I_{motor}}} * \mathbf{60} \qquad (\mathbf{11})$$

Donde:

T_{vuelo} = Tiempo de vuelo (min)

$C_{bateria}$ = Capacidad de batería

I_{motor} = Corriente del motor (A)

- **Corriente máxima consumida**

$$\boldsymbol{I_{max\ consum} = I_{otras} + I_{motor} * N_{motores}} \quad (\mathbf{12})$$

Donde:

$\boldsymbol{I_{max\ consum}}$ = Corriente máxima consumida (A)

- **Corriente consumida de la batería con la carga de vuelo seleccionada**

$$\boldsymbol{I_{max\ bateria} = I_{max\ consum} * T_{vuelo}} \quad (\mathbf{13})$$

Donde:

$\boldsymbol{I_{max\ bateria}}$ = Corriente consumida en baterías (A)

- **Potencia consumida por el hexacóptero**

$$\boldsymbol{W_{max} = I_{max\ consum} * V_{nb}} \quad (\mathbf{14})$$

1.4.FORMULACION DEL PROBLEMA

Como diseñar y dimensionar un hexacóptero para implementar un sistema de fumigación y reducir el tiempo de aplicación de los productos químicos en las plantaciones de arroz.

1.5.JUSTIFICACION

1.5.1. Justificación tecnológica

El presente proyecto asociado al tema del uso del dron fumigadores tipo hexacóptero para la aplicación de productos químicos en plantaciones de arroz es de mucha importancia, debido a que aprovechan esta tecnología para fumigar sus plantaciones de arroz y con una mayor eficiencia.

1.5.2. Justificación económica

Actualmente en el mercado internacional se encuentran drones para aplicaciones en la agricultura tienen un costo de 14 297 dólares americanos. Por ello el dron tipo hexacóptero que se propone tendrá una inversión menor que los mercador nacionales e internacionales.

1.5.3. Justificación ambiental

El proyecto ayudara a reducir el impacto ambiental producido por los productos químicos, ya que al rosear la cantidad exacta del químico no contaminara el suelo, así mismo tampoco afectara a los centros poblados cercanos.

1.5.4. Justificación social

El proyecto tendrá un impacto social positivo ya que el hexacóptero ayudará y beneficiará a otros agricultores a aprender el manejo de esta tecnología, con ello otros agricultores podrán usar para sus diferentes plantaciones, por otro lado, los estudiantes podrán tomar de referencia la investigación para desarrollar nuevos diseños de aeronaves no tripuladas.

1.6.HIPOTESIS

El diseño de un hexacóptero permitirá la aplicación de productos químicos y reducirá el tiempo de aplicación en las plantaciones de arroz.

1.7.OBJETIVOS

1.7.1. Objetivos Generales

Diseño de un sistema de fumigación aérea no tripulado para la aplicación de productos químicos en sembríos de arroz con una capacidad de 15 litros.

1.7.2. Objetivos Específicos

a) Determinar los requerimientos del usuario y parámetros para el diseño del dron.
b) Seleccionar el concepto de diseño optimo del sistema de fumigación a través de una matriz de ponderación.
c) Dimensionar la geometría y materiales del sistema de fumigación
d) Seleccionar los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos del sistema de fumigación.
e) Analizar con elementos críticos con el software SolidWorks
f) Analizar la factibilidad económicamente, del sistema de fumigación.

CAPÍTULO II

II. METODO

2.1.Tipo y Diseño de la Investigación

Tipo: Exploratorio porque el uso de los drones en la agricultura hoy en día es una tecnología que recién está teniendo acogida por los grandes agricultores es por ello que se decidió investigar en los diferentes artículos de investigación y tesis para entender mejor el funcionamiento y posteriormente realizar nuestro diseño del sistema de fumigación.

Diseño: Cuasi-Experimental, ya que se propone una serie de los pasos de la metodología que se llegará usar para llevar a cabo el diseño de un sistema de fumigación aérea no tripulado para la aplicación de productos químicos en plantaciones de arroz

2.2.Variables

En este proyecto de diseño de ingeniería, se aplicará un esquema proponiendo variables de diseño, de solución y parámetros de definición del problema, estas variables determinaran el diseño del sistema de fumigación aérea no tripulada para la aplicación productos químicos en plantaciones de arroz.

Tabla 07. Variables dependiente e independiente

Variable Independiente	**Dimensiones**	**Indicadores**	**Ítem**	**Técnica e instrumento de recolección de datos**
Diseño de un sistema aéreo no tripulado	Análisis de estudio mediante un software	• Presión • Potencia • Velocidad • Altura	$P = \frac{F}{A}$ $Pot = \frac{w}{t}$ $V = \frac{d}{t}$ $H = \frac{P}{\rho\, g}$	Registro electrónico
Variable dependiente Aplicación de productos químicos en plantaciones arroz.	Análisis y cálculo de estudio mediante un software	• Caudal ($\frac{m^3}{s}$) • Potencia requerida de la bomba (KW) • Volumen necesario del tanque (m^3)	$Q = v.A$ Potencia hidráulica $Pot_h = \frac{Q_{cal}\, P_{cal}}{600}$ Potencia Motor $Pot_{motor} = \frac{Pot_h}{(ef_{bomba})(\, ef_{motor})}$	Observación Análisis bibliográfico

Fuente: Elaboración propia.

2.3.Población y muestra

La población para este proyecto es la cantidad de personas que se necesitan para aplicar los productos químicos en las plantaciones de arroz en el caserío de la cruceta Tambogrande.

La muestra está determinada por la fumigación de una hectárea de arroz en la cual se necesitará 2 personas que utilizaran fumigadores manuales en la plantación de arroz, de esta forma se lograra diseñar un sistema eficaz y al mismo tiempo eficiente.

2.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Se uso como técnicas de recolección de datos el registro electrónico y la observación; así como también el análisis bibliográfico, de esta forma se tendrá más claro lo que se va a realizar, garantizando que la información sea propicia para el diseño de un sistema de fumigación aérea no tripulada para la aplicación de productos químicos en plantaciones arroz.

2.4.1. Registros electrónicos

En la investigación se usó del programa de diseño de SolidWorks para la captación de diversos datos y resultados de los análisis a realizar.

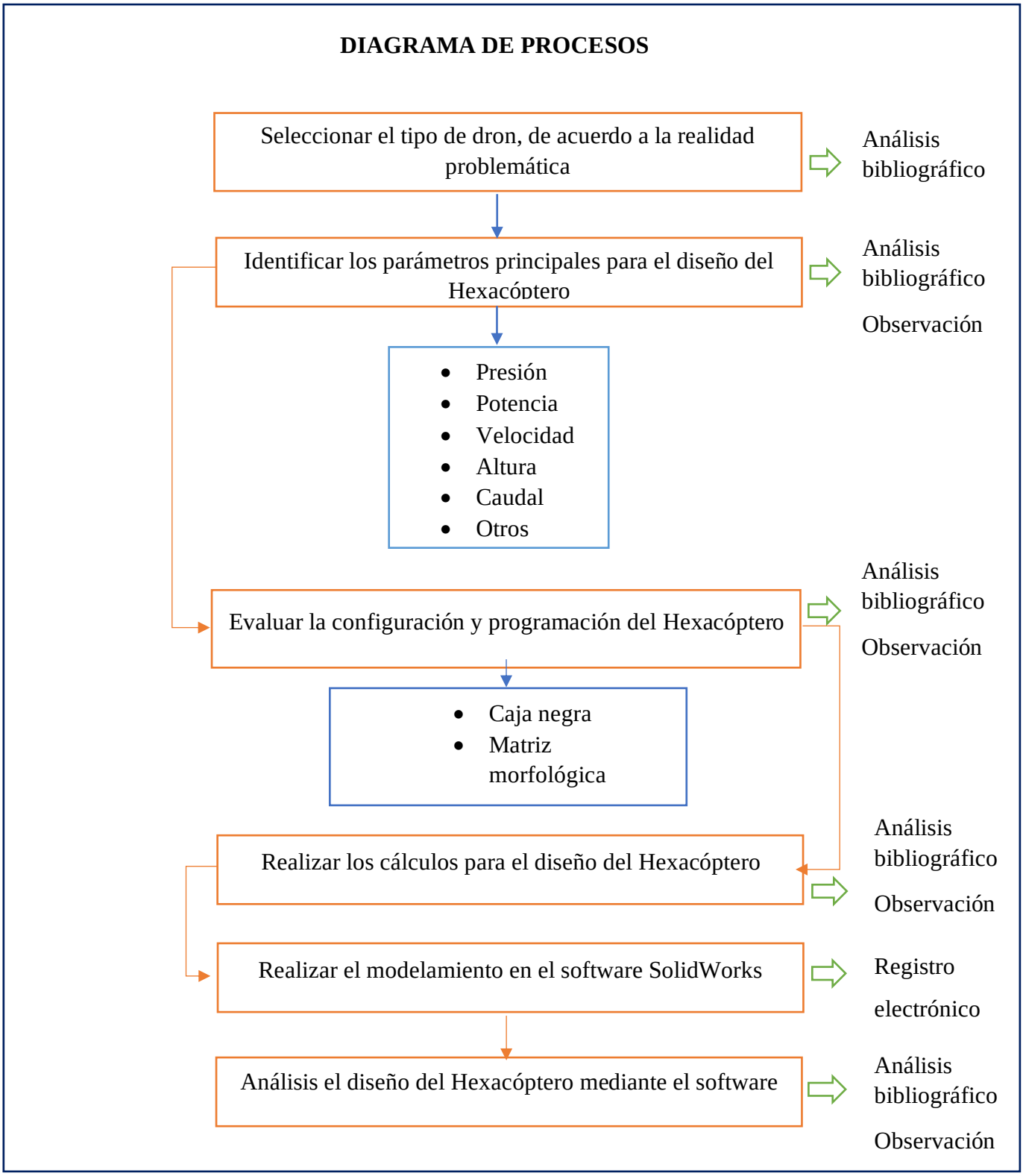
2.4.2. La observación

Según (Covarrubias & Lule, 2012) la observación es la forma organizada y lógica para registrar y verificar lo que queremos conocer o estudiar; en otras palabras, la finalidad es captar todo lo que ocurre alrededor del mundo en tiempo real, de tal forma que se puede describir o analizar desde una perspectiva científica.

2.4.3. Análisis bibliográfico

Para la investigación se basó en la búsqueda de artículos de investigación, tesis y proyectos en los que se enfocó el tema de diseño de aeronave no tripulada para el uso de la agricultura para el beneficio común de los agricultores como también de las grandes empresas agrícolas, con el fin de controlar y tener en un buen estado de las plantaciones libres de plagas o malezas

2.4.4. Procedimiento de análisis de datos.



2.5.Criterios éticos

En este proyecto de investigación, se cree conveniente basarnos en los términos éticos para ello se hará uso de dos documentos fundamentales: el código de Ética del Colegio de ingenieros (CIP,1999), como también el código de ética de investigación, de la Universidad Señor de Sipán (SIPAN, 2019)

2.5.1. Código de ética del colegio de ingenieros del Perú (CIP)

En este documento se describe el comportamiento de un ingeniero con la población haciendo uso de los valores como la responsabilidad, honestidad, dedicación y profesionalismo, es parte fundamental para su vida como profesional de poner en práctica con la población, colegas donde ejerce su profesión, estos valores permitirán a su desarrollo como profesional logrando de esta manera ser una persona competente dentro de su carrera de estudios.

2.5.2. Código de ética de investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS).

Según (SIPAN, 2019) el código de la universidad se encarga de determinar la ética y la utilidad que se da en la investigación universitaria. Es por este motivo que se presenta las convicciones éticas, con esto nos regimos a las políticas anti plagio y los procedimientos de rigor que lleva una sanción por ir en contra de la ética de investigación de la universidad.

2.6.Criterios de rigor científico

En el presente proyecto de investigación se tendrán en cuenta los principios de rigor científico como la credibilidad, validez, fiabilidad y replicabilidad.

a) Credibilidad

En esta investigación se hace una recolección de datos minuciosamente logrando la adquisición de una información relevante que va acompañada a la realidad y que no es alterada por ninguna causa externa de esta manera se logra la confianza en el lector.

b) Validez

Los datos recolectados son de fuentes de confianza de esta manera se puede dar una valides a nuestra investigación con las variables sobresalientes y que guarden relación al problema de investigación.

c) Fiabilidad

Con este criterio demostramos transparencia al desarrollar una investigación al momento de adquirir información una metodología meticulosa y científica.

d) Replicabilidad

Los registros de información y métodos obtenidos en la investigación permitirán continuar con la experiencia con una intención de obtener resultados en proyectos de investigación siguientes.

CAPÍTULO III

III. RESULTADOS

En el proyecto de investigación se cree conveniente realizar el diseño de una aeronave no tripulada con el fin cubrir las necesidades de las personas que se dedican a la agricultura (siembra de arroz), se realiza una recopilación de información en función a las necesidades de los agricultores del centro poblado la cruceta.

3.1. Requerimientos para el diseño del hexacóptero

Se realizo una encuesta a 20 agricultores con el fin de conocer sus necesidades de fumigación de sus cultivos de arroz, en el cuestionario de aplicaron nueve preguntas y se encuentra en los anexos N° 1. Se llego a conocer cada uno de sus necesidades en la cual se planteó el requerimiento de diseño que se logra explican en la Tabla 8.

En tabla N°8, se realizó un resumen de los resultados obtenidos de la encuesta aplicada a los 20 agricultores, para obtener los requerimientos de diseño, en la cual se detalla de una forma más clara en la tabla 9.

Tabla. 8. Requerimientos para el diseño

Opciones	fa	Fr	F %
Fumigar zonas inaccesibles	3	0.2	15%
Tiempo de vuelo adecuado	7	0.4	35%
Capacidad de carga útil	2	0.1	10%
Facilidad de montaje	4	0.2	20%
Facilidad para darle mantenimiento	4	0.2	20%
TOTAL	**20**	**1**	**100%**

Fuente. Elaboración propia

Tabla. 9. Descripción de los requerimientos de diseño

ITEM	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN DEL REQUERIMIENTO
1	Función	- Fumigar zonas inaccesibles para el operario. - Adecuada altura de vuelo para sobrevolar obstáculos. - Tiempo de vuelo adecuado para realizar la actividad de fumigación. - Capacidad de carga útil para acoplar los elementos de transmisión.
2	Fuerzas	- La fuerza de propulsión se obtendrá a través de los motores.
3	Energía	- Requerir fuentes de energía liviana con una alta capacidad de almacenamiento.
4	Materiales	- Utilizar materiales livianos y resistentes para su construcción.
5	Fabricación y Montaje	- Los elementos de la estructura serán fabricados con tecnología existente en el país, para su reproducción. - Simplicidad de montaje y desmontaje de cada elemento para su remplazo y carga de baterías.
6	Transporte	- Facilidad para su transporte
7	Vida útil y mantenimiento	- Fácil mantenimiento de los elementos.
8	Costos	- La fabricación del prototipo será menor al de un equipo comercial.

Tabla 9: Requerimiento de diseño.

Fuente: Elaboración Propia

3.1.1. Estudio de mercado

Una vez obtenido los requerimientos de diseño de los agricultores, se decidió a buscar las formas de solucionar el problema, para ello se dispuso buscar información para ver el diseño más adecuado, en ese sentido se hace un levantamiento de información (estudio de mercado) para ver las ventajas y desventajas de los drones de fumigación a nivel internacional).

El estudio de mercado realizo 4 productos que tienen un alto costo al momento de adquirir este producto y al mismo tiempo dificultad para obtenlo ya que solo se puede importar de otro país y así mismo con sus piezas de repuesto, es por ello que se decidió hacer este diseño del sistema de fumigación con piezas que se puede encontrar en el mercado nacional de este modo los usuarios puedan adquirir este sistema de fumigación sin ningún obstáculo.

- **Drones fumigadores actuales.**

a) DJI Agras T20 dron agrícola goza de un sistema de pulverización con alto rendimiento puede trabajar de una forma autónoma en cualquier tipo de terreno agrícola, en la figura 20 muestra un dron agrícola.

Figura 20: DJI Agras T20 dron agrícola

Fuente: (DJI Agras T20, 2018)

Las características generales del Dron Agrícola DJI Agras T20 se especifican en la Tabla 10 y las ventajas y desventajas en la Tabla 11.

Tabla. 10. Características del Dron DJI Agras

DESCRIPCIÓN GENERAL	
Capacidad del Tanque	20 litros.
Anchura de rociado	4 – 7 m, hasta 6 litros por minuto.
Autonomía de vuelo	15 min (peso de despegue de 27.5 kg), y 10 min (peso de despegue de 42.6 kg).
Tipo de Radar	digital omnidireccional.
Tipo de motor	Motor de agricultura por inteligencia artificial.
Velocidad máxima de funcionamiento	7 m/s
Altura máxima de vuelo	2000 m
Temperatura de funcionamiento	0° a 40 °C
Cantidad de boquillas	8
Consumo eléctrico	18 W
BATERIA DE VUELO INTELIGENTE T20	
Modelo	AB3-18000 mAh-51.8 V
Peso	6.4 kg (aproximadamente)
Capacidad	18000 mAh
Voltaje	51.8 V.

Tabla 10: *Descripción General.*

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla. 11. Ventajas y desventajas del Dron DJI Agras

Ventajas	Desventajas
• Diseño robusto • Para cargas de trabajo largas o pesadas. • Planificación de rutas de vuelo en 3D • Pueden rociar a una velocidad de hasta 6 l/min. • Asegura un flujo eficiente para cada boquilla.	• Costo elevado • Piezas de reemplazo no son comerciales en el mercado peruano.

Tabla 11: *Ventajas y desventajas.*

Fuente: *Elaboración Propia*

b) Drone M4E**,** dron agrícola inteligente, como muestra en la figura 21, soporta más de 20 litros de líquido pulverizante.

Figura 21: Dron tipo M4E dron agrícola

Fuente: (Equipo, 2021)

Las características generales del Dron Agrícola M4E se especifican en la Tabla 12 y las ventajas y desventajas en la Tabla 13.

Tabla. 12. Características del Dron agrícola tipo M4E

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA UAV M4E	
Modelo	M4E
Distancia entre ejes diagonal	1090mm
Altura plegada	495mm
Volumen del tanque	5L
Eficiencia en el trabajo	1-1.5 Acre / 5min
Carga útil Tiempo de vuelo	5-10min
Carga útil vacía Tiempo de vuelo	15-20min
Velocidad de vuelo	0-15m / s
Altura de vuelo	3500m
Aproximación al aterrizaje Despegue y aterrizaje vertical.	
Anti-viento	<12.0m / s
Pulverización	
Diámetro de la gota de pulverización	80-200μm
Cantidad de boquillas	2 piezas
Recomendar Spray Speed	4.8-6m / s

Ancho de pulverización	4-5M
Altura de pulverización 2	-4M sobre el cultivo

Tabla 12: Descripción General.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. 13. Ventajas y desventajas del dron tipo M4E

Ventajas	Desventajas
• Velocidad 40 veces más que el fumigador común. • Ahorra 90% de agua • Ahorra entre 30 y 40% de pesticidas	• Costo elevado • Importar de otro país

Tabla 13. Ventajas y desventajas.

Fuente: Elaboración Propia

c) Dron fumigador centrifugo electrostático 10 litros, fabricado con materiales de alta calidad, vida útil larga, costo de mantenimiento bajo y sus piezas fáciles de reemplazar.

Figura 22. Dron fumigador centrifugo electrostático 10 litros

Fuente: (Sitelock, 2021)

Las características generales del Dron fumigador centrifugo electrostático 10 litros, se especifican en la Tabla 14 y las ventajas y desventajas en la Tabla 15.

Tabla. 14. Características del Dron fumigador centrifugo electrostático 10 litros

DESCRIPCION GENERAL		
Tanque de fumigación		10L
Peso neto		10.5kg
Peso al despegar		22kg
Capacidad máxima de despegue		25kg
Tiempo de vuelo		10 ~ 15min
Altura de vuelo		0 ~ 30 m
Velocidad de vuelo		0 ~ 12 m / s
Temperatura de trabajo		-10 ~ 70 ° C
Velocidad de pulverización		0 ~ 8 m / s
Ancho de pulverización / boquilla n. °		Boquillas de 3,5 ~ 5,5 m/2Electrostáticas y Centrífuga
Spray Flow		1 ~ 1.5L / min
Resistencia al viento		10 m / s
Tamaño de la máquina	Tamaño de propagación	Ancho 1.3m x Largo 1.3m x Altura 0.45m
	Tamaño plegado	Ancho 0.6m x Largo 0.6m x Altura 0.51m
Sistema de potencia	Motor	Brushless
	Hélice	Fibra de carbono
	ESC	Respuesta rápida del acelerador
Batería / Cantidad		6S 12000mAh / 2pc

Tabla 14: *Descripción General.*

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla. 15. Ventajas y desventajas del dron electrostático de 10 litros

Ventajas	Desventajas
Protección a los agricultores de intoxicaciones e insolaciones	Alto costo del dron
Rocía 20-40 hectáreas por día.	Importación de otro país
La contaminación del agua y del suelo se reduce severamente	Difícil adquisición de piezas
Ahorra el 30% de pesticidas (alto grado de atomización)	

Tabla 15: *Ventajas y desventajas.*

Fuente: *Elaboración Propia*

d) Dron agrícola DJI Agras T30 con una carga útil grande de 30 kg, cuenta con una capacidad de esparcimiento de 40 – 50 kg/min. Cuenta con 16 boquillas buena cobertura y uniforme, ofrece caudales masivos de 8 litros por minuto alcanzando pulverizar 97 hectáreas / día.

Figura 23. Dron agrícola DJI Agras T30

Fuente: (XAG, 2021)

Las características generales del Dron agrícola DJI Agras T30, se especifican en la Tabla 16 y las ventajas y desventajas en la Tabla 17.

Tabla. 16. Características generales del Dron agrícola DJI Agras T30

DESCRIPCIÓN GENERAL	
Capacidad del Tanque	30 litros.
Anchura de rociado	7 – 9 m, hasta 40 – 50 litros por minuto.
Cantidad de boquillas	16
BATERIA DE VUELO INTELIGENTE T30	
Modelo	AB3-18000
Peso	6.4 kg (aproximadamente)
Capacidad	29000 mAh
Voltaje	51.8 V.
CARGADOR INTELIGENTE T30	
Capacidad de carga	7200 w
Carga súper rápida	10 min
carga	2 canales

Tabla 16: Descripción General.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla. 17. Ventajas y desventajas del Dron agrícola DJI Agras T30

Ventajas	Desventajas
Reduce la intoxicación del operario	Muy costoso
Reflector de luz (operaciones nocturnas)	Importación de otro país
Causales masivas de 8 litros por minuto	Difícil de adquirir los repuestos.
Pulverización 97 hectáreas / día.	

Tabla 17: Ventajas y desventajas.

Fuente: Elaboración Propia

CAJA NEGRA

Una vez que se conoce el requerimiento de diseño y el estudio de mercado que demanda el sistema de fumigación se cree conveniente la elaboración de la caja negra para obtener un mejor entendimiento de sus funciones del diseño que se va realizar en esta investigación (Figura 24)

Figura 24. Caja negra

Fuente: elaboración propia.

CAJA DE FUNCIONES.

En la caja de funciones se presenta el ingreso de la carga y energía eléctrica para el diseño del sistema de fumigación con el fin de obtener un mejor entendimiento sobre el diseño a realizar (Figura 25).

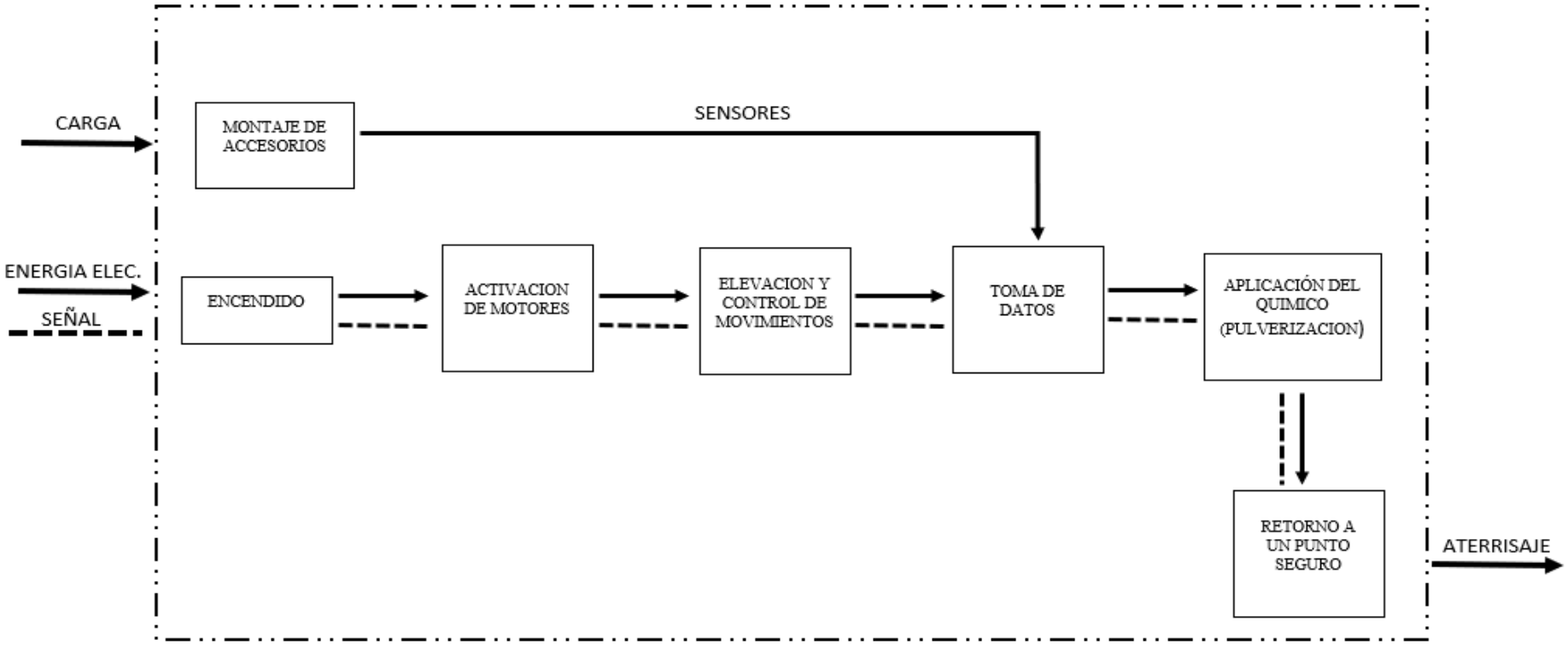


Figura 25. Caja de Funciones

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Selección de diseño óptimo del sistema de fumigación

Para determinar el diseño óptimo del dron fumigador fue necesario realizar una matriz morfológica, por ello en la tabla 9 se presenta los requerimientos más importantes, estos se obtuvieron de las encuestas aplicadas a los diferentes agricultores en plantaciones de arroz

(Ruipérez Martín, 2014) indica recomendaciones para el diseño del dron fumigador en plantaciones de arroz. Estas son algunas de las destacadas que se tomó en cuenta para el diseño de dron fumigador,

- **Recomendaciones de diseño**

- El sistema de fumigación aéreo no tripulado debe ser bajo costo comparándolo con los drones existentes.
- Los drones agrícolas o fumigadores tienen que transportar una carga que puede variar entre 15 a 48 kg.
- Su capacidad de permanecer suspendido en el aire manteniendo un vuelo estable y sin oscilaciones.
- El armazón debe ser de materiales resistentes como una aleación de metal y/o polímero
- El dron de ser fácil manipulación, mantenimiento y remplazo de los componentes.

- **Matriz Morfológica**

En la tabla 18 se muestra la realización de la matriz morfológica, esta se basó en la tabla 8 y 9 de los requerimientos de diseño, en la cual se obtuvo cuatro combinaciones que se presentara a continuación:

Tabla 18. Matriz morfológica para el dron fumigador

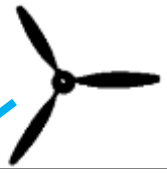
Funciones	Diseño 1	Diseño2	Diseño 3	Diseño 4
Hélices				
Marco o chasis				
Controlador				
ESC				
Motor				
Batería				
Tanque de fumigación				

Tabla 18. matriz morfológica.

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con la elaboración asignada se determinó cuatro modelos propuestos de deseño para el sistema de fumigación aéreo no tripulado.

Tabla. 19. Estructura de funciones

CONCEPTOS DE SOLUCION	TIPO DE LINEA
1	
2	
3	
4	

Tabla 19. Estructura de funciones.

Fuente: Elaboración Propia

- **Descripción de los componentes propuestos para el diseño del dron fumigador**

a) **Hélices.** Estas son hechas de fibra de carbono, estas tienes una eficiencia aerodinámica y capacidad de elevación, además vuelan bajo cualquier condición meteorológica

b) **Chasis o marco.** Es donde estará ensamblado todos los componentes del dron, el material a analizar es fibra de carbono y metal.

c) **Controlador de vuelo.** Es el cerebro, este contiene circuitos integrados **que** detectan cambios de orientación, como alternativas se presenta:

- DJI NAZA-M
- ARDUINO UNO
- PIXHAWK
- JIYI K ++

d) **Controlador de velocidad (ESC).** Este controlador asegura al dron fumigador un mejor rendimiento de corriente. Para este diseño se presenta ESC desde los 30 a 50 amperios.

e) **Motor electrónico.** Los motores son brushless, se calculará que motor es necesario para el diseño del dron fumigador.

f) **Batería.** Las baterías es un componente esencial para el funcionamiento de todos los componentes electrónicos del dron, para el diseño se presentan baterías de li-po (polímero de litio) y li-ion (iones de litio)

g) **Tanque.** Es el recipiente donde se pondrá el líquido a fumigar, este tanque es de material de polímero, y el diseño cambiara de acuerdo a cada diseño.

- **DISEÑO 1:** El primer diseño que se muestra en la figura 26, se muestra el dron fumigador, en la cual está conformado por unas hélices hechas de fibra de carbono, estas tienes una eficiencia aerodinámica y capacidad de elevación, además vuelan bajo cualquier condición meteorológica.

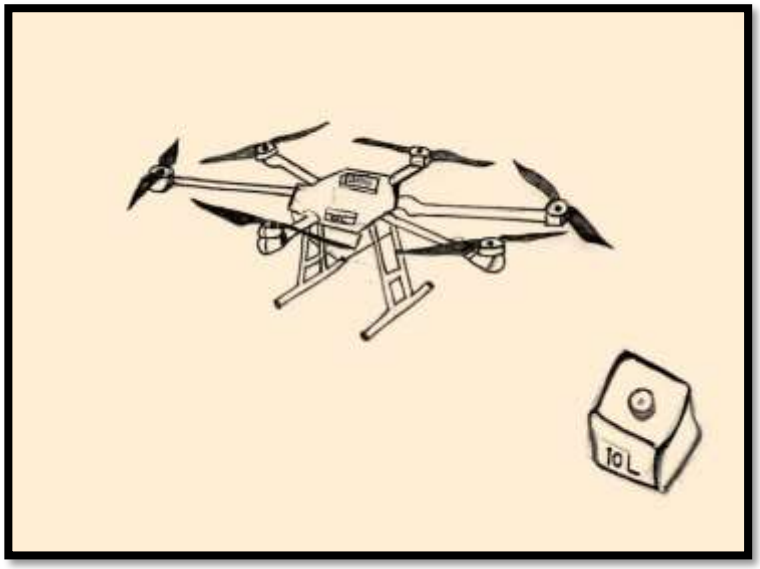


Figura 26. Dron para fumigación de 6 brazos, doble hoja y tanque cuadrado capacidad de 10 litros

Fuente: elaboración propia

.

- **DISEÑO 02:** El segundo diseño como se muestra en la figura 27, está conformado por unas Hélices de 3 hojas, marca T Motor, material de fibra de Carbono. El chasis basado en un modelo parecido al Tarot, está compuesto por fibra carbono, bancada de motor de aluminio y carbono.

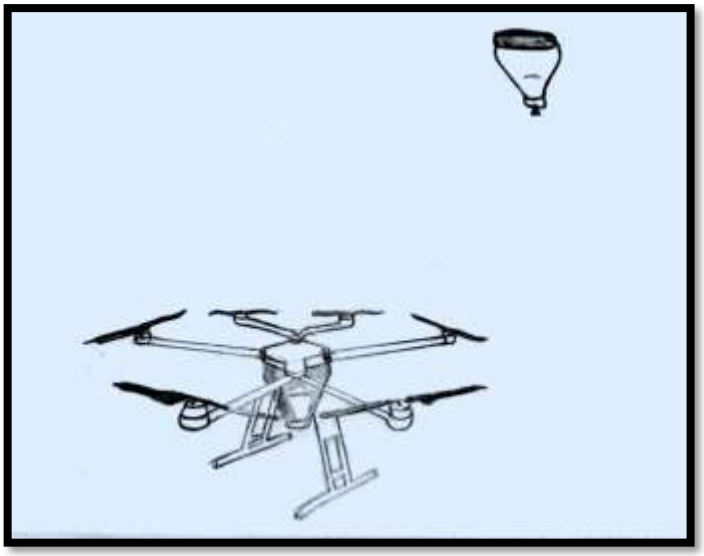


Figura 27: Dron para fumigación de doble hoja y tanque forma cilíndrica con capacidad de 15 litros.

Fuente: Elaboración propia

- **DISEÑO 03:** El tercer diseño, como se muestra en la figura 28, este diseño tiene una hélice de tres hojas, y con un chasis hecho de fibra de carbono con piezas hechas de aluminio. Controlador de vuelo Tipo NAZA, este controlador puede incorporase un triple eje del giroscopio, así como el acelerómetro y magnetómetro.

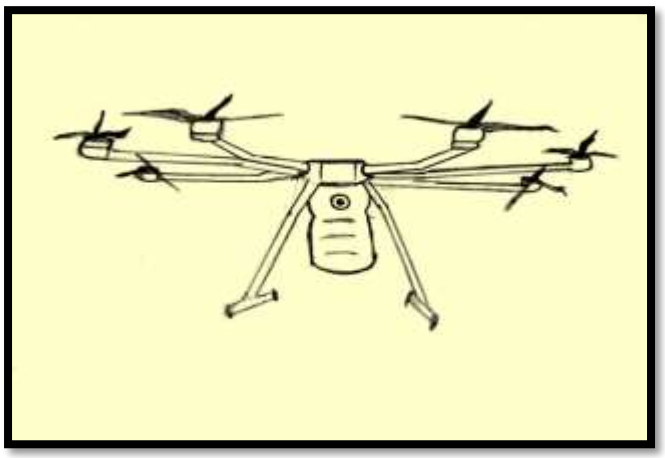


Figura 28: Dron para fumigación agrícola de triple hoja y tanque de forma de botella capacidad de 10 litros.

Fuente: Elaboración propia

- **DISEÑO 04**

El cuarto diseño como indica la figura 29, contiene una hélice de dos hojas el material fibra de carbono, y con un chasis basado en el modelo T16, además su base es tipo U, así el dron tendrá un aterrizaje suave, este base hecho de un aluminio 7075. Controlador de vuelo Jiyi K ++

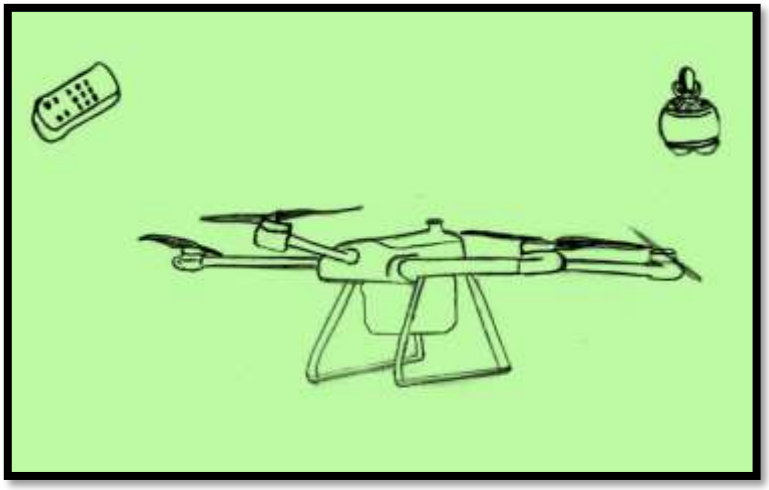


Figura 29: Dron para fumigación agrícola de doble hoja y tanque tipo mochila capacidad de 15 litros.

Fuente: Elaboración propia

3.2.1. Matriz de ponderación

Utilizando las tablas 8 y 18, se realizó cuatro diseños resultantes las cuales serán evaluados en una matriz de ponderación con el fin de seleccionar el mejor diseño conceptual que satisfaga a los requerimientos de la necesidad en los sembríos de arroz. En la tabla 20 se mostrarán los indicadores de conceptos para la evaluación del dron fumigador.

Tabla. 20. Indicadores de conceptos

INDICADORES	
PUNTUACION	DESCRIPCION
4	EXCELENTE
3	SATISFECHO
2	POCO SATISFECHO
1	MALO
0	MUY MALO

Tabla 20: indicadores de conceptos.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla. 21. Ponderación de análisis de los criterios técnicos.

De la tabla 8 se obtuvieron los siguientes requerimientos de diseño, esto sirvió para realizar la tabla 21 y con ella obtener un análisis de criterios técnicos para el diseño del dron fumigador

		Alternativas			
	Ideal	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4
Estabilidad	4	3	4	3	4
Fácil de manejar	4	4	3	4	4
Rapidez	4	3	4	3	4
Facilidad de montaje	4	2	3	2	3
Tiempo de vuelo	4	4	4	3	4
Innovación	4	3	3	3	4
PUNTAJE	**24**	**19**	**21**	**18**	**23**
COEFICIENTE TECNICO (%)	**100 %**	**79 %**	**88%**	**75 %**	**95%**

Tabla 21: Análisis de criterios técnicos.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla. 22. Criterios económicos

En la tabla 22, se evaluó los criterios económicos del dron fumigador, con ello tener un dron más económico que en los mercados actuales y que cumpla con todos los requerimientos expuestos en la tabla 8.

		Alternativas			
	Ideal	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3	Diseño 4
Mantenimiento	4	3	3	3	3
Materiales	4	4	3	4	4
Rapidez	4	3	3	3	4
Consumo de energía	4	4	3	4	4
PUNTAJE	**16**	**14**	**12**	**14**	**15**
COEFICIENTE TECNICO (%)	**100 %**	**88 %**	**75%**	**88 %**	**94%**

Tabla 22. Análisis de Criterios económicos

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla. 23. Resultados del análisis de ponderación

Luego de analizar la tabla 21 de criterios técnicos y la tabla 22 de criterios económicos, se dio por elegir a la alternativa cuatro, al cumplir con casi el 100% de ambos criterios, estos resultados se muestran en la tabla 23.

ALTERNATIVAS	CT	CE
DISEÑO 1	79%	88%
DISEÑO 2	88%	75%
DISEÑO 3	75%	88%
DISEÑO 4	95%	94%

Tabla 23. Porcentaje de cada diseño.

Fuente: Elaboración Propia

Según los resultados de ponderación el diseño seleccionado para el dron fumigador fue el diseño cuatro como muestra en a figura 30. Este diseño cumple con todos los requisitos expuestos en la tabla 8 para el diseño de sistema de fumigación aéreo no tripulado para plantaciones agrícolas en sembríos de arroz.

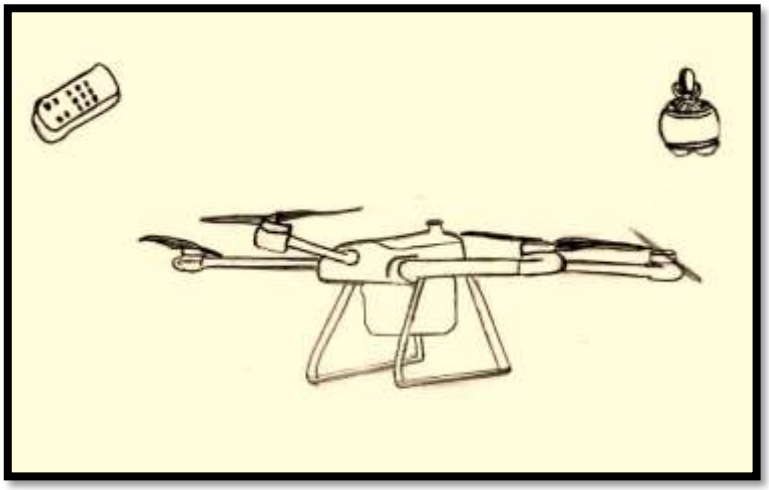


Figura 30. Diseño seleccionado que cumple con los requisitos según tabla 10.

Fuente: Elaboración propia

3.3. Dimensionamiento y materiales del dron fumigador

Según indica la figura 24, los parámetros para el diseño del dron fumigador en este caso se seleccionó un dron tipo Hexacóptero; la cual cumple con los requisitos de la población encuestada.

Tabla. 24. Parámetros iniciales

Parámetros iniciales del UAV	
Capacidad de carga útil	15 kg
Tiempo de vuelo	15 min
Max. Peso para despegue	41 kg
Dimensiones	1050x570x730 mm
Cantidad de Rotores	6
Velocidad	6 m/s

Tabla 24. Parámetros del hexacoptero.

Fuente. Propia

Como se muestra en la figura 31 se hizo un bosquejo de la parte superior del dron hexacóptero, la cual cuenta con 6 rotores que se encargan de realizar el empuje para el vuelo. Además, en la parte central se ubica el tanque, este servirá para poder abastecer con el líquido fumigante al dron

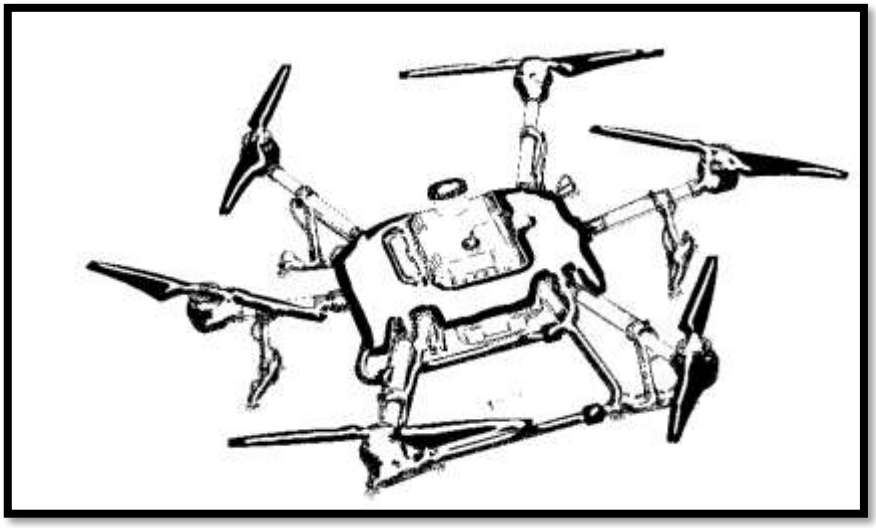


Figura 31. Parte superior del dron hexacóptero.

Fuente. Propia

A continuación, se muestra el dron hexacóptero en tres dimensiones, en la figura 32, muestra los seis brazos tiene en dron, además contiene un tanque con una capacidad de 15 litros, este es abastecido por la parte superior.

Los drones existentes en el mercado actual son abastecidos por la parte lateral, así como se muestran en el estudio de mercado en las figuras 21, 22 y 23. Esto hace que el dron no tenga una buena estabilidad, por ello el diseño del hexacóptero cumple con el análisis de criterios técnicos como indica la tabla 21.

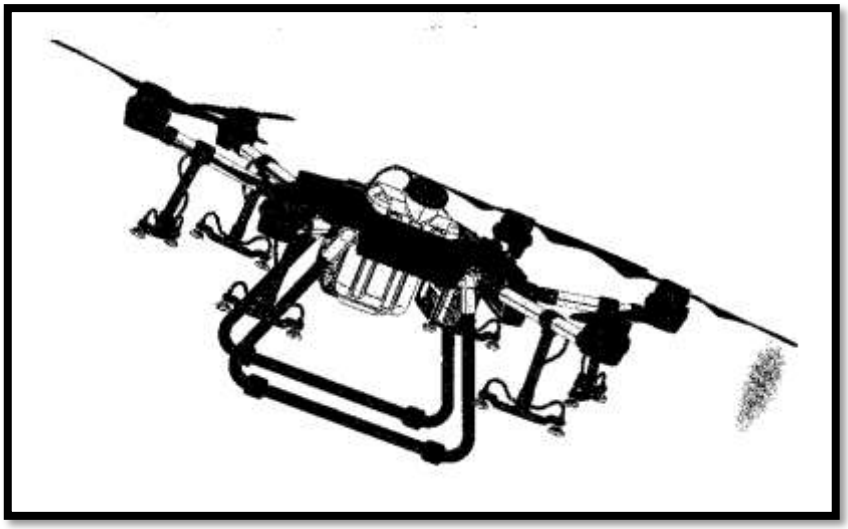


Figura 32. Vista en 3D del dron hexacóptero.

Fuente. Propia

En la figura 33. Se incorporó debajo del motor el sistema de fumigación, para ello se seleccionó un tipo de boquilla abanico ya que tiene un nivel de chorro con gotas finas, la bomba de agua escogida fue la Micro bomba Anself 23 VDC, como nuestra en la tabla 06, este tipo de chorro es ideal para plantaciones de arroz.

Por otro lado, se visualiza uno de los seis brazos que contiene el dron hexacóptero en la parte final del brazo se encuentra la hélice de dos aspas, así mismo este acoplado el motor eléctrico sin escobillas.

En la parte inferior del brazo, se encuentra la manguera que repartirá de manera equilibrada el líquido fumigante a las boquillas abanico

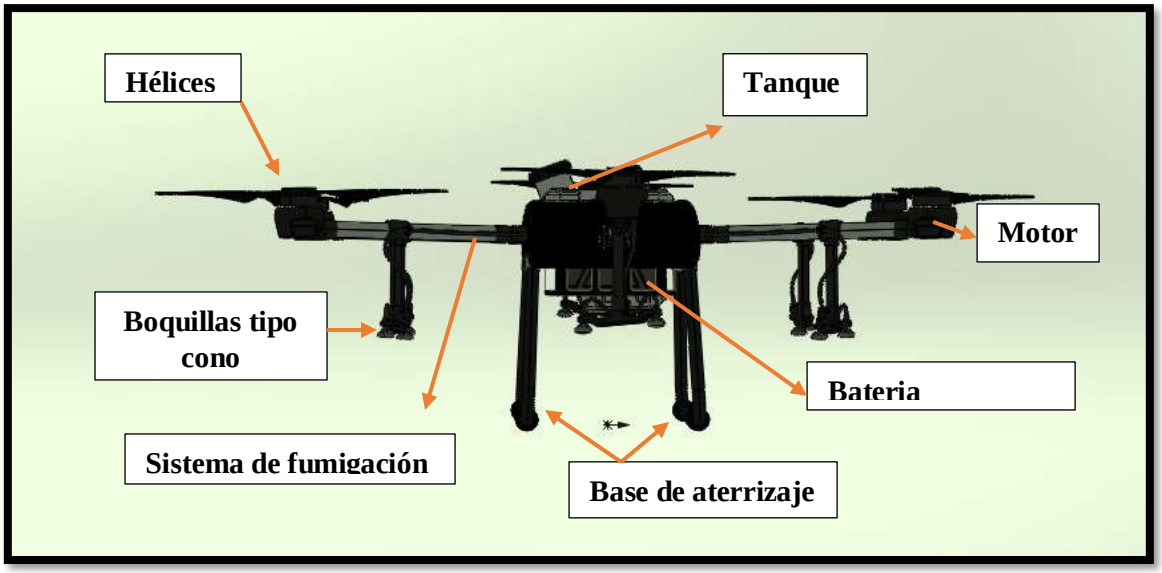


Figura 33. Partes del diseño, vista en 3D del dron hexacóptero.

Fuente. Propia

En las siguientes figuras se muestran, algunas piezas del diseño del dron hexacoptero, todas estas piezas fueron elaboradas a través del software Solidworks.

En la figura 34. Se muestra la carcasa del dron hexacoptero, este puede fabricarse de diversos materiales como de fibra de carbono, polimero o un metal liviano.

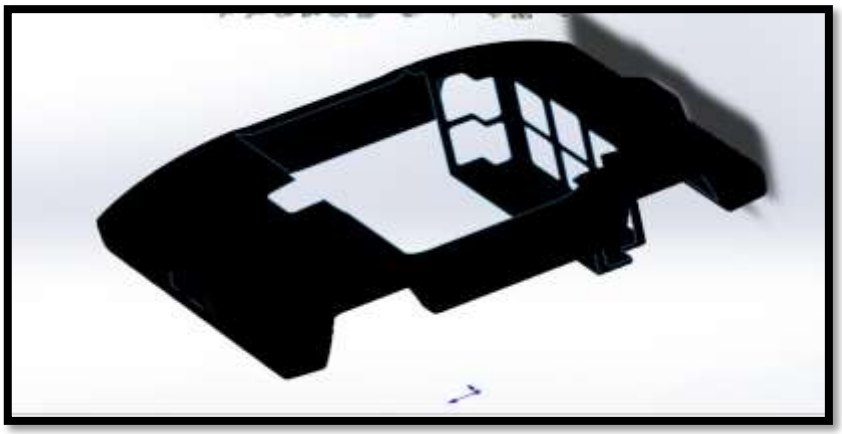


Figura 34. Vista en la carcasa del dron hexacóptero

Fuente. Elaboración Propia

En la figura 35, se muestra parte del sistema de fumigación, en ella se nota las mangueras que recorrerán los 6 brazos del Hexacóptero. Además, se visualiza parte del soporto donde ira la batería.

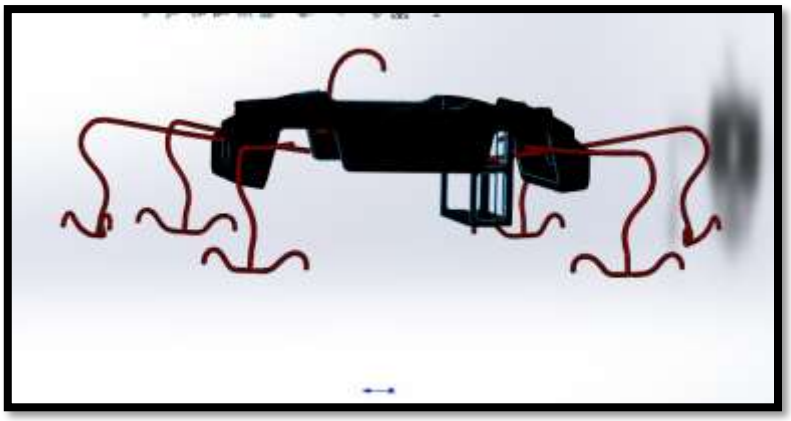


Figura 35. Vista del sistema de fumigación dron hexacóptero.

Fuente. Propia

El siguiente componente que muestra la figura 36, es la bateria este se encargara de energizar todo el dron hexacoptero.

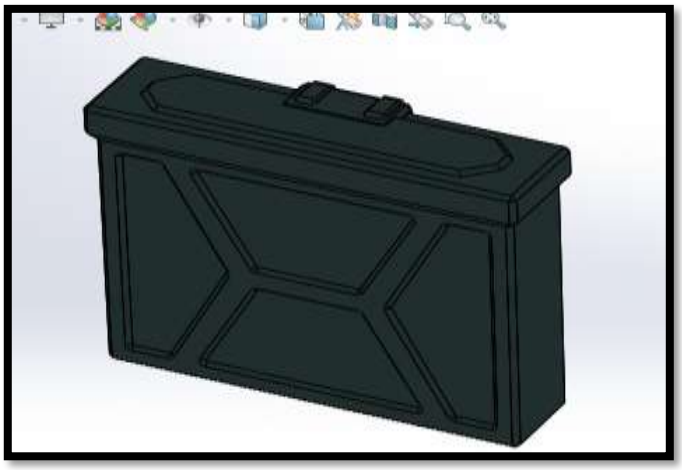


Figura 36. Batería del dron hexacóptero.

Fuente. Propia

En la figura 37, muestra las helices de doble hojas que forma parte del dron hexacoptero. Estas pueden ser fabricadas por una impresora 3D o de fibra de carbono

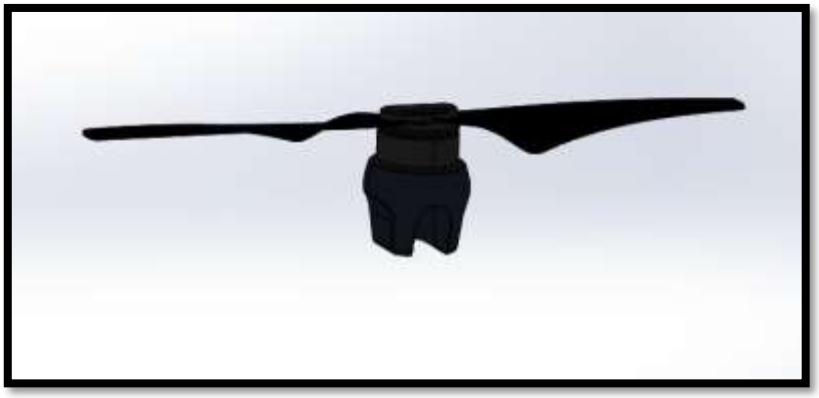


Figura 37. Diseño de las hélices de dos hojas

Fuente. Elaboración Propia

En la figura 38, muestra el motor del dron hexacoptero, este se encarga de darle moviemneto a las helices, en total tendremos 6 motores, uno en cada brazo.

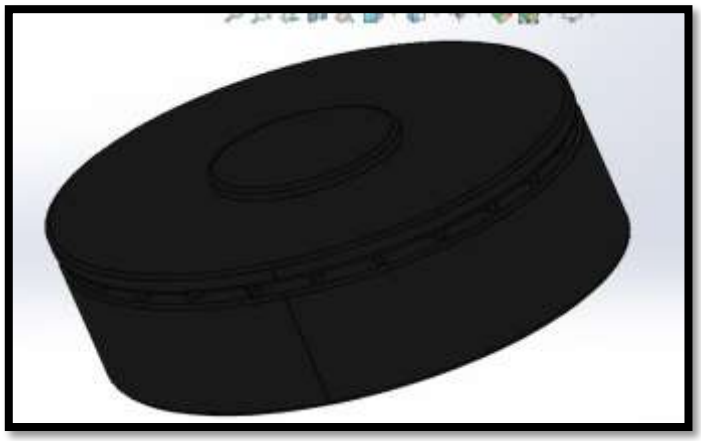


Figura 38. Vista en 3D del motor del dron hexacóptero.

Fuente. Propia

3.4. Selecciona los componentes eléctricos y electrónicos del sistema de fumigación.

Los componentes eléctricos y electrónicos, fueron seleccionados de acuerdo al cálculo aplicado para el diseño del dron hexacóptero fumigador.

a) Sistema de fumigación

Según la ecuación 3, hallamos el caudal requerido de las boquillas pulverizadoras, el resulto indica que se necesita un caudal requerido de 0.14 litros/minuto.

Para hallar la velocidad de vuelo del hexacóptero, según la ecuación 20 nos resultó 26 m/s.

Luego se halló el empuje para ello se usó la ecuación 21 en la cual arrojo el resultado de 0.00039kw.

Como se muestra en la figura 40, este es el diseño del tanque realizado en el software SolidWorks, este tanque tiene una capacidad de 15 litros, el material es de polímero, ya que es un material liviano y sobre todo resistentes para los diferentes líquidos de fumigación,

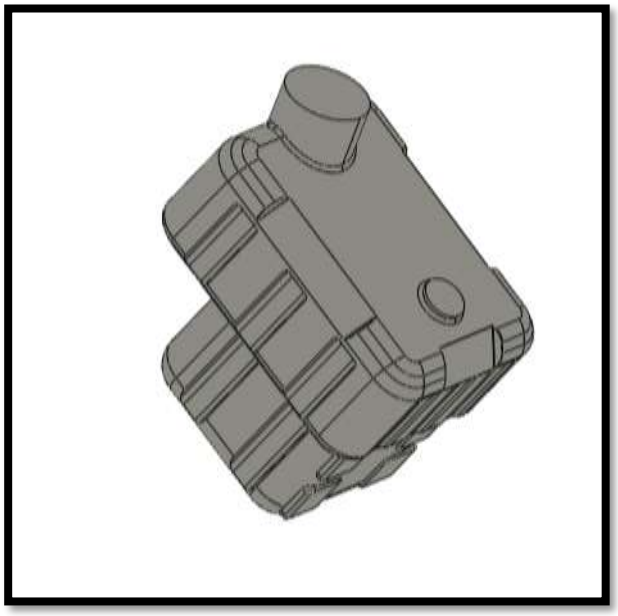


Figura 39. Diseño del tanque de 15 litros.

Fuente. Elaboración propia

b) Motor eléctrico

Para obtener el resultado se aplicó la ecuación 19. Potencia de motor para el dron hexacóptero para la fumigación en plantaciones de arroz, el resultado dio que podemos seleccionar una batería de la potencia 4285 watts.

Para poder seleccionar el motor eléctrico sin escobillas se tuvo que indicar en diversas páginas web, en la cual se eligió el motor Modelo T 28- 780kV, como muestra la figura 40, y en la tabla 24, se muestra algunas características del motor seleccionado.

Figura 40. Motor sin escobillas

Fuente. (Alibaba, 2021)

Tabla. 25. Especificaciones del motor seleccionado

Especificaciones motor sin escobillas	
Modelo	T 28
Voltaje	38V
Factor Kv	780 rpm/v
Consumo Max. de corriente	193A
Dimensiones	58 x 112 mm
Peso	1280g

Tabla 25. Especificaciones del motor para el hexacóptero.

Fuente. Propia

c) Batería del ESC

Según (Translator, 2020) nos indica la ecuación 10, el cálculo del batería del controlador o variador de velocidad, para ello primero se halló la tensión nominal de 22.2 voltios.

Posteriormente aplicando la ecuación 12, donde se halló la corriente máxima consumida, se obtuvo como resultado 110 amperios.

Luego se aplicó la ecuación 27, para hallar el tiempo de vuelo del dron hexacóptero, el resultado se obtuvo un tiempo de vuelo de 17.8 min.

Tabla. 26. Especificaciones del variador de velocidad (ESC)

Especificaciones Técnicas	
Modelo	Tattus plus
Capacidad	22000 mAh
Tasa de descarga	25C, 6S, 1P
Voltaje	22.2 V
Dimensiones	213 x 96 x 69mm
Peso	2615 g

Tabla 26. Especificaciones técnicas del variador de velocidad

Fuente. Elaboración propia.

Con todos estos resultados finalmente se halló la potencia consumida por el dron hexacóptero aplicando la ecuación 19, para la fumigación en plantaciones de arroz. Como resultado se obtuvo una potencia consumida máxima de 4285 watts.

En la tabla 25, muestra el resumen de los cálculos hechos para el sistema de fumigación, todos estos cálculos se encuentran en el anexo.

Tabla. 27. Resultados del diseño del hexacóptero

Ítem	Resultados	N° de EC.
Batería del ESC	22 v	10
Duración de baterías ESC	1.2 min	16
Potencia Max.	4285 watts	19
Numero de baterías requeridas	6 baterías	-
Velocidad de vuelo	26 m/s	20
Fuerza de empuje	0.00039 kW	21
Masa del dron	42.6 kg	-
Velocidad de chorro	2.1 m/s	22
Longitud de barra	0.7 m	23
Área de salida boquillas	9 mm2	-
Diámetro de manguera	2.1 mm	24
Caudal de boquilla	0.014 litros/min	25
Caudal de requerido	0.84 litros/min	26
Tiempo de duración del tanque	17.8 min	27
Volumen a esparcir por Ha	28 litros por hectárea	28
Tiempo de fumigación por Ha	33.2 min por hectárea	29
Distancia del hexacóptero en 15 litros	5357.14 m2	30

Tabla 27. Resultados del diseño del hexacóptero

Fuente. Elaboración propia.

3.5. Análisis de estático de las piezas del dron hexacóptero

Para el análisis se utilizó el software SolidWorks, en este programa se ejecutó en análisis de todo el diseño del hexacóptero, también se hizo un análisis de algunas piezas como el brazo del dron hexacóptero, ya que ahí se montará los seis motores y las hélices.

Se analizo primeramente la base del soporte del dron, se realizó un análisis de desplazamiento estático, al cual se aplicó 417.7 N la cual es equivalente a 42.6 kg del peso total del dron, esto incluye el líquido fumigante para las plantaciones.

Como se muestra en figura 41, muestra la realización del análisis en la cual se eligió como material una aleación de aluminio 7075 también conocido como Zicral, que contiene las siguientes características que se muestran en la tabla 28.

Tabla. 28. Propiedades del aluminio 7075

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD
Modulo elástico	7.19999992e+10	N/m^2
Coeficiente de Poisson	0.33	N/D
Límite de tracción	219999997.9	N/m^2
Limite elástico	94999999.42	N/m^2
Coef. De expansión térmica	2.4e-05	K
Densidad de masa	2810.000061	Kg/m^3
Factor de endurecimiento	0.85	N/D

Tabla 28. Propiedades del Aluminio 7075, unidades SI (Pa)

Fuente. Elaboración propia

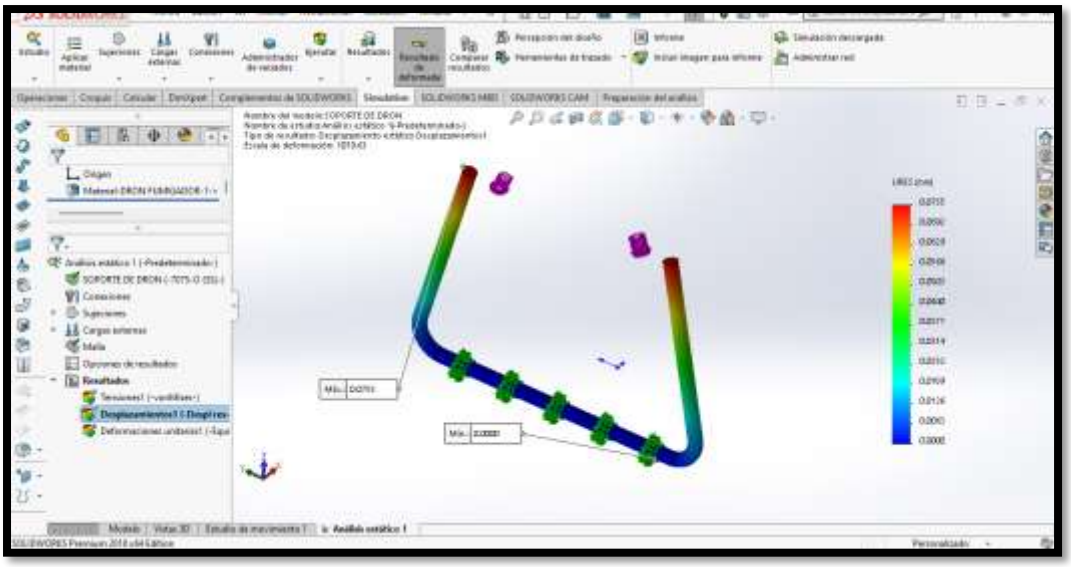


Figura 41. Desplazamiento estático de la base del soporte.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 42. Se hizo un análisis tensión nodal, como resultado de la deformación Von Mises 8.96e+05 y limite elástico de 2.757e+07.

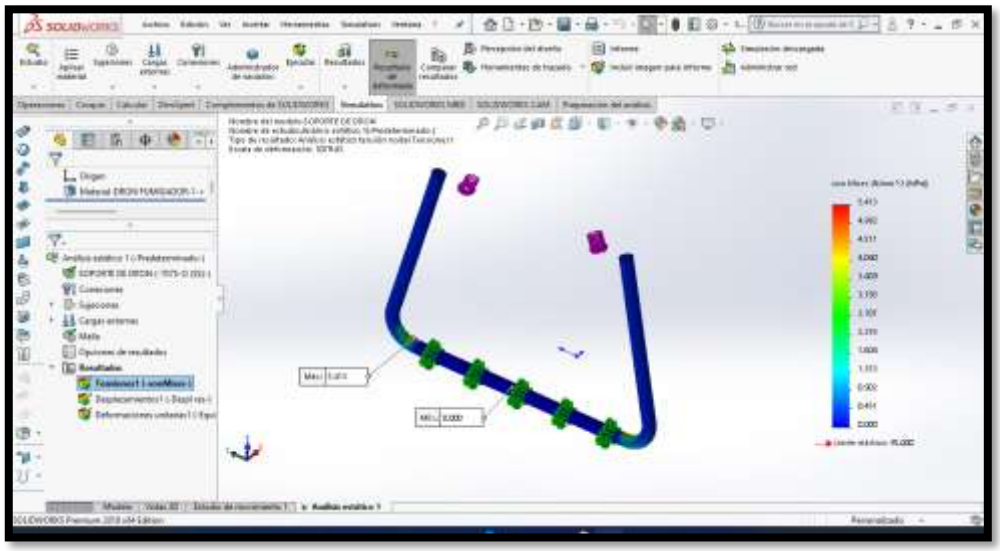


Figura 42. Análisis estático tensión nodal

Fuente. Elaboración propia

En la figura 43. Se muestra algunos valores del análisis estático de la deformación unitaria.

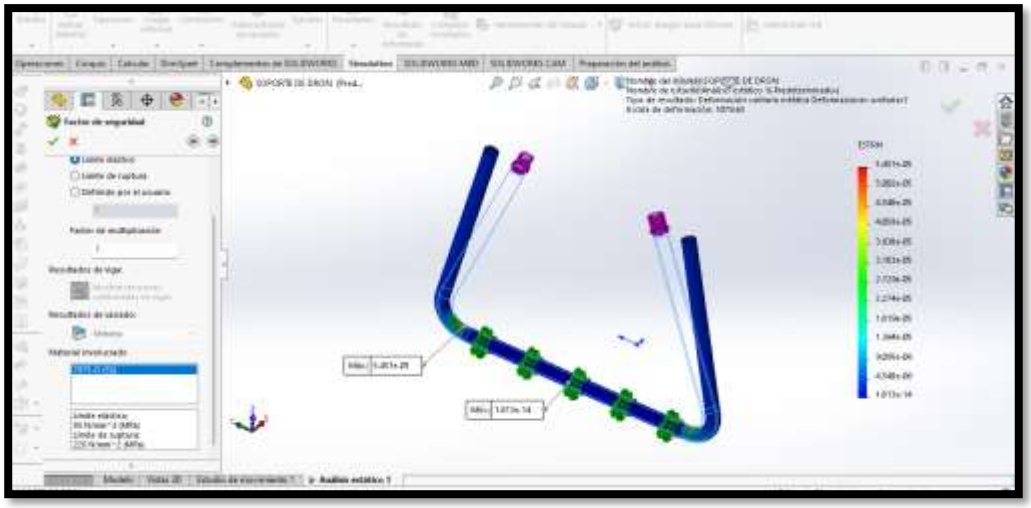


Figura 43. Análisis estático deformación unitaria.

Fuente. Elaboración propia

Se realizo en análisis del brazo del hexacoptero, para ello el material utilizado es el aluminio 7075, la fuerza aplicada para la realización del análisis fue de 70N.

En el análisis estático de tensión nodal arrojo una escala de deformación de 4.07e+06, en el desplazamiento estático arrojo dos valores máximos de 9.01e+06 y un valor mínimo de 1e-30. En la deformación unitaria se obtuvo como valores máximos y mínimos de 4.27e+09 y 3.423e+09.

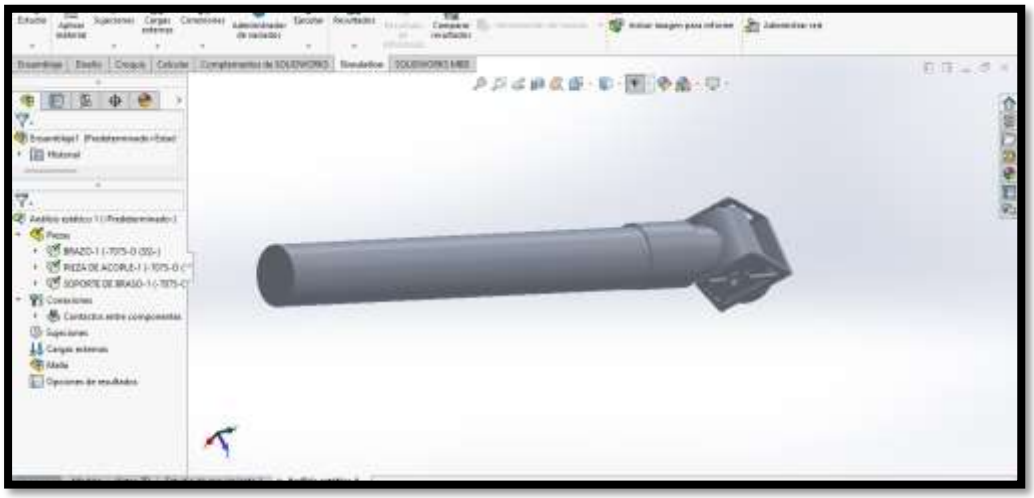


Figura 44. Análisis del un brazo del dron Hexacoptero

Fuente. Elaboración propia

Ahora se analiza el facto de seguridad del dron, en la figura 45, muestra el análisis estático, en la cual se aplicó una fuerza de 70 N, se muestra los resultados del factor de seguridad arrojo un mínimo de 1.70e+04.

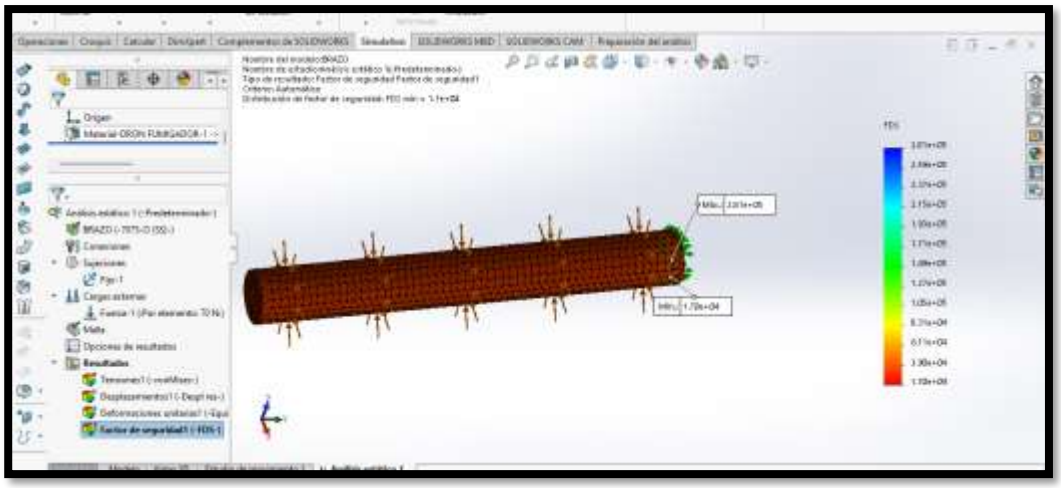


Figura 45. Análisis del facto de seguridad

Fuente. Elaboración propia

Tabla. 29. Propiedades del aluminio 7075

PROPIEDADES	VALOR	UNIDAD
Modulo elástico	71999.9992	N/mm^2
Coeficiente de Poisson	0.33	N/D
Límite de tracción	219.9999979	N/mm^2
Limite elástico	94.99999942	N/mm^2
Coef. De expansión térmica	2.4e-05	K
Densidad de masa	2810.000061	Kg/m^3
Factor de endurecimiento	0.85	N/D

Tabla 29. Especificaciones de material aleación de aluminio 7075, SI (Mpa)

Fuente. Elaboración propia

3.5.1 Análisis aerodinámico en el Hexacoptero

En este punto se ejecutó el análisis aerodinámico del dron hexacoptero que se diseñó en el programa de diseño SolidWorks, para ello se insertó nuevas piezas, como se muestra en la figura 46, que fueron únicas al dron con el fin de darle la simulación que está volando. La altura de vuelo que se programo es de 5 m, con una velocidad de vuelo de 26 m/s.

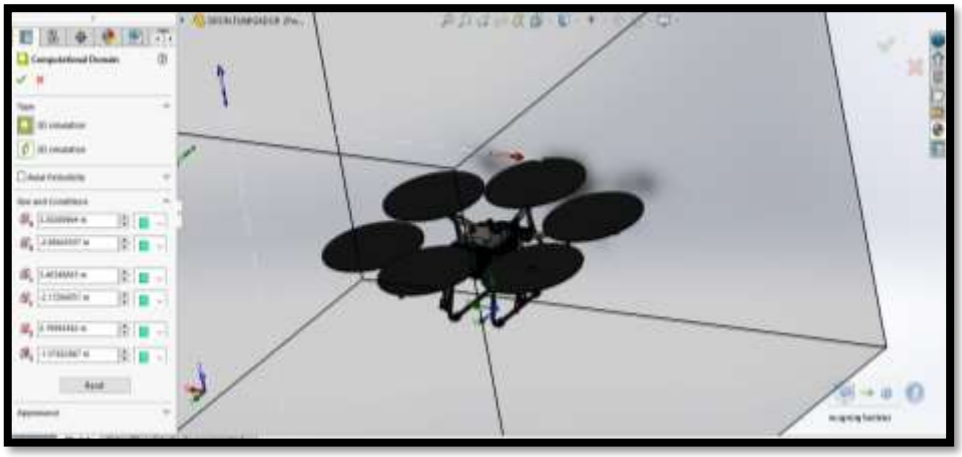


Figura 46. Implantación de piezas para la simulación de flujo

Fuente. Propia

Luego se procedió a colocar las medidas en sistema internacional (SI), los parámetros para hacer la simulación fueron de la gravedad y la rotación de las hélices, como se muestra en la figura 47, el tipo de gas seleccionado fue el aire y también la humedad para característica.

Figura 47. Selección de parámetros para la simulación de flujo

Fuente. Propia

En la tabla 30 el programa SolidWorks arrojo los parámetros que se muestran a continuación.

Tabla30.

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

Fuente. Elaboración propia

Como se muestra en las figuras 48 y 49, se visualiza que el dron hexacoptero, cumple con las condiciones de vuelo, pero tiene dos tiempos de turbulencia tanto promedio como máximo de 10.85 segundos a 120.50 segundos. Por otro lado, en la figura 48 se muestra que el hexacoptero cuenta con una presión de 101322.92 Pa.

Figura 48. Simulación aerodinámica del hexacoptero

Fuente. Propia

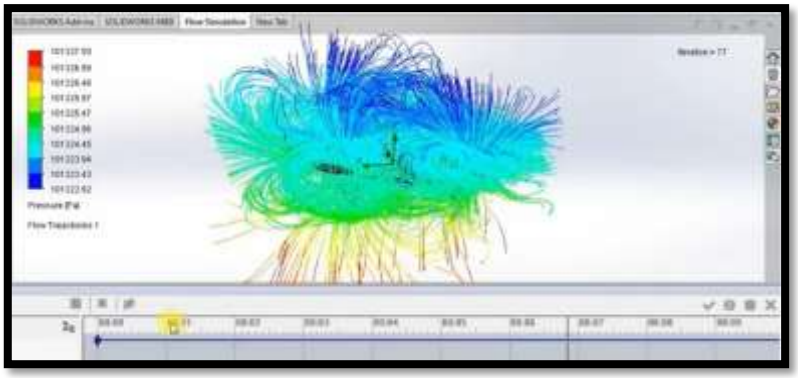


Figura 49. Simulación aerodinámica en SolidWorks del hexacoptero

Fuente. Propia

3.6. Análisis de la factibilidad económicamente del dron hexacóptero

Según (Torres, 2006) indica que en un análisis de factibilidad es recopilar datos más relevantes del proyecto y para luego tomar la mejor decisión, este análisis se realiza cuando el desarrollo del sistema no tiene una justificación económica establecida, ya que existe un riesgo tecnológico, operativo, jurídico o no se cuenta con una alternativa clara de implementación.

En este punto se tendrá un cálculo de la inversión global en la construcción del dron hexacóptero, para ello se determina costos fijos, así como los costos variables; del mismo modo hallar la rentabilidad económica del dron.

El tipo de cambio se maneja en moneda del nuevo sol, ya que los precios de los diversos drone de agricultura se cotiza en dólares.

3.6.1. Cálculo de tasa mínima de retorno

Según (Sagag, 2011) para realizar el cálculo, se consideran la inflación y la tasa de riesgo, de a cuál se tiene la siguiente Ec.19

$$\boldsymbol{TMR = tasa\ de\ inflacion + tasa\ de\ riesgo} \qquad (\mathbf{19})$$

Según (Sagag, 2011) la tasa conveniente es del 18%; es decir elegimos un riesgo alto, como se muestra en la tabla 31, pues la construcción del dron hexacóptero para sembríos de arroz, implica tener un presupuesto elevado; por otro lado, según el BCRP, la inflación promedio para el año 2021-2022 es de 4.95%.

Tabla. 31. Taza mínima de retorno

Numero	Riesgo	Rango de tasa
1	Bajo	3-6%
2	Medio	6-10%
3	Alto	>10%

Tabla 31. Tasa de riesgo

Fuente. (Sagag, 2011)

$$TMR = tasa\ de\ inflacion + tasa\ de\ riesgo$$

$$TMR = 15\% + 5\%$$

$$TMR = 20\%$$

3.6.2. Calcular depreciación contable

Los drones para agricultura tienen un periodo de depreciación de 10 años y una vida útil de 15 años; este cálculo se determina dividiendo el costo total de la fabricación del dron hexacóptero entre los años que se desprecia, en la tabla 32, se obtiene el resultado de la depreciación

Tabla. 32. Resultados depreciación de los drones agrícolas

Depreciación del dron hexacóptero		
D=	S/	1,635.00
Vα =	S/	16,350.00
n =		10

Tabla 32. Resultado de la depreciación de los Drones

Fuente. Propia

Tabla. 33. Depreciación otros equipos

Numero	**Equipo**	**Costo total**	**Vida útil**	**Depreciación**
1	Impresora 3D	S/ 2,500.00	10 años	S/ 250.00
2	Laptop	S/ 4,500.00	8 años	S/ 562.50
TOTAL		**S/ 7,000.00**		**S/ 812.50**

Tabla 33. Cálculo de la depreciación de otros equipos

Fuente. Propia

Inversión total

Para el cálculo de la inversión de capital total en el diseño se tiene en cuesta tan ingresos como egresos. En la tabla 34, se hizo un listado de todos los costos que implican en el diseño del dron hexacóptero para sembríos de arroz.

Tabla. 34. Resumen de gastos para el diseño del hexacóptero

N°	Equipo / materia prima	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1	Impresora 3D	1	S/ 2,500.00	S/ 2,500.00
2	Materia prima de trabajo (filamentos)	1	S/ 250.00	S/ 250.00
3	Laptop	1	S/ 4,500.00	S/ 4,500.00
4	Motor	6	S/ 800.00	S/ 4,200.00
5	Controlador de velocidad (ESC)	6	S/ 150.00	S/ 900.00
6	Controlador de vuelo	1	S/ 400.00	S/ 400.00
7	Batería	1	S/ 2, 350.00	S/ 2, 350.00
8	Sistema de fumigación	3 juegos	S/ 450.00	S/ 1, 350.00
9	Hélices	3 juegos	S/ 1,200.00	S/ 3,600.00
	Total			**S/ 16,350.00**

Tabla 34. Gastos totales para el diseño del dron hexacóptero

Fuente. Propia

En la Tabla 35. Indica la realización de la caja de flujo, esto se realizó en una hoja de cálculo Excel. En la cual se indica en el anexo

Tabla. 35. Resultados de la caja de flujo de los gastos para el hexacóptero

ITEM	PRECIO S/
Venta de activo	S/ 25,000.00
Valor de libro	S/ 13,080.00
Utilidad	S/ 11,920.00
Impuesto de 15 %	S/ 1,788.00
Utilidad neta	S/ 10,132.00
Valor de libro	S/ 13,080.00
FLUJO NETO	**S/ 23,212.00**

Tabla 35. Total, de gastos para el diseño del dron hexacóptero

Fuente. Propia

En la tabla 36, se muestra dos situaciones para el diseño del proyecto en la parte administrativa, se hizo dos situaciones una base y otra con el proyecto fabricado y vendido.

Tabla. 36. Total de gastos para el diseño del dron hexacóptero

ITEM	Situación base (S/)		Situación con proyecto (S/)	
Ingresos	S/	16,350.00	S/	25,000.00
Costos	S/	16,350.00	S/	16,350.00
Depreciación	S/	11,920.00	S/	1,635.00
Utilidad	-S/	11,920.00	S/	7,015.00
Impuesto	-S/	1,788.00	S/	1,052.25
Utilidad neta	-S/	10,132.00	S/	5,962.75
Depreciación	S/	11,920.00	S/	1,635.00
Flujo neto	**S/**	**1,788.00**	**S/**	**7,597.75**

Tabla 36. Total, de gastos para el diseño del dron hexacóptero

Fuente. Propia

El costo total de la inversión del proyecto del dron hexacóptero fumigador para plantaciones de arroz es de S/ 16,350.00, por ello para obtener una cierta ganancia se ha valorizado en S/ 25,000.00. El análisis económico solo se limita a determinar los gastos de fabricación, inversión y ensamblaje. Este es un precio razonable, ya que como se muestra en el estudio de mercado y en las figuras 20, 21, 22 y 23. Estos drones tienen un precio de alrededor de S/40,000.00. Por lo que este proyecto es factible para llevarlo a la realidad.

IV. DISCUSIÓN

Se discute el material para la fabricación del dron, se tuve que elegir un metal liviano pero resistente como aleación de aluminio 7075 y fibra de carbono para el diseño de las piezas como el soporte donde se ensambla la batería del dron y el tanque con capacidad de 15 litros.

En el programa SolidWorks, solo se evaluó al material de aluminio, ya que el dron hexacoptero tiene un 30% de piezas hechas de aluminio como son los brazos, y las bases de aterrizaje.

Al realizar la prueba de simulación aerodinámica, se comprobó que se puede elevar a una altura de 5m, el tiempo de duración de tanque es de 17.8 min y el hexacoptero puede recorrer 5357.14 m2.

V. CONCLUSIONES

Se concluye que el diseño un sistema de fumigación aérea no tripulada (dron hexacóptero) que cumple con los requerimientos de los 20 agricultores encuestados en el centro poblado la cruceta

El hexacóptero cumple con las funciones de fumigar plantaciones de arroz, además cumple con la parte mecánica y electrónica, además puede ser fabricada en su totalidad con tecnología existente en el país, esto con la finalidad de ser un diseño netamente regional.

El costo del dron Hexacóptero es de S/ 16,350.00, este se encuentra por debajo del costo de drones comerciales con características similares fabricados en otros países; ya que al momento de adquirir esta tecnología es muy tedioso para el usuario.

Nos resultados indican que se usara variadores de velocidad de 22.2 V, con una duración de 1.2 min por batería, la velocidad de vuelo del hexacoptero es de 26m/s, con un peso total de 42.6kg.

El material usado para el estudio fue aluminio 7075, este cumple con las características para el diseño del dron, por su alta resistencia a las fatigas.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda que el dron hexacóptero tenga una capacidad de carga no mayor a 45 kg, ya que, si se le da más carga, puede afectar primeramente los motores y sucesivamente pueda dañar otros componentes electrónicos, como el ESC, controlador de vuelo, etc.

Se recomienda que se use una batería mínima de 22.2 V, como se muestra en los resultados de la ecuación 10.

Se recomienda que el dron hexacóptero tenga un controlador de mando que sea compatible con el controlador de vuelo JIYI k ++, ya que en este proyecto de investigación no se tomó en cuenta el control remoto para el manejo del dron fumigador.

Para escoger una boquilla adecuada tiene que ser una no menor a 9 mm2 y con una manguera de 2.1 mm, ya que e caudal de boquilla es de 0.014 litros/min.

Se recomienda tomar este estudio para que otros estudiantes se interesen por generar nuevas tecnologías.

VII. REFERENCIAS

Agroramon. (2020). Obtenido de https://www.agroramon.com/Calibracion.html

Alibaba. (2021). Obtenido de https://spanish.alibaba.com/product-detail/t-motor-antigravity-p80-iii-120kv-uav-motors-for-17kg-thrust-plant-protection-drone-62056987324.html

AliExpress. (2020). *AliExpress.com*. Obtenido de https://es.aliexpress.com/item/32784937161.html

Chávez Arroyo Carrillo, R., & Rodríguez Molleda, W. J. (2018). *Diseño e implementación de un drone Hexacóptero con software de geolocalización para señalizar puntos de siembra en el fundo de palma de aceitera Witpalm.* Lima: Universidad Ricaldo Palma.

Chávez Arroyo, C. R., & Rodríguez, M. W. (2018). *Diseño e implementación de un drone Hexacóptero con software de geolocalización para señalizar puntos de siembra en el fundo de palma de aceitera Witpalm.* Lima: Universidad Ricaldo Palma.

Cheskyw. (2021). *123F*. Obtenido de https://es.123rf.com/photo_27987392_drone-con-c%C3%A1mara-de-aire-volando-en-el-cielo.html

CropLife. (04 de Noviembre de 2021). *CropLife*. Obtenido de https://www.croplifela.org/es/actualidad/articulos/drones-en-agricultura-una-tecnologia-con-potencial-para-apoyar-especialmente-a-los-pequenos-agricultores

DIWO. (03 de Julio de 2015). *Usando los sensores del terminal: acelerómetro y sensor de orientación*. Obtenido de http://diwo.bq.com/usando-los-sensores-del-terminal-acelerometro-y-sensor-de-orientacion/

Drones.MX. (23 de Junio de 2016). *Conociendo A Los Drones: Controladores De Vuelo*. Obtenido de https://drones.mx/blog/conociendo-los-drones-controladores-vuelo/

Electronica RC. (2021). *ElectronicaRC.com*. Obtenido de http://electronicarc.com/catalogo/chasis-multirotor-c-85_92.html

Equipo, T. (04 de noviembre de 2021). *TU EQUIPO SAS equipos y servicios*. Obtenido de TU EQUIPO SAS equipos y servicios: https://tuequipo.co/producto/drone-m4e

EUSPRAY. (15 de junio de 2021). *EUSPRAY by Eurospray and filter technology SL*. Obtenido de EUSPRAY by Eurospray and filter technology SL: https://www.euspray.com/es/productos/boquillas/informacion-tecnica-la-boquilla-pulverizadora/

Galvinez, D. F. (2019). *Sistema Autonomo de Pulverizacion para Fumigacion de Plantaciones de Frutilla Asistido por un Drone.* Ambato-Ecuador.

Gonzales, A., Amarillo, G., & Sarmiento, M. a. (2016). *Drones aplicados a la agricultura de precision.* Universidad de Cundinamarca.

Hertz Electronica. (2021). *INTRODUCCIÓN AL GIROSCOPIO*. Obtenido de https://www.5hertz.com/index.php?route=tutoriales/tutorial&tutorial_id=13

HobbyKing. (2021). Obtenido de https://hobbyking.com/es_es/turnigy-2200mah-3s-25c-lipo-pack.html

Huanqui, P. S. (2018). *Vehículo aéreo no tripulado para vigilancia en amibientes cerrados con detección de personas y obstáculos a su alrededor.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

INFONEON. (Octubre de 2016). *Drone Electronic speed Controller ESC*. Obtenido de https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-Application-Motor_Control-Drone_Electronic_Speed_Controller_ESC-TR-v01_00-EN.pdf?fileId=5546d462580663ef015843a229fe54ea

Juguetrónica. (2021). *DRONES CON GPS: LAS FUNCIONES DE UN CUADRICÓPTERO CON SISTEMA DE NAVEGACIÓN*. Obtenido de https://blog.juguetronica.com/drones-con-gps-funciones-sistema-navegacion/

Liceo AGB. (2019). Obtenido de https://www.liceoagb.es/quimigen/diso5.html

Malandrakis, k., Dixon, R., & Savvaris, A. &. (2016). *DesignandDevelopmentofaNovelSphericalUAV.* ScienceDirect.

Mayanquer Gavilanez, D. (2019). *Sistema autónomo de pulverizacion para fumigacion de plantaciones de frutilla asistido por un Drone.* Universidad Tecnica de Ambato.

Megafav. (s/f). *Módulo de GPS para Drone Phantom 3 Series DJI Part 1 – Negro*. Obtenido de https://www.megafav.com.py/producto/modulo-de-gps-para-drone-phantom-3-series-dji-part-1-negro/

Morales Rodriguez, J. (2018). *control de velocidad de motores Brushless mediante modulacion PWM.* Valladolid: Universidad de Valladolid.

Morales., A. C. (2015). *Implementacion de un vehiculo áereo no tripulado aplicado al análisis de cultivos agrícolas.* Guatemala: Universidad de Valle.

Navarro, R. D. (2019). *Análisis de un sistema de vuelo de RPAs con controlador PX4 y subsistema de vision.* Madrid: Universidad Carlos II.

Orna chavez, E., & Dávila Aldas, P. (2015). *Diseño, construccion y control de un hexacóptero de monitoreo.* Escuela Politecnica Nacional: Repositorio Digital EPN.

Orna Chavez, J. E., & Dávila Aldás, P. S. (2015). *Diseño, contrucción y control de un Hexacóptero de monitoreo.* Quito: Escuela Politécnica Nacional.

Orna, C., Balseca, S., Caicedo, R., & Viteri, P. M. (2017). *Análisis y diseño de una aeronave no trpilada para uso agrícola.* European Journal of Scientific.

PRAVEEN KUMAR, R. M., HAKAK, S., ALAZAB, M., BHATTACHARYA, S., GADEKALLU, T. R., KHAN, W. Z., & PHAM, A. Q.-V. (2017). *Unmanned*

aerial vehicles in smart agriculture: Aplications, requirements and challenges. School of information technology.

PromeTec. (s/f). Obtenido de https://www.prometec.net/esc-para-drones/

PROMETEC. (s/f). *www.prometec.net*. Obtenido de https://www.prometec.net/elegir-motores-cuadracoptero/#:~:text=Los%20motores%20de%20los%20drones,se%20puede%20encontrar%20es%20enorme.

ROHI, G., & OFUALAGBA, O. E. (2020). *Autonomo us monitoring análisis and countering of air pollution using environmental drones.* Science Direct.

Ruipérez Martín, P. (2014). *Diseño y fabricacion de un Dron.* Valencia: Universidad Politecnica .

Sagag, N. (2011). *Proyectos de Inversión Formulación y Evaluación.* Chile: Pearson.

Sitelock. (7 de Noviembre de 2021). *Tiendas24hs*. Obtenido de Tiendas24hs: https://www.tienda24hs.com/Dron-fumigador-centrifugo-electrostatico-10-litros

Survey Rental & Sales. (2020). *Es mejor un Drone de Ala Fija o Multirotor*. Obtenido de https://surveyrental.com.pe/blog/nuestro-blog-1/post/es-mejor-un-drone-de-ala-fija-o-multirotor-1

TAC. (2011). *Batería del batería li-ion A123A IFR26650 3.2V 2300mAh LiFePO4 para la herramienta eléctrica*. Obtenido de http://spanish.tacbattery.com/sale-782077-li-ion-battery-a123a-ifr26650-3-2v-2300mah-lifepo4-battery-for-power-tool.html

Torres, F. (2006). *Desarrollo de Sistemas.*

Translator. (2020). *Calculadora de batería LiPo para dron.* Obtenido de https://www.translatorscafe.com/unit-converter/es-ES/calculator/multicopter-lipo-battery/

UAV COACH. (19 de Septiembre de 2019). *Controladores de drones: una mirada a cómo funcionan, terminología importante y por qué son únicos en el mundo de las aeronaves RC*. Obtenido de https://uavcoach.com/drone-controller/

Valentino, B. E., & Cantero, G. J. (2015). *Diseño y fabricación de un vehículo aéreo no tripulado.* Barcelona: Escuela Técnica Superior de Ingenieria Industrial de Barcelona.

Villagrán, D., Ramos, G., Molina, R., & Arrazate, M. V. (2018). *Diseño y contruccion de un drone para la aplicación en la detección de plagas y fumigación en el cultivo de café en el estado de Chiapas.* Chiapas.

XAG. (7 de Noviembre de 2021). *DronesVal*. Obtenido de DronesVal: https://droneval.com/agras-t30/-3258agras-t30

YENEEC. (2021). *Unlimted Perspectives and New Creative Possibilities*.

ANEXOS

Anexo 01.

Encuesta para establecer las necesidades de diseño de productos un sistema de fumigación aérea no tripulada para la aplicación de productos químicos en sembríos de arroz. Encargados por la universidad señor de Sipán y encuestados a los agricultores del centro poblado la cruceta, Tambogrande – Piura.

Nombre y apellido: ----------

Cargo / Ocupación: ----------

Cantidad de hectáreas: ----------

Entrevistador: ----------

INSTRUCCIONES:

- Lea cuidadosamente cada una de las preguntas, luego proceda a marcar en la respectiva hoja su respuesta.
- A cada pregunta le corresponde una alternativa de respuesta.
- A la marca usted utilizara una (X) para responder con la interrogante

1. ¿Qué funciones cree que debe tener un dron de fumigación agrícola?

   _____

   _____

2. ¿Cuáles serían las dimensiones necesarias que debe tener un dron para fumigar?

   _____

   _____

3. ¿Si usted tuviera la oportunidad de usar un sistema de fumigación (dron) para su sembrío de arroz de que capacidad cree que fuera conveniente?

   a. 5 litros ☐

b. 10litro ☐
c. 15 litros ☐
d. 18 litros ☐

4. ¿Las piezas del dron fumigador deberían ser comerciales en el mercado nacional y así mismo fácil de ensamblar?

_____

_____

5. ¿Según su opinión que tan eficiente cree que es el dron de fumigación en los sembríos de arroz?
   a. 25% ☐
   b. 50% ☐
   c. 75% ☐
   d. N.A% ☐

6. ¿De acuerdo a sus necesidades de cuanto sería el tiempo que debe tener el dron de fumigación realizando el trabajo?

_____

_____

SEGÚN SU CRITERIO, PROCEDA A RESPONDER LAS SIGUIENTES PREGUNTAS:

7. ¿Según su criterio cual serían las ventajas y/o desventajas que tendría la aplicación de productos químicos a través de un dron fumigador en sembríos de arroz?

---

8. ¿Qué criterios de diseño serían los más importantes a considerar para el prototipo de fumigación de plantaciones de arroz? Ejemplo: Velocidad

---

---

9. ¿Sabe usted cuánto dinero se ahorraría al utilizar esta tecnología para la fumigación de sus sembríos de arroz?

Anexo 02.

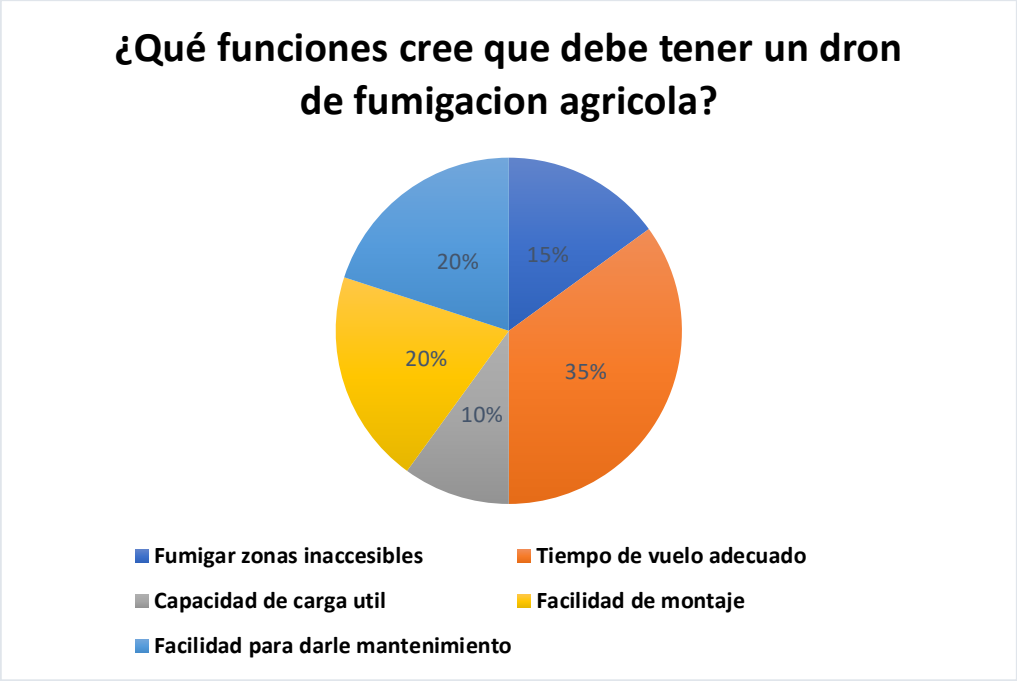


Figura 50. Diagrama circular de la encuesta

Fuente. Elaboración propia

Tabla.37. Algunas características del hexacóptero

Opciones	fa	Fr	F %
Brazos largos	7	0.4	35%
Tanque con capacidad mayor a 15 L	6	0.3	30%
Hélices de dos hojas	4	0.2	20%
No sabe	3	0.2	15%
TOTAL	**20**	**1**	**100%**

Tabla 37. Resumen de las características del dron

Fuente. Elaboración propia

Figura 51. Diagrama circular de la encuesta

Fuente. Elaboración propia

Tabla. 38. Resultados de la capacidad del tanque para el dron hexacóptero

Opciones	fa	Fr	F %
25 litros	6	0.3	30%
18 litros	5	0.3	25%
15 litros	9	0.5	45%
TOTAL	**20**	**1**	**100%**

Tabla 38. Resumen de la capacidad del tanque para la fumigación

Fuente. Elaboración propia

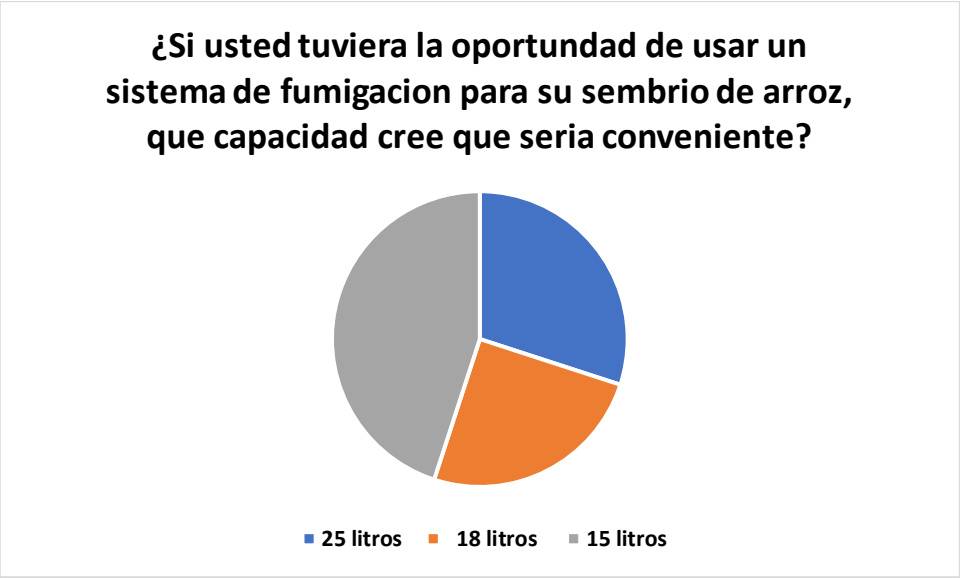


Figura 52. Diagrama circular de la encuesta

Fuente. Elaboración propia

Tabla. 39. Resultados de la eficiencia del hexacóptero

Opciones	fa	Fr	F %
eficiencia de 60 %	4	0.2	20%
eficiencia de 65 %	5	0.3	25%
eficiencia de 80 %	11	0.6	55%
TOTAL	**20**	**1**	**100%**

Tabla 39. Eficiencias del dron

Fuente. Elaboración propia

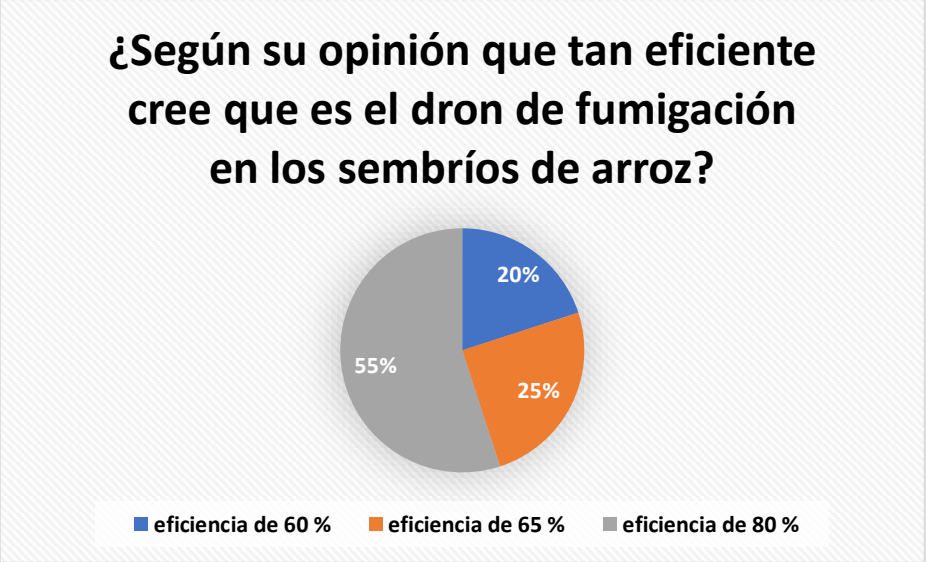


Figura 53. Diagrama circular de la encuesta

Fuente. Elaboración propia

Anexo 03.

CÁLCULOS

Tensión nominal de la batería ESC

$$\boldsymbol{V_n = T_{bat} * N_{series}} \quad (\mathbf{10})$$

$$\boldsymbol{V_n} = 7.6\ v * 6$$

$$\boldsymbol{V_n} = 45.6\ V$$

Corriente máxima consumida

$$\boldsymbol{I_{consu\,max} = I_{otros} + I_{motor} * N_{motores}} \quad (\mathbf{12})$$

$$\boldsymbol{I_{consu\,max}} = 2\ A + 18\ A * 6$$

$$\boldsymbol{I_{consu\,max}} = 110\ Amp.$$

$$\boldsymbol{I_{consu\,max}} = 0.11\ mA.$$

Corriente consumida de la batería con la carga de vuelo seleccionada

$$\boldsymbol{I_{consu\,bat} = I_{consu\,max} * L_{vuelo}} \quad (\mathbf{13})$$

$$\boldsymbol{I_{consu\,bat}} = 110\ amp * 17\ min$$

$$\boldsymbol{I_{consu\,bat}} = 1870\ amp$$

Potencia consumida por el dron hexacóptero

Potencia máxima

$$\boldsymbol{W_{\ max} = Volt.bat * I.motor} \quad (\mathbf{19})$$

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

$$W_{\ max} = 4\ 285\ Watts$$

Duración de ESC

Se contará con 6 rotores de 193 Amperios cada una.

$$Corriente\ total = 6 * 193A = 1158\ amperios$$

$$\boldsymbol{Capacidad = 22000mAh = 22A}$$

$$Intensidad\ de\ corriente = 22A * 25\ C$$

$$\boldsymbol{intensidad\ de\ corriente = 550\ amperios}$$

$$Duracion\ ESC = \frac{22\ A}{1157\ A} x\ 60\ min$$

$$Duracion\ ESC = 1.2\ min$$

Velocidad en V_2

$$\boldsymbol{W_{\ max} = \frac{\pi}{8}\rho D^2 v_2{}^3} \quad (\mathbf{20})$$

Despejando obtenemos V_2

$$V_2 = \sqrt[3]{\frac{8W_{\ max}}{\pi\rho D^3}}$$

$$V_2 = \sqrt[3]{\frac{8 * 4285}{3.1416 * 1.225\ kg/m^3(0.7115m)^2}}$$

$$V_2 = 26\ m/s$$

Fuerza de empuje

$$\boldsymbol{F = -\rho v_1^2 + \rho v_2^2 A_2} \quad (\mathbf{21})$$

$$F = \rho v_2^2 A_2$$

$$F = \rho(\sqrt[3]{\frac{8W_{max}}{\pi\rho D^2}})^2 A_2$$

Reemplazando

$$\boldsymbol{F = 73.16\ N}$$

Velocidad del chorro para la pulverización:

$$V_{ch} = \frac{(0.25 - 1.60)}{2}\sqrt{\frac{9.81}{2(0.5)}} \qquad (22)$$

$$V_{ch} = 2.1\frac{m}{s}$$

Longitud de barra

$$\boldsymbol{L_{barra} = altura\ del\ arroz - altura\ de\ posic.bomba} \qquad (\mathbf{23})$$

$$L_{barra} = 1\ m - 0.3\ m$$

$$L_{barra} = 0.7\ m$$

Diámetro de la manguera

$$\boldsymbol{D_{man} = A_{boq}\,{}^{6}\sqrt{\frac{V_{ch}}{V_{pul}}}} \qquad (\mathbf{24})$$

- Área de salida boquilla: 9mm2
- Velocidad de chorro:2.1 m/s
- Velocidad de impulso:5.9 mph

Transformando todo a pulgadas

$$D_{man} = 0.084\ pulg$$

$$D_{man} = 2.1\ mm$$

Caudal de la boquilla

$$\boldsymbol{Q_{cal.boq} = \frac{A_{boq} * V_{ch}}{Coeficiente\ de\ descarga}} \qquad (\mathbf{25})$$

$$Q_{cal.boq} = \frac{0.00009m2 * 126m/min}{0.82}$$

$$Q_{cal.boq} = 0.014\ litros/min$$

Caudal requerido

$$\boldsymbol{Q_{req} = Q_{cal.boq} * N_{.boq}} \quad (\mathbf{26})$$

$$Q_{req} = 0.14 * 6$$

$$Q_{req} = 0.84\ (\frac{litros}{\text{min}})$$

Tiempo de tanque

$$\boldsymbol{T_{tanq} = \frac{v_{tanq}}{Q_{req}}} \quad (\mathbf{27})$$

$$T_{tanq} = \frac{15\ litros}{0.84}$$

$$T_{tanq} = 17.8\ minutos$$

Volumen a esparcir por Ha

$$V_{esparcir} = \frac{600 * 0.014}{0.3 * 1} \quad (28)$$

$$V_{esparcir} = 28\ litros\ por\ hectarea$$

Tiempo de fumigación por Ha

$$T.F_{ha} = \frac{17.8\ min * 28\ litros}{15\ litros} \quad (29)$$

$$T.F_{ha} = 33.22\ \text{min}\ por\ hectarea$$

Distancia del hexacoptero en 15 litros

$$D_{ha} = \frac{10000\ m2 * 15\ L}{28} \quad (30)$$

$$D_{ha} = 5357.14\ m2$$

Anexo 04

Motor

En la figura 51, se muestra los diámetros del motor Tp80 III sin escobillas elegido para el dron hexacóptero

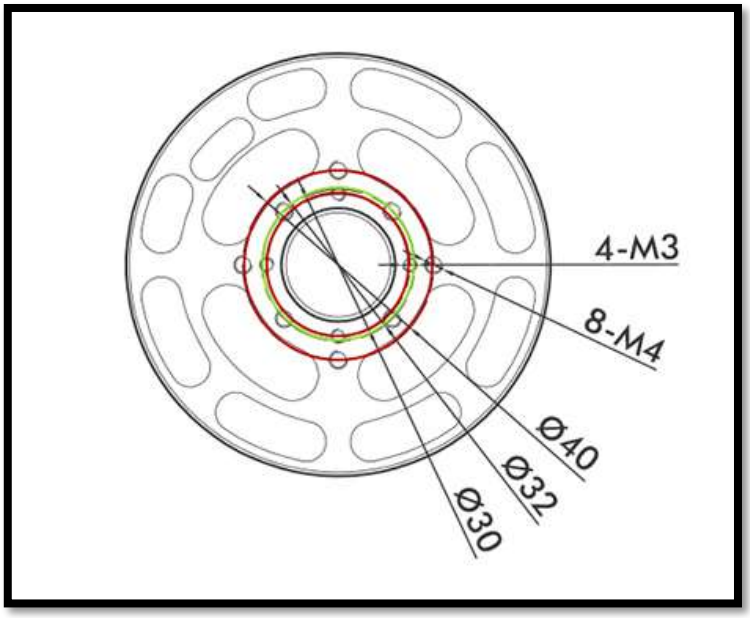


Figura 54. Diámetro del motor del dron hexacóptero.

Fuente. Elaboración propia

En la figura 51 se muestra la tabla de caudales, esta se necesitó para realizar en cálculo de la formula N°03.

PRESIÓN (bar)	TABLA DE CAUDALES (litros/minuto)								
	[illegible]	01-VERDE	02-AMARILLO	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	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) → +

Figura 55. Figura de la tabla de caudales

Fuente. Elaboración propia

Anexo 05

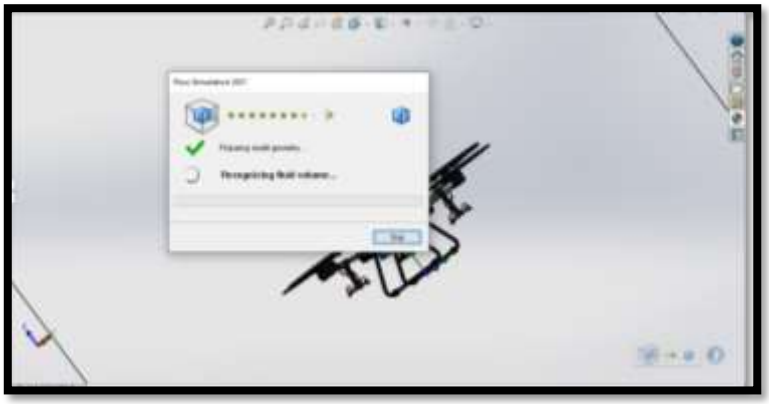


Figura 56. Diseño del hexacóptero e iniciando el análisis

Fuente. Elaboración propia

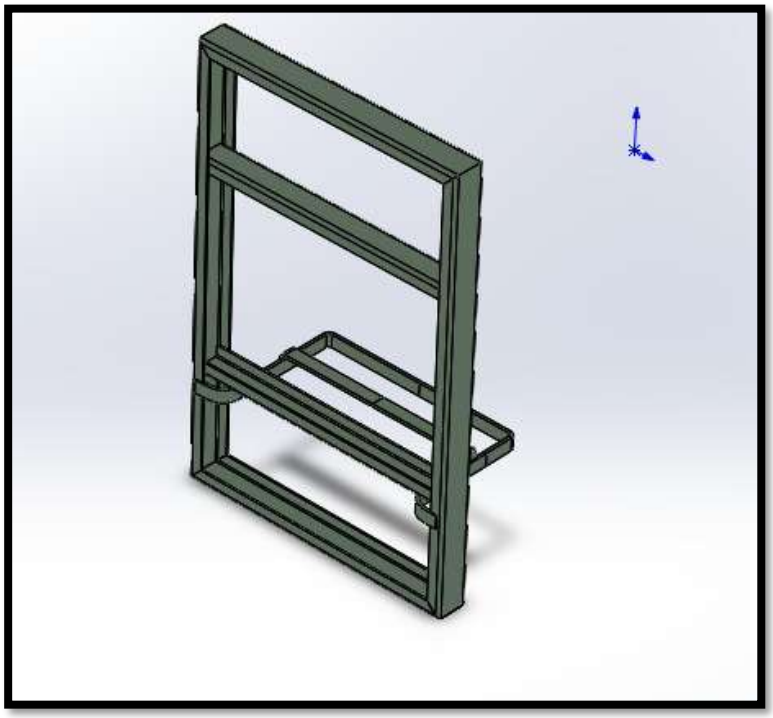


Figura 57. Diseño del soporte de la batería

Fuente. Elaboración propia

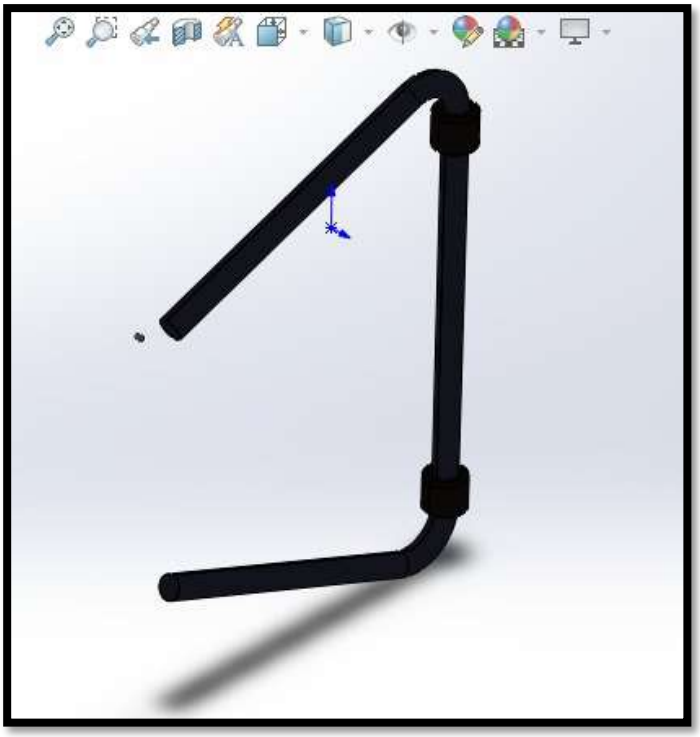


Figura 58. Diseño de la base del soporte metálico del hexacóptero

Fuente. Elaboración propia

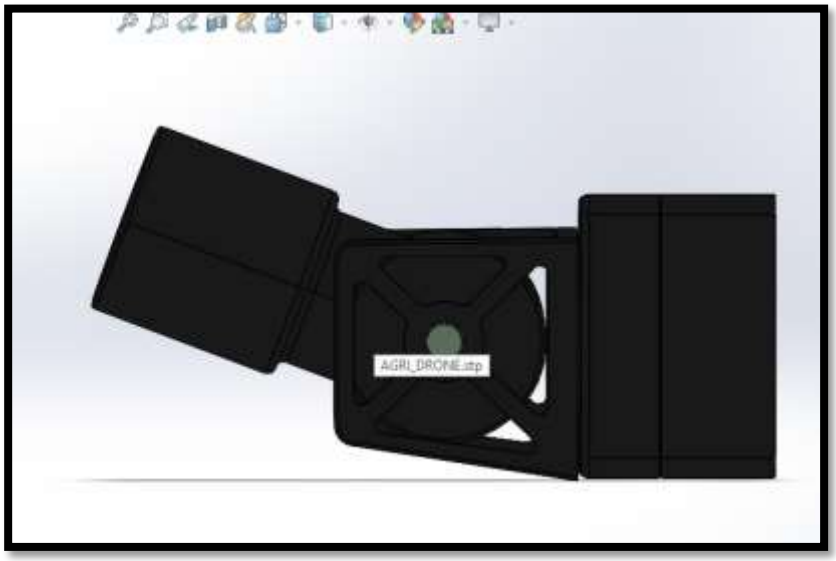


Figura 59. Diseño de unión entre motor y sistema de fumigación

Fuente. Elaboración propia

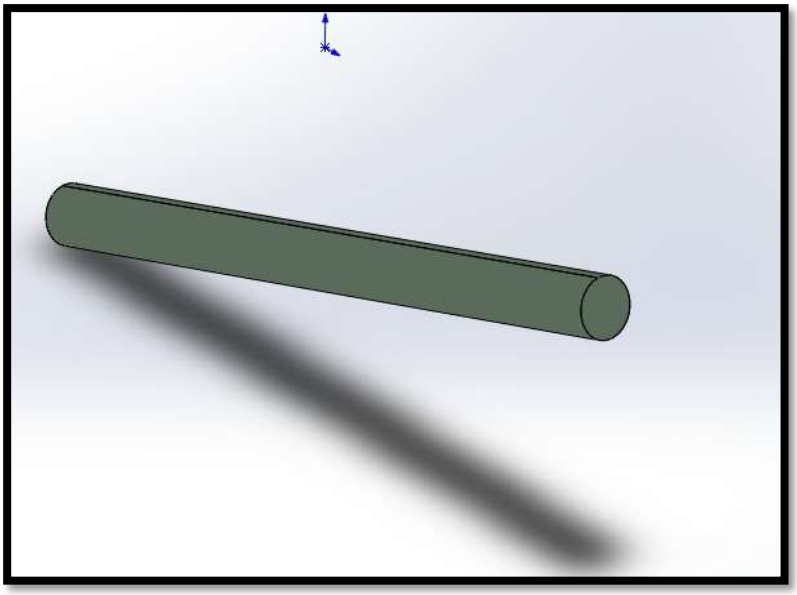


Figura 60. Diseño del brazo del dron Hexacóptero

Fuente. Elaboración propia

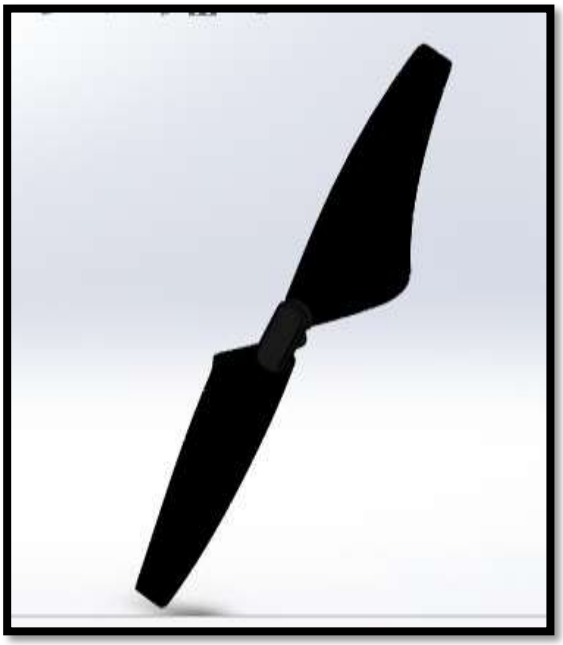


Figura 61. Diseño de las hélices del dron hexacóptero

Fuente. Elaboración propia

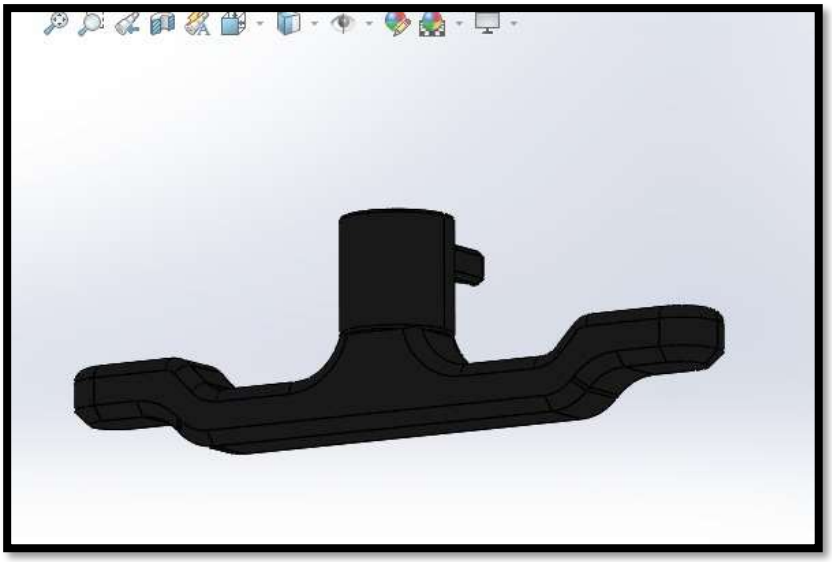


Figura 62. Diseño de la base del hexacóptero

Fuente. Elaboración propia

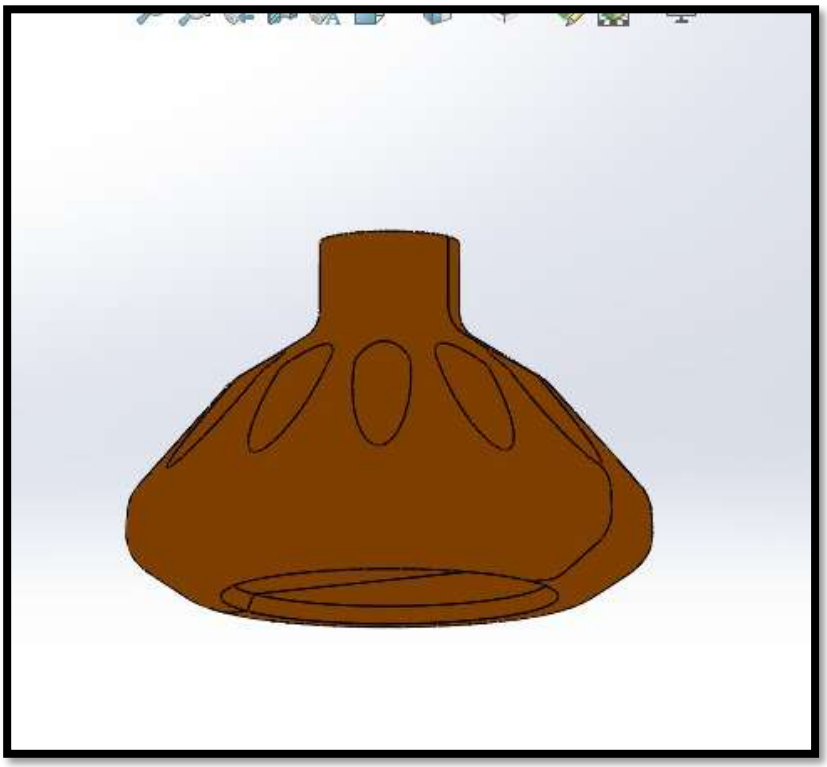


Figura 63. Diseño de la boquilla de fumigación del hexacóptero

Fuente. Elaboración propia

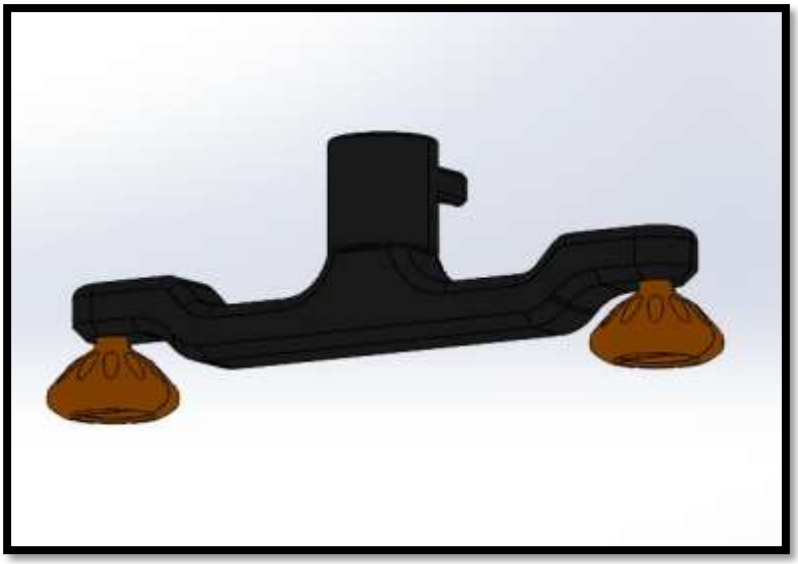


Figura 64. Diseño y ensamblaje del sistema de fumigación del hexacóptero

Fuente. Elaboración propia

Figura 65. Diseño de la unión del sistema de fumigación del hexacóptero

Fuente. Elaboración propia

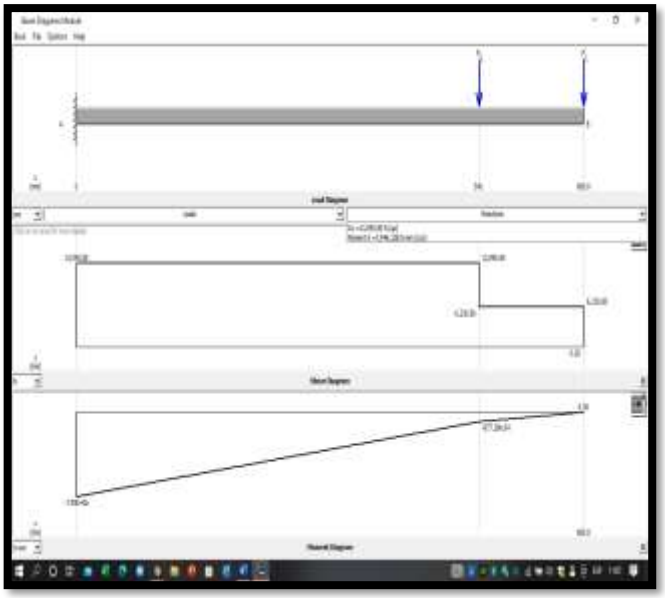


Figura 66. Análisis de cargas estáticas

Fuente. Elaboración propia

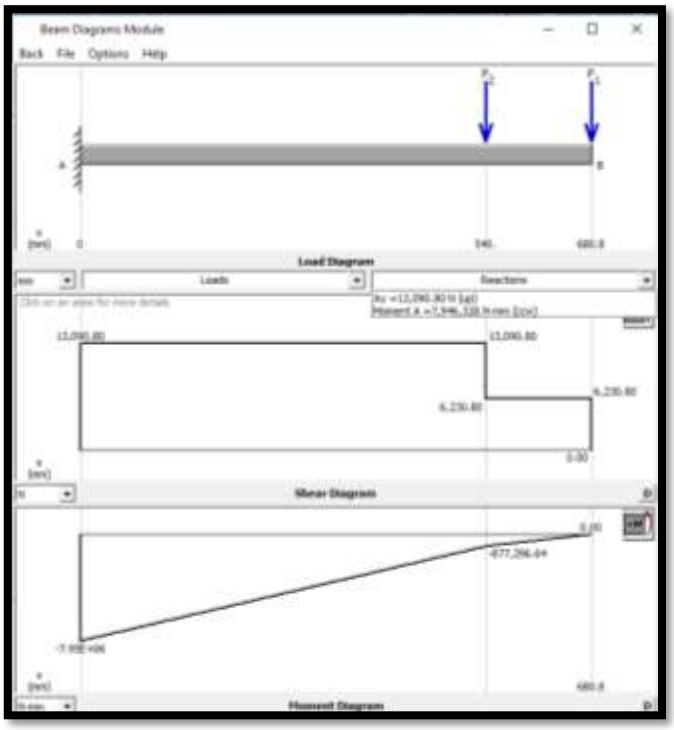


Figura 67. Diagrama de momentos

Fuente. Elaboración propia

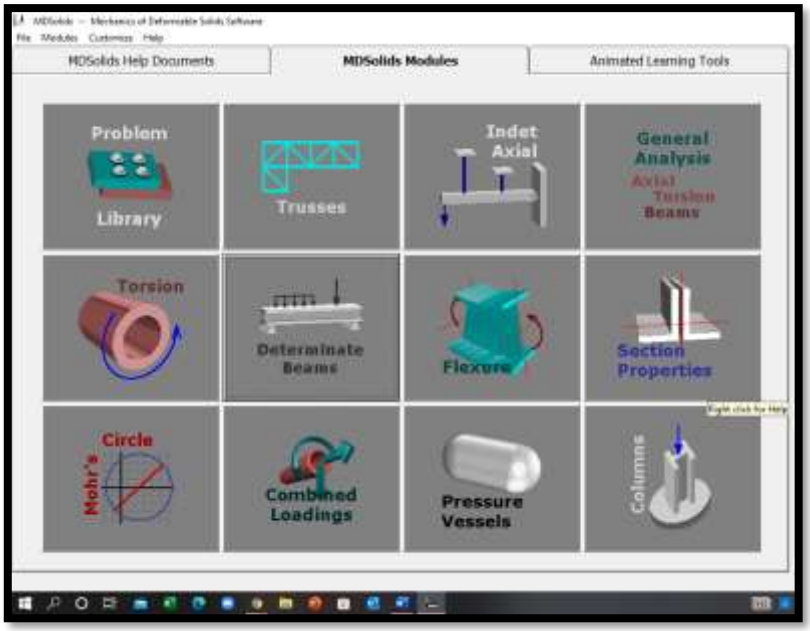


Figura 68. Interfaz de software MD Solids

Fuente. Elaboración propia

Figura 69. Interfaz del programa SolidWorks

Fuente. Elaboración propia

Figura 70. Vista lateral dron hexacóptero

Fuente. Elaboración propia

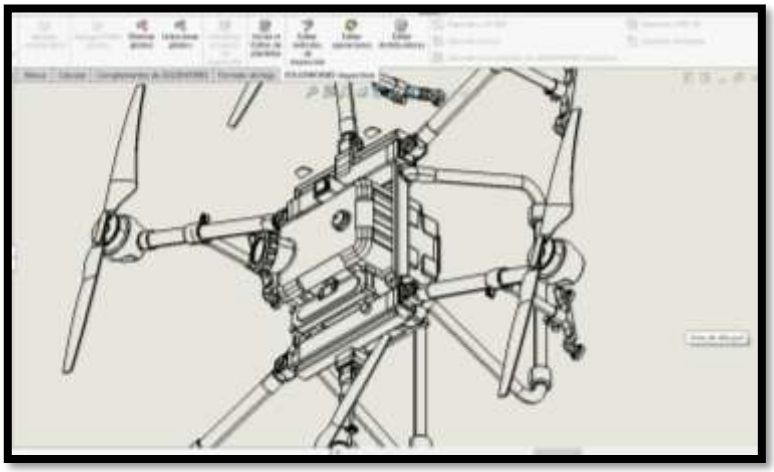


Figura 71. Vista panorámica del dron hexacóptero

Fuente. Elaboración propia