

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



DISEÑO DE DRON PARA ANÁLISIS DE SALUD VEGETAL

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecatrónico

AUTOR:

Joseph Ramses Méndez Cam

ASESOR: Félix Melchor Santos López

CO-ASESOR: Carlos Saito Villanueva


Lima, Agosto, 2023

Informe de Similitud

Yo, Félix Melchor Santos López, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado DISEÑO DE DRON PARA ANÁLISIS DE SALUD VEGETAL, del autor JOSEPH RAMSES, MENDEZ CAM, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 21%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el 15/08/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: Lima, 15 de agosto de 2023

Apellidos y nombres del asesor: Santos López, Félix Melchor	
DNI:42848906	Firma 
ORCID: 0000-0001-8598-2151	

RESUMEN

El presente trabajo presenta como marco problemático la pérdida de los cultivos por situaciones adversas como como las plagas, malas hierbas, enfermedades, falta de nutrientes y condiciones térmicas. Estos problemas, se podrían evitar en su mayoría si se realizara análisis de salud constantemente a los sembríos. El problema recae en la falta de análisis de la salud de los cultivos por la demandante naturaleza de la tarea. No sería posible realizar una revisión manual constante a todas las plantas. Además, las herramientas actuales que existen no son óptimas y no son capaces de integrar el análisis de diferentes sensores.

El objetivo general del presente trabajo es diseñar una solución a partir de un vehículo aéreo que sea capaz de tomar imágenes multiespectrales y térmicas para el análisis de la salud vegetal. La metodología que se utilizará para cumplir con el correcto diseño del proyecto será la metodología VDI. Para las secciones relacionadas a la arquitectura de software, el proyecto usó la metodología *Attribute Driven Design* (ADD) 3.0. Adicionalmente, se usó la metodología *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) para realizar una revisión sistemática de la literatura.

Finalmente, los resultados son el diseño de un dron capaz de intercambiar entre cámara multiespectral y térmica sin necesidad de desarmar todo el sistema. Se presenta una solución escalable a través de la nube de AWS para realizar el procesamiento de datos. Por otro lado, a partir de la revisión bibliográfica y del diseño de la arquitectura de software, se elaboraron los artículos académicos “*Precision agriculture drone technology: A systematic review of the literature*” y “*Cloud-based processing on drone imaging for precision agriculture*” respectivamente. Como conclusión, en las pruebas realizadas para el procesamiento en el sistema ciber de la nube, se obtuvo un tiempo promedio de respuesta de 430 ms.

DEDICATORIA

A mi familia, por todo el esfuerzo e inspiración que me han inculcado desde pequeño. Sin ellos, no habría sido capaz de aprender todo lo que sé hasta el momento. Siempre han confiado en mí, especialmente para realizar este proyecto ambicioso de investigación.

A la humanidad, por ser mi mayor motivación la creación de avances tecnológicos. El progreso que ha logrado la humanidad no deja de sorprenderme. Personalmente, he agradecer desde lo más mínimo hasta todas las buenas acciones del mundo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mis asesores de tesis Félix Santos y Carlos Saito por su incontable apoyo al momento de realizar el proyecto de tesis. Me han impulsado a crear un demandante documento y desarrollar mi vocación con proyecto en la ingeniería mecatrónica. Por consiguiente, me han ayudado a crecer como persona y me inculcaron grandes intereses hacia la investigación.

Agradezco a los profesores Diego Arce, Gustavo Pérez , Diego Quiroz, Elizabeth Villota y en general a todos los profesores que han estado presentes mientras desarrollaba mis estudios como ingeniero mecatrónico en la PUCP. Sin los conocimientos que me brindaron, no habría desarrollado de la misma manera mi aprendizaje ni estaría en el lugar donde estoy.

Agradezco a todas las personas en el intercambio que hice en la Universidad de Yamagata. Especialmente agradezco a Siu Kang y Testuya Yuaza por haber sido tan amables conmigo y ofrecerme una estadía asombrosa de la cuál aprendí demasiado y me desarrolló como persona.

Finalmente, agradezco a todos mis compañeros de la PUCP. Especialmente a mis amigos cercanos y los que compartieron experiencias conmigo en los laboratorios de Mecatrónica.

ÍNDICE

RESUMEN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problemática	1
1.2 Propuesta de solución	2
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.2.3 Alcance del trabajo	5
1.3 Metodologías.....	6
1.3.1 VDI	6
1.3.2 Attribute-Driven Design 3.0 (ADD 3.0).....	7
1.3.3 PRISMA.....	8
2. CAPÍTULO II: Estado del Arte	9
2.1 Revisión de la literatura	9
2.2 Marco teórico	14
2.2.1 Drones multirrotores	14
2.2.2 Soportes y gimbal	14
2.2.3 Modelado 3D por CAD.....	14
2.3.4 Esquemas electrónicos	15
2.3.5 Software de planeamiento del vuelo	16
2.3.6 Cloud Computing.....	16
2.4 Soluciones similares.....	16
2.4.1 Spectral 2	16
2.4.2 DJI M300	17
2.4.3 DJI Phantom.....	18
3. CAPÍTULO III: REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	19

3.1	Altura	19
3.2	Condiciones climatológicas	19
3.3	Lista de exigencias	19
3.3.1	Función principal	20
3.3.2	Cinemática	20
3.3.3	Comunicación	20
3.3.4	Control	21
3.4	Partes del dron.....	21
3.4.1	Electrónica	21
3.4.2	Energía	21
3.4.3	Costos.....	21
3.4.4	Geometría.....	22
3.4.5	Seguridad	22
3.4.6	Mantenimiento	22
3.4.7	Señales	22
3.5	Diagrama de flujo	22
3.6	Blackbox	23
3.7	Funciones	24
3.7.1	Sistema de Actuación.....	24
3.7.3	Sistema físico	25
3.7.4	Sistema de medición	25
3.7.5	Sistema de energía	26
3.7.6	Sistema de control.....	27
3.7.7	Sistema de información.....	28
3.8	Diseño conceptual del sistema ciber según proceso ADD 3.0.....	29
3.8.1.	Descripción de casos de uso	29
3.8.2	Escenarios de atributos de calidad	30
3.8.3	Restricciones	30
3.8.4	Preocupaciones arquitecturales	30
3.9	Conceptos de solución	31
3.10	Evaluación técnica - económica.....	35
3.10.1	Criterios de evaluación	35
3.10.2	Criterios económicos	36

3.11 Conclusiones del diseño conceptual	38
4. CAPÍTULO IV: SISTEMA ELECTRÓNICO.....	40
4.1 Controlador electrónico de velocidad	40
4.2 Controlador de batería.....	41
4.3 Selección de batería	41
4.4 Selección motores	42
5. CAPÍTULO V: DESARROLLO SISTEMA MECÁNICO.....	46
5.1 Fuselaje o Chasis.....	46
5.1.1 Brazos	46
5.2 Diseño del fuselaje	47
5.2.1 Batería del dron.....	48
5.2.2 Controlador del dron.....	48
5.2.3 Primera iteración del diseño del cuerpo central del fuselaje.....	48
5.2.4 Primera iteración del diseño del cuerpo central del fuselaje.....	49
5.2.5 Diseño del cuerpo central del dron en 3D.....	50
5.3 Brazos del fuselaje	50
5.3.1 Análisis de esfuerzos para los brazos.....	51
5.4 Tren de aterrizaje	52
5.5 Análisis del dron completo	54
5.6 Disposición final de los componentes.....	55
5.7 Modelo comercial compatible.....	56
5.8 Diseño de componentes	57
6. CAPÍTULO VI: CONEXIONES ELECTRÓNICAS FINALES	58
6.1 Diseño del conector común para las cámaras.	58
6.1.1 Conexiones hacia controlador.....	59
6.1.2 Conexiones en Flir Vue Pro.....	59
6.1.3 Conexiones en Micasense RedEdge.	61
6.2 Diagrama final de las conexiones	62
6.2.1 Conexión de Hub hacia Pixhawk.....	62
6.2.2 Conexión para cámara multiespectral.....	62
6.2.3 Conexión para cámara térmica.....	63
6.3 Consumo total energía	63
6.4 Diagrama de conexiones electrónicas.....	65

7. CAPÍTULO VII: DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL.....	67
7.1 Planificación de vuelos	67
7.2 Configuración de parámetros de vuelo y control.....	68
7.3 Plan de vuelo.....	68
7.4 Plan de cámara	70
7.5 Diagrama de control del dron	71
7.5.1 Correcto funcionamiento del dron en la misión.....	73
7.6 Diagrama de control del gimbal.....	73
8. CAPÍTULO VIII: DESARROLLO DEL SISTEMA CIBER.....	74
8.1 Arquitectura de Cloud Computing.....	74
8.1.1. Primera iteración.....	74
8.1.2 Segunda Iteración.....	78
8.2 Pruebas de procesamiento de datos en la arquitectura Cloud.....	80
9. CAPÍTULO IX: COSTOS	82
9.1 Costos de fabricación.....	82
9.2 Costos de AWS	83
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
10.1 Conclusiones	84
10.2 Recomendaciones	85
BIBLIOGRAFÍA	86
Anexos	96

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 1. Artículos relacionados a los tipos de cámaras.
- Tabla 2. Artículos relacionados a los índices
- Tabla 3. Artículos relacionados a los tipos de soporte
- Tabla 4. Artículos relacionados al Software para el procesamiento de datos
- Tabla 5. Descripción de casos de uso
- Tabla 6. Escenarios de atributos de calidad
- Tabla 7. Restricciones
- Tabla 8. Preocupaciones arquitecturales
- Tabla 9. Evaluación técnica
- Tabla 10. Evaluación económica
- Tabla 11. Comparación ESC
- Tabla 12. Comparación de baterías
- Tabla 13. Peso aproximado de partes de dron
- Tabla 14. Comparación de motores
- Tabla 15. Comparación de características de motores
- Tabla 16. Comparación de consumo de motores
- Tabla 17. Recomendaciones para tamaño de dron
- Tabla 18. Características de dron comercial
- Tabla 19. Conexiones hacia controlador
- Tabla 20. Conexiones hacia cámara térmica
- Tabla 21. Conexiones hacia cámara multiespectral
- Tabla 22. Consumo total de energía
- Tabla 23 Descripción de los drivers arquitecturales
- Tabla 24. Decisiones de diseño - Iteración 1
- Tabla 25. Decisiones de diseño - Iteración 1
- Tabla 26. Elementos de arquitectura diseñada
- Tabla 27. Decisión de diseño para iteración
- Tabla 28. Decisiones de diseño - Iteración 2
- Tabla 29. Decisiones de diseño de arquitectura relacionado con tecnologías AWS- Iteración 2
- Tabla 30. Tiempos de respuesta para el procesamiento
- Tabla 31. Costo de fabricación del dron
- Tabla 32. Costo por mes de instancia en la nube

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Control de plagas con drones.
- Figura 2. Proceso ADD 3.0
- Figura 3. Diagrama del proceso de la metodología PRISMA
- Figura 4. Gimbal para dron.
- Figura 5. Modelamiento de dron en SolidWorks
- Figura 6. Diseño esquemático en Fusion 360.
- Figura 7. Spectral 2
- Figura 8. M300 con cámara ZENMUSE
- Figura 9. Cámara multispectral para M300
- Figura 10. Phantom con cámara multispectral
- Figura 11. Phantom con cámara térmica.
- Figura 12. Diagrama de conexiones de partes del dron
- Figura 13. Diagrama de flujo
- Figura 14. Blackbox
- Figura 15. Sistema de Actuación
- Figura 16. Sistema Físico
- Figura 17. Sistema de Información
- Figura 18. Sistema de Energía
- Figura 19. Sistema de Control
- Figura 20. Sistema de Información
- Figura 21. Sistemas en conjunto
- Figura 22. Concepto de solución A
- Figura 23. Parte baja del dron del Concepto de solución A.
- Figura 24. Interfaz gráfica del Concepto de solución A.
- Figura 25. Concepto de solución B.
- Figura 26. Interfaz gráfica del Concepto de solución B.
- Figura 27. Interfaz gráfica del Concepto de solución C.
- Figura 28. Componentes internos del concepto de solución C
- Figura 29. Parte baja del dron del Concepto de solución C.
- Figura 30. Concepto de solución C
- Figura 31. Evaluación técnica - económica de las soluciones
- Figura 32. Controlador de batería para dron
- Figura 33. Tabla de valores para el motor Antigravity MN5008 KV340
- Figura 34. Dibujo mecánico del motor Antigravity MN5008 KV340
- Figura 35. Dron de ala fija
- Figura 36. Dron multicopter
- Figura 37. Tubos de fibra de carbono
- Figura 38. Dron con brazos de fibra de carbono

Figura 39. Dimensiones de batería para el dron
Figura 40. Dimensiones del controlador Pixhawk 4
Figura 41. Primera iteración de cuerpo central del dron
Figura 42. Segunda Iteración
Figura 43. Tercera Iteración cuerpo central del dron.
Figura 44. Dimensiones aproximadas del brazo del dron
Figura 45. Cargas aproximadas para el brazo del dron
Figura 46. Simulación con fuerza de 25N en el brazo del dron en Inventor
Figura 47. tren de aterrizaje
Figura 48. Análisis de estrés del tren de aterrizaje
Figura 49. dimensiones aproximadas del dron
Figura 50. Cargas aproximadas para el dron
Figura 51. Simulación de esfuerzos para el dron completo en Inventor
Figura 52. Simulación de esfuerzos para el dron completo en Inventor
Figura 53. Fuselaje del dron
Figura 54. Medidas del fuselaje compacto del dron
Figura 55. Adaptador para cámara térmica
Figura 56. Adaptador cámara multiespectral
Figura 57. Ensemble gimbal, adaptador y cámara térmica
Figura 58. Hub común
Figura 59. Conexiones de Flir Vue Pro a Pixhawk4
Figura 60. Salida hacia el Hub común para cámara térmica
Figura 61. Salida hacia el Hub común de cámara multiespectral
Figura 62. Conexiones del Hub común hacia el Pixhawk
Figura 63. Conexiones de la cámara multiespectral hacia el Hub común
Figura 64. Conexiones de la cámara térmica hacia el Hub común
Figura 65. Diagrama de conexiones electrónicas
Figura 66. Mission Planner Home
Figura 67. Diagrama para el plan de vuelo
Figura 68. Ventana de Plan de vuelo
Figura 69. Diagrama de plan de cámara
Figura 70. Creación de puntos de paso
Figura 71. Resultado de puntos escogidos
Figura 72. Diagrama de control del dron
Figura 73. Correcto funcionamiento del dron en la misión
Figura 74. Diagrama de control del gimbal
Figura 75. Representación de la primera iteración del sistema
Figura 76. Representación del sistema Ciber
Figura 77. Diagrama de flujo del código
Figura 78. Mapa de clasificación usando Earthpy y data de Lansat8

DISEÑO DE DRON PARA ANÁLISIS DE SALUD VEGETAL

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En los siguientes párrafos se enuncian los objetivos asociados al diseño de un dron para el análisis de salud vegetal en cultivos. El documento empezará enunciando la problemática. Se enunciarán los objetivos generales y específicos. Se definirá el alcance del proyecto. Posteriormente se describirá la metodología que se seguirá para completar el trabajo.

1.1 Problemática

Según la FAO [1], entre 20% y 40% de la producción agrícola en el mundo se pierde por enfermedades, plagas y malas hierbas. En el Perú, el sector agrícola es de gran importancia por la biodiversidad y aporte notorio en el PBI del país. Según el INEI [2], para el 2021 el 6.4% del PBI del Perú proviene del sector agrícola, a pesar de la baja infraestructura y el relego del estado. Además, los campesinos representan al 24% de la Población Económicamente Activa, que equivale a 4 000 000 puestos de trabajo. Debido a ello, el presente trabajo exhibe como marco problemático la pérdida de los cultivos por situaciones adversas como las plagas, malas hierbas, enfermedades, falta de nutrientes y condiciones térmicas. Estos problemas, se podrían evitar mayormente si se realizaran análisis de salud constantemente a los sembríos.

El problema recae en la falta de análisis de la salud de los cultivos por lo demandante que es la revisión manual en las plantas. No es viable realizar revisiones exhaustivas a todo el cultivo. Según el artículo del diario Gestión [3], “Las pérdidas de alimentos suceden cuando éstos dejan de ser utilizables debido a diferentes factores que ocurren en la cadena de suministro, que abarca desde la producción hasta la comercialización en el mercado. Los alimentos que

experimentan mayores pérdidas en el territorio peruano son el tomate con 42.9%, el banano con 40.8% y la papa con 31.96%. La causa puede ser debida a problemas previos a la cosecha, como plagas, problemas de recolección, empaquetado, almacenamiento o manejo”. El problema de las plagas es uno de los más relevantes en las pérdidas porque el 40% de la producción de alimentos se pierde por ellas y enfermedades [4]. Por ello, en este documento se tratará el problema de falta de revisión de salud de los cultivos con métodos como drones y cámaras especiales.

1.2 Propuesta de solución

La propuesta de solución de este proyecto se enfoca en el diseño de un dron. Se mostrará por qué las soluciones comunes son ineficientes y por qué la elección de un vehículo aéreo. Además, la necesidad de diseñar un nuevo dron recaerá principalmente en la complejidad de usar los diferentes tipos de cámara.

Para solucionar la problemática existen varias opciones. No obstante, muchas de ellas no son eficientes. Por ejemplo, la manera más común y directa de controlar las plagas es la inspección manual. Esta inspección es bastante tediosa al tratarse de campos muy grandes. Además, el trabajador debe de realizarla constantemente. Es común que algún error pequeño se pase y luego puede afectar a todo el cultivo. Muchas veces, el arduo trabajo que requiere la inspección constante es la razón por la que no se realiza tan frecuentemente como debería.

Existen otras soluciones innovadoras con mecanismos distintos, pero tampoco son tan eficientes y son costosas. Además, es claro que una visión aérea espaciada es óptima para poder analizar a los diversos cultivos existentes en menor tiempo de procesamiento; ya no se hace necesario realizar el trabajo repetitivo de revisar cada planta individualmente.

Para obtener las imágenes con visión desde altura, una de las tecnologías más usadas son las imágenes satelitales por Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Pese a la gran utilidad, este muchas veces conlleva ciertos inconvenientes y no ofrece la flexibilidad ni la precisión que pueden tener imágenes tomadas de manera más cercana como los drones.

Los drones solucionan muchos de esos problemas porque ofrecen imágenes aéreas de una distancia no lejana; ello provee mejor resolución. Sin embargo, el aspecto importante recae en que los drones son más versátiles ya que se les pueden agregar diferentes sensores para que obtengan datos más relevantes en la aplicación de agricultura. Además, los vuelos se pueden realizar a disposición del usuario y según sus requerimientos. Por ejemplo, al usar el dron, se puede obtener el índice normalizado de diferencia de vegetación (NDVI) usando diferentes sensores como los sensores multispectrales, térmicos, ultrasónicos, etc. Por otro lado, los drones no sólo funcionan para un único propósito en la agricultura, sino que también tienen aplicaciones como el mapeo, control, aplicación de plaguicidas, entre otros.

Los drones estándares se suelen utilizar para cubrir 100 hectáreas de terreno en un día. Una siembra muy pequeña como de menos de 5 hectáreas tal vez no sería recomendable. Tampoco área de más de 100 hectáreas tampoco estaría en el rango preferido. El rango óptimo de esta aplicación podría considerarse dentro de esos límites, pero no ha sido completamente definido. Esto se puede confirmar adicionalmente tomando en cuenta las limitaciones del tiempo de vuelo del dron. Por ejemplo, el tiempo máximo de vuelo del DJI Phantom 4 , uno de los modelos más usados para agricultura, es de 28 minutos.

Si bien las aplicaciones en los drones son extensas, en este documento se concentrará en el concepto general de salud vegetal. Sin embargo, para realizar ello, será necesario entender superficialmente la información relacionada, como el NDVI, etc. Se propone utilizar reconocimiento de imágenes para el análisis de los parámetros importantes, en especial los que

indican directamente la existencia de plagas. Estos datos podrán ser tomados por una cámara integrada con sensores adicionales adjuntos al dron. Se piensa utilizar una simulación para planear el vuelo del dron y definir los datos necesarios para el posterior análisis. Luego, se podrán utilizar softwares para indicar el mapeo y entender con mayor claridad los datos.

Las pruebas de vuelo se harán acorde a la LEY N° 30740 LEY QUE REGULA EL USO Y LAS OPERACIONES DE LOS SISTEMAS DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA (RPAS). Las pruebas se harán en zonas no urbanas y tendrán únicamente como propósito la validación de ensayos e investigación científica. Además, si el peso del dron supera los 2 kilogramos, se tendrá que contar con una persona acreditada para el apoyo en el pilotaje. En la Figura 1 se puede apreciar cómo es posible la adición de drones en los cultivos para realizar un control de plagas.



Figura 1. Control de plagas con drones.
Fuente: Avgust.

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una solución a partir de un vehículo aéreo que sea capaz de tomar imágenes multiespectrales y térmicas para el análisis de la salud vegetal.

1.2.2 Objetivos específicos

1. Establecer el estado del arte, marco conceptual, y definir la revisión de la literatura en las tecnologías y soluciones actuales relacionadas.

2. Definir los requerimientos para los sistemas de control, mecánico, electrónico y de software para un dron enfocado en agricultura de precisión.
3. Diseñar e implementar el sistema eléctrico y de control para el dron.
4. Diseñar la lógica del funcionamiento para el control del dron.
5. Diseñar una herramienta acoplable al dron capaz de intercambiar las cámaras para uso de imágenes multiespectrales y térmicas. La herramienta consistirá principalmente de un acople para el estabilizador de las cámaras y se realizarán unas configuraciones por software al dron con el objetivo de que las cámaras sean compatibles.
6. Escribir una secuencia de pasos en las cámaras del dron usando un software de planeamiento para poder tomar imágenes en una ruta programada y de manera remota.
7. Brindar una solución para el procesado de datos final basado en una arquitectura de software con una solución óptima escalable.
8. Realizar pruebas del software que procesa los datos en la nube.
9. Estimar los costos totales de la parte física y ciber del sistema, que incluyen el costo de los componentes fabricados y adquiridos del sistema físico, como también de los servicios presentes en el sistema ciber.

1.2.3 Alcance del trabajo

- En el proyecto, no se realizará la aplicación del pesticida por el dron. Tampoco, se ha considerado un seguimiento futuro con el dron.
- El proyecto se centrará en el diseño del dron para que pueda ser compatible con las cámaras multiespectral y térmica.

- La parte compleja del procesamiento de datos con parámetros vegetativos especiales (cálculo de índice normalizado de diferencia de vegetación, humedad en el terreno, calidad de suelo, entre otros) se mencionará en la sección de recomendaciones. Este análisis se aleja del objetivo principal que es el diseño del dron .
- Todo lo mencionado y lo revisado en el alcance del proyecto apoya y define el objetivo final del trabajo: diseñar un dron que sea capaz de indicar la salud vegetal de cultivos según las imágenes aéreas tomadas por el dron.

1.3 Metodologías

En el apartado de metodologías se mencionarán las metodologías VDI, ADD 3.0 y PRISMA.

1.3.1 VDI

La metodología que se utilizará será la VDI 2206 diseñada por la Asociación Alemana de Ingenieros (German Association of Engineers) desarrollada por el comité técnico VDI GMA 4.10. Las pautas del diseño del mecatrónico seguirán los siguientes pasos:

- a. **Requerimientos del sistema:** Se definirá lo necesario para la creación del proyecto. Ello consiste en elegir las especificaciones necesarias para el dron. Entre las más importantes destacan los sensores y el software para el análisis.
- b. **Diseño del sistema:** Será necesario contemplar un diseño del sistema para poder integrar los diferentes elementos. Específicamente, el planeamiento con anticipación y el diseño del dron acoplado con sensores antes de realizar los vuelos.
- c. **Diseño de los dominios específicos:** Será necesario clasificar los dominios específicos para poder ser más específicos en los requerimientos y funcionamiento del sistema.

- d. Integración del sistema: El sistema debe de funcionar sin problemas entre dominios. Al existir una separación clara entre el software y la electrónica del dron, debe de tenerse precaución en asegurar la integración para evitar problemas en el sistema general.
- e. Verificación/validación: Se debe de probar la viabilidad del sistema antes de poder aplicarlo en la vida real. Cada proceso debe de ser verificado y validado con simulaciones.
- f. Modelado y análisis: Se debe de modelar la posible elección del dron para analizar la viabilidad.
- g. Producto final: Al acabar el presente texto, se debe de mostrar un producto final que cumpla con resolver la problemática planteada y debe de ser sustentado por el contenido escrito.

1.3.2 Metodología Attribute Driven Design 3.0 (ADD)

La metodología ADD (Ver Figura 2) fue desarrollada en la Universidad de Cargenie Mellon. Se debe decidir para convertir “*drivers*” arquitecturales (preocupaciones arquitecturales, requerimientos de calidad y casos de uso) en los siguientes pasos:

- Primero, se debe clarificar el objetivo de la arquitectura y enumerar los exigencias funcionales y no funcionales como *drivers*.
- Segundo, se empieza a procesar iterativamente y la persona establece el objetivo de la iteración seleccionando los drivers.
- Tercero, acorde al objetivo, se debe de escoger las secciones que serán refinadas.
- Cuarto, en la iteración, se realizan la identificación, comparación y elección de los elementos diseñados que cumplan la meta.
- En la quinta instancia quinto instancia, crear las representaciones concretas de los elementos arquitectónicos que se ajustan a los conceptos de diseño elegidos, se establecen las tareas correspondientes a cada uno y se establece el modo en que la información fluye entre ellos.

- En sexto lugar, se registra visualmente la estructura creada mediante una representación gráfica para documentar las resoluciones de la arquitectura tomadas.
- Como séptima instancia, escrudinar el diseño detalladamente y evaluar si se ha alcanzado meta y el propósito general de la arquitectura. Las decisiones de diseño son revisadas en el contexto del progreso general del proceso de diseño[5].

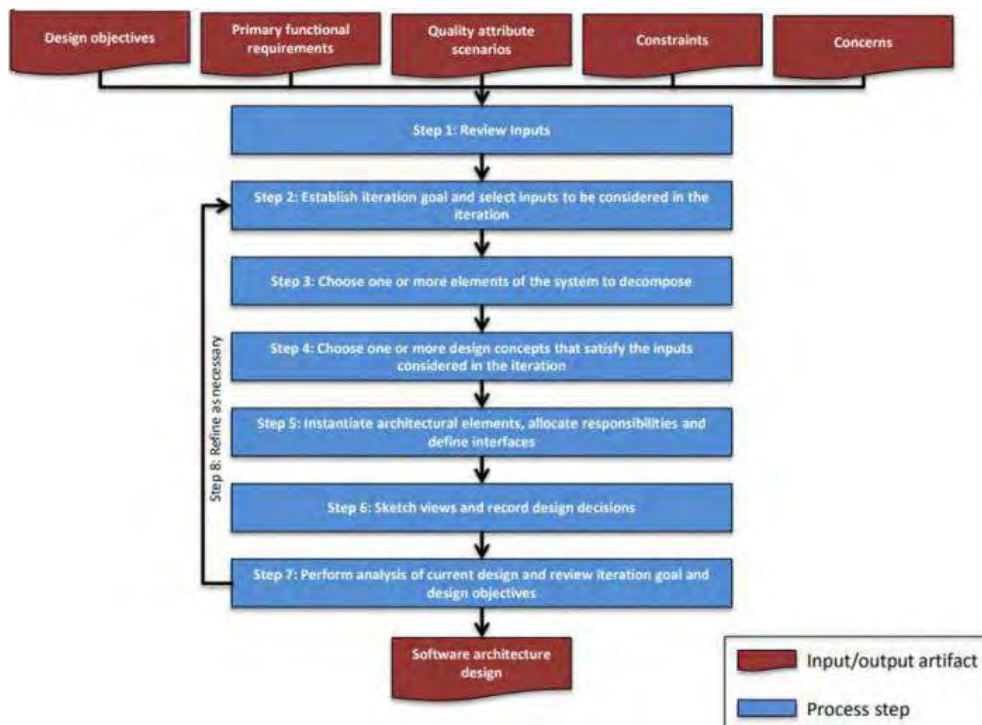


Figura 2. Pasos en la metodología ADD 3.0

Fuente: [5]

1.3.3 PRISMA

Es la metodología de Elementos de informe preferidos en revisiones sistemáticas y metaanálisis por sus siglas en inglés (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and MetaAnalyses*). Esta metodología se usará en el apartado de “Revisión de la literatura”. Se realizará un análisis de los artículos más recientes relacionados al tema para poder responder unas preguntas clave.

2. CAPÍTULO II: Estado del Arte

Para tratar de implementar una solución al problema análisis de salud vegetal, se ha tomado en consideración pensar en las tecnologías actuales y se ha creado una división clara para explicar las características. Debido a que el proyecto en sí ya está guiado hacia la agricultura de precisión usando drones, el estado del arte se enfocará en este tema y lo relacionado en ese ámbito. Una distribución notoria de las tecnologías se puede mostrar en la parte mecánica por el dron y la otra de software para el procesamiento de imágenes.

2.1 Revisión de la literatura

En este apartado se mostrará la información más relevante que se obtuvo de la revisión de la literatura. El uso de la metodología PRISMA permite conocer las etapas de selección y brinda la capacidad de evaluar el trabajo de manera sencilla. Además, se permite replicar el análisis en otras condiciones y por otras personas. En la metodología PRISMA se usó criterios de inclusión tal que finalmente solo se incluyeron los 75 artículos más relevantes (ver Figura 3).

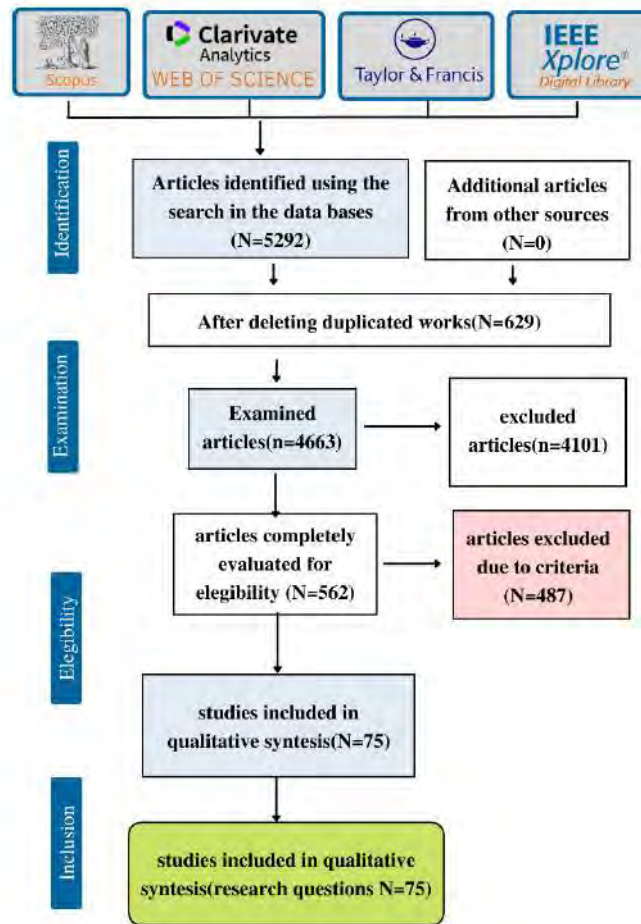


Figura 3. Diagrama del proceso de la metodología PRISMA para la selección de artículos incluidos en la revisión de la literatura. Fuente: Elaboración propia.

Las conclusiones del metaanálisis se pueden definir claramente con las respuestas a las siguientes preguntas de investigación:

- 1) ¿Qué tipo de cámaras especiales se usan en la agricultura de precisión ?

Las cámaras presentes entre los artículos revisados fueron las siguientes: multiespectral, térmica, hiperespectral, LiDAR, RGB y otras. La cámara más usada fue la cámara multiespectral que fue mencionada 41 veces según la Tabla 1.

Tabla 1. Artículos relacionados a los tipos de cámaras.

Tipo de cámara	Artículos
Multiespectral	Uribe et al., 2020 [74]; McLeester et al., 2018 [44]; Casana et al., 2018 [17]; Marwan et al., 2018 [42]; Hornero et al., 2018 [26]; Meivel et al., 2018 [45]; Durikovic et al., 2018 [81]; Ji et al., 2018 [29]; Chen et al., 2021 [18]; Singh et al., 2018 [66]; Delavarpour et al., 2021 [19]; Oliveira et al., 2020 [47]; hafi et al., 2020 [61]; Kandylakis et al., 2020 [30]; Souza et al., 2021 [68]; Heim et al., 2019 [25]; Alexandris et al., 2021 [8]; Shendryk et al., 2020 [63]; Itieri

	et al., 2022 [13]; Sharma et al., 2021 [62]; Mattivi et al., 2021 [43]; Kloc et al., 2021 [32]; Terry et al., 2021 [72]; Raeva et al., 2019 [56]; Luis-Ruiz et al., 2022 [38]; Berie et al., 2018 [15]; Yousouf et al., 2022 [28]; Marino et al., 2018 [41]; Modica et al., 2021 [46]; Tad- dese et al., 2018 [16]; Ying et al., 2021 [29]; RAsanen et al., 2018 [58]; Papadopouloset al., 2023[50]; Fei al., 2023[17]; Liu al., 2023[37]; Padua al., 2022[53]; Song al., 2022[67]; Pan et al., 2023[49]; Rijalal et al, 2023[57]; Salandra et al., 2023[33]; Zheng et al., 2022[80]
Térmica	Uribe et al., 2020 [74]; McLeester et al., 2018 [44]; Casana et al., 2018 [17]; Marwan et al., 2018 [42]; Hornero et al., 2018 [26]; Meivel et al., 2018 [45]; ~Durikovic et al., 2018 [81]; Ji et al., 2018 [29]; Singh et al., 2018 [66]; Delavarpour et al., 2021 [19]; Shafi et al., 2020 [61]; Kandylakis et al., 2020 [30]; Alexandris et al., 2021 [8]; Sharma et al., 2021 [62]; Mattivi et al., 2021 [43]; Kloc et al., 2021 [32]; Raeva et al., 2019 [56]; Luis-Ruiz et al., 2022 [38]; Berie et al., 2018 [15]; Taddese et al., 2018 [16]; Rasanen et al., 2018 [58]; Yuan al., 2022[78]
Hiperespectral	Singh et al., 2018 [66]; Delavarpour et al., 2021 [19]; Oliveira et al., 2020 [47]; Scherrer et al., 2020 [60]; Thiele et al., 2020 [73]; Rasanen et al., 2018 [58]; Saif al., 2023[59]; Zhang al., 2023[79]; Song al., 2022[67]; Ferrarial et al., 2023[23]; Maoal. et al, 2022[40]; Zheng et al., 2022[80]
LiDar	Singh et al., 2018 [66]; Shendryk et al., 2020 [63]; Alijani et al., 2022 [9]; Qureshi et al., 2023[54]
RGB	Speth et al., 2019 [70]; Hosseiny et al., 2020 [27]; Parra et al., 2021 [51]; Souza et al., 2021 [68]; Raber et al., 2019 [55]; Kawamura et al., 2020 [31]; Baioc- chi et al., 2019 [14]; Ahmadi et al., 2022 [7]; Xu et al., 2020 [77]; Bashar Alsadik 2022 [12]; Spero et al., 2022 [69]; Fawcett et al., 2022 [21]; Aliyari et al., 2022 [10]; Lim et al., 2022 [36]; Talbot et al., 2018 [71]; Gallo al., 2023[6]; Lee al., 2023[35]; Shiu et al., 2023[64]; Goncalves et al., 2022[24]; Luna et al., 2022[39]; Wang al., 2021[76]
Otros sensores	Speth et al., 2019 [70]

Fuente: Elaboración propia

2) ¿Cuáles son los indicadores más usados para mostrar la salud vegetal en la agricultura?

La interpretación de la salud vegetal de una plantación se realiza a través de indicadores o índices. El índice más usado fue el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) con 22 menciones, según la Tabla 2.

Tabla 2. Artículos relacionados a los índices

Índice	Articulos relacionados
NDVI	Uribe et al., 2018 [69]; McLeester et al., 2018 [39]; Casana et al., 2020[12]; Mawan et al., 2021 [37]; Meivel, 2020 [40]; ~Durikovic et al., 2019 [76]; Ji et al., 2021 [24]; Singh et al., 2018 [61]; Delavarpour et al., 2021 [14]; Oliveira et al., 2020 [42]; Shafi et al., 2020 [56]; Kandylakis et al., 2020 [25]; Alexandris et al., 2021 [3]; Shendryk et al., 2020 [58]; Scherrer et al., 2020 [55]; Altieri et al., 2022 [8]; Terry et al., 2021 [67]; Raeva et al., 2019 [51]; Yousouf et al., 2022 [23]; Marino et al., 2018 [36]; Modica et al., 2021 [41]; Ying et al., 2021 [29]
GLI	Oliveira et al., 2020 [42]; Parra et al., 2021 [46]; Souza et al., 2021 [63]; Heim et al., 2019 [20]; Raber et al., 2019 [50]
VARI	Oliveira et al., 2020 [42]; Parra et al., 2021 [46]; Souza et al., 2021 [63]; Heim et al., 2019 [20]; Raber et al., 2019 [50]
SAVI	Uribe et al., 2018 [69]; Shendryk et al., 2020 [58]; Marino et al., 2018 [36]

GNDVI	Uribe et al., 2018 [69]; Ji et al., 2021 [24]; Oliveira et al., 2020 [42]; Shendryk et al., 2020 [58]; Raeva et al., 2019 [51]; Yousouf et al., 2022 [23]; Modica et al., 2021 [41]
LAI	Hornero et al., 2022 [21]; Kandylakis et al., 2020 [25]; Taddese et al., 2018 [11]; Rasanen et al., 2018 [53]
ExG	Hosseiny et al., 2020 [22]
NDRE	Alexandris et al., 2021 [3]
WSI	Hosseiny et al., 2020 [22]; Shafi et al., 2020 [56]
Otros	Speth et al., 2012 [65]; Durikovic et al., 2019 [76]; Ji et al., 2021 [24]; Chen et al., 2021 [13]; Ore et al., 2020 [43]; Fanigliulo et al., 2020 [15]; Parra et al., 2021 [46]; Souza et al., 2021 [63]; Heim et al., 2019 [20]; Altieri et al., 2022 [8]; Almalki et al., 2021 [6]; Thiele et al., 2020 [68]; Yousouf et al., 2022 [23]

Fuente: Elaboración propia

3) ¿Cómo se puede adjuntar al dron las cámaras térmicas y multiespectrales?

Normalmente las cámaras no son compatibles y la integración en el mismo dron trae conflictos. Las configuraciones en las cámaras no son las mismas. Usualmente, poseen diferentes puntos de montaje, cables, estabilización y software de integración. Referente a los soportes, en algunos estudios se usaron múltiples soportes y otros usaron productos de terceros. La mayoría los soportes fueron para cámaras multiespectrales de los mismos fabricantes del dron. (ver Tabla 3)

Tabla 3. Artículos relacionados a los tipos de soporte

Soporte	Artículos relacionados
Soporte OEM para cámara térmica	McLeester et al., 2018 [39]; Shafi et al., 2020 [56]; Alexandris et al., 2021 [3]; Rasanen et al., 2018 [53]
Soporte OEM para cámara multiespectral	McLeester et al., 2018 [39]; Hosseiny et al., 2020 [22]; Fanigliulo et al., 2020 [15]; Shafi et al., 2020 [56]; Souza et al., 2021 [63]; Alexandris et al., 2021 [3]; Shendryk et al., 2020 [58]; Scherrer et al., 2020 [55]; Altieri et al., 2022 [8]; Terry et al., 2021 [67]; Yousouf et al., 2022 [23]; Kawamura et al., 2020 [26]; Ying et al., 2021 [29]; Rasanen et al., 2018 [53]
Producto de tercero para cámara térmica	Casana et al., 2020[12]; Mawan et al., 2021 [37]; Mat-tivi et al., 2021 [38];
Producto de tercero para cámara multiespectral	Casana et al., 2020[12]; Mawan et al., 2021 [37]; Raeva et al., 2019 [51]; Marino et al., 2018 [36]
Soportes múltiples	Speth et al., 2012 [65]; Casana et al., 2020[12]; Mawan et al., 2021 [37]; Alexandris et al., 2021 [3]; Shendryk et al., 2020 [58]
Soporte personalizado	Uribe et al., 2018 [69]; Speth et al., 2012 [65]; Ore et al., 2020 [43]; Delavarpour et al., 2021 [14]; Kandylakis et al., 2020 [25]; Shendryk et al., 2020 [58]; Almalki et al., 2021 [6]; Baiocchi et al., 2019 [9]; Modica et al., 2021 [41]; Parshin et al., 2018 [47]

Fuente: Elaboración propia

4) ¿Cuáles son los softwares más comunes para el procesamiento de datos?

A pesar de que la mayoría de las aplicaciones usan software de pago para la agricultura de precisión, el uso de software *open source* presenta beneficios enormes. El beneficio principal es que son gratuitos y están disponibles para todos. Además, son personalizables y son perfectos para tareas complejas de automatización. Los software más usados fueron Pix4D, Python y QGIS (ver Tabla 4).

Tabla 4. Artículos relacionados al Software para el procesamiento de datos

Tipo de cámara	Artículos
QGIS	Oliveira et al., 2020 [42]; Souza et al., 2021 [63]; Heim et al., 2019 [20]; Altieri et al., 2022 [8]; Mattivi et al., 2021 [38]; Luis-Ruiz et al., 2022 [33]; Ying et al., 2021 [29]; Talbot et al., 2018 [66]
ArcGIS	Meivel, 2020 [40]; Yousouf et al., 2022 [23]
Pix4D	McLeester et al., 2018 [39]; Casana et al., 2020[12]; Hornero et al., 2022 [21]; Delavarpour et al., 2021 [14]; Alexandris et al., 2021 [3]; Raber et al., 2019 [50]; Raeva et al., 2019 [51]; Marino et al., 2018 [36]; Lim et al., 2022 [31]
Open Drone Map (ODM)	Mattivi et al., 2021 [38]; Kloc et al., 2021 [27]; Terry et al., 2021 [67]; Ying et al., 2021 [29]
Python	Speth et al., 2012 [65]; Chen et al., 2021 [13]; Hosseiny et al., 2020 [22]; Sharma et al., 2021 [57]; Thiele et al., 2020 [68]; Silva et al., 2021 [60]; Xu et al., 2020 [72]; Modica et al., 2021 [41]; Ying et al., 2021 [29]; Spero et al., 2022 [64]
MK tools	Uribe et al., 2018 [69]
Drone Deploy	Mawan et al., 2021 [37]; Kloc et al., 2021 [27]; Parshin et al., 2018 [47]
SciMAT	Singh et al., 2018 [61];
Diva-GIS	Shafi et al., 2020 [56];
Agrisoft	Delavarpour et al., 2021 [14]; Oliveira et al., 2020 [42]; Kandylakis et al., 2020 [25]; Kloc et al., 2021 [27]; Alijani et al., 2022 [4]; Fawcett et al., 2022 [16]; Kawamura et al., 2020 [26]; Baiocchi et al., 2019 [9]; Ahmadi et al., 2022 [2]
eCognition	Parra et al., 2021 [46]; Modica et al., 2021 [41]
Global Mapper	Shendryk et al., 2020 [58]
Other software	Durikovic et al., 2019 [76]; Ji et al., 2021 [24]; Ore et al., 2020 [43]; Scherrer et al., 2020 [55]; Almalki et al., 2021 [6]

Fuente: Elaboración propia

Un punto crucial de la revisión de la literatura respecto a las tecnologías de precisión es que de acuerdo con el *Economic Research Service from the U.S. Agriculture Department*. entre las granjas de maíz que usan agricultura de precisión, se observó un ahorro de 25 dólares por acre [75].

2.2 Marco teórico

2.2.1 Drones multirrotores

Como lo indica el nombre, los drones multirrotores poseen rotores que permiten el fácil despegue y aterrizaje. Al poder realizar movimientos verticales, el aterrizaje es más rápido y sencillo que las aeronaves con alas fijadas. Según la cantidad de motores los multicópteros pueden ser tricópteros, cuadricópteros y hexacópteros [82].

2.2.2 Soportes y gimbal

El gimbal (ver Figura 4) es un estabilizador que se acopla al sensor deseado. Es un componente esencial en los drones con cámaras ya que al estar en constante movimiento y ser afectado por el viento, el dron genera oscilaciones a la cámara; por consiguiente, sin la presencia de un gimbal, las imágenes saldrían movidas [83].



Figura 4. Gimbal para dron. Fuente: Amazon

2.2.3 Modelado 3D por CAD

Es necesario usar un software CAD para poder definir y visualizar las partes del vehículo aéreo a ser utilizado. Los softwares más comunes para este tipo de trabajo son Fusion 360, Inventor y Solid Works. Estos software brindan la posibilidad de generar y hacer pruebas en el modelo 3D. Gracias a ello, el modelado puede mejorarse sin necesidad de crear un prototipo real por cada iteración. Además, los softwares brindan la funcionalidad de generar planos. (ver Figura 5)

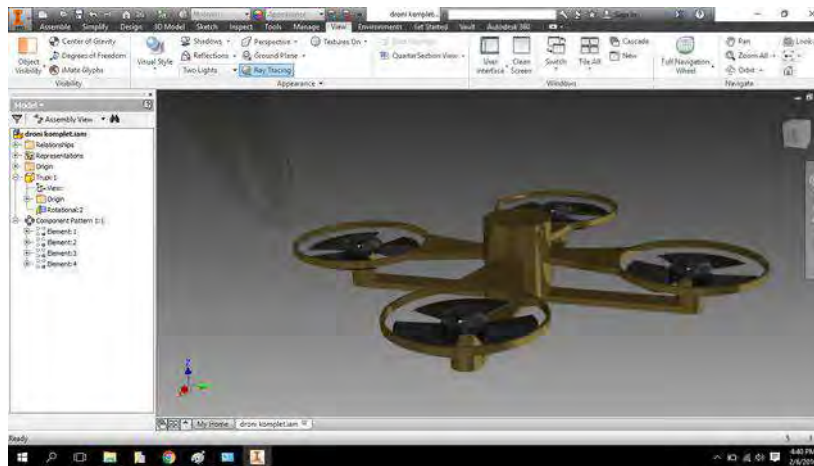


Figura 5. Modelamiento de dron en SolidWorks. Fuente: CadCrowd

2.3.4 Esquemas electrónicos

El dron necesitará indicaciones sobre los componentes electrónicos que usará y sus conexiones. Por ello, es necesario el uso de un software que permita crear esquemas electrónicos. Los softwares más comunes son Fusion 360 y Proteus. Gracias al software se podrá saber el orden, requerimientos y posibles problemas relacionados a la disposición de los componentes electrónicos. (ver Figura 6)

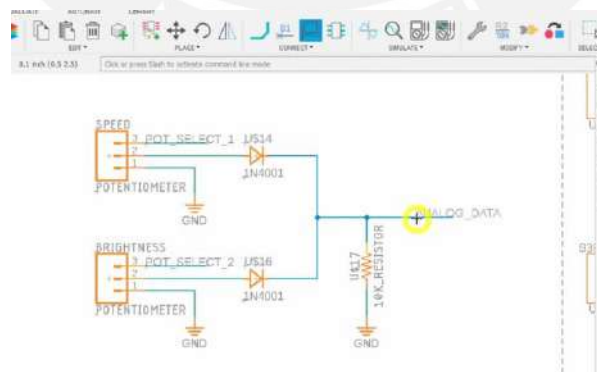


Figura 6. Diseño esquemático en Fusion 360. Fuente: Will Donaldson

2.3.5 Software de planeamiento del vuelo

Son softwares que ayudarán a planificar los parámetros relacionados con las fotos. Si no se usan, se puede sufrir de problemas de insuficiencia de datos para el *stitching* (solapamiento de imágenes para formar el ortomosaico). En otras palabras, la falta de planificación puede llevar a obtener un número de imágenes insuficiente para generar el modelado 3D. Con estos software se pueden planificar qué tipos de datos se tomarán dependiendo de la aplicación. Los más usados son los software de Pix4D, DJI Ground Station y Mission Planner. No obstante, cualquier software de geolocalización y planeamiento se puede usar.

2.3.6 Cloud Computing

Una vez realizada la toma de datos es necesario el procesamiento para la clasificación del estado del cultivo. Esto se puede hacer manualmente revisando las imágenes una a una o con ayuda de un software. Se apunta a que el software ya realice esta tarea a través de un algoritmo. Usando cloud computing se podrá realizar el procesamiento necesidad de poseer una computadora física. Además, se pueden usar modelos pre entrenados que ya clasifiquen la existencia de plagas. Entre los servicios de cloud computing más conocidos se encuentran Microsoft Azure, Amazon Web Service (A.W.S) y Google Cloud.

2.4 Soluciones similares

2.4.1 Spectral 2

El dron Spectral 2 de la compañía NUVEM UAV[84] ofrece una propuesta interesante para los casos de análisis constante con cámaras multiespectrales y térmicas. De ser necesario el uso constante de ambas cámaras en un mismo dron, el Spectral 2 propone una fácil intercambiabilidad entre las cámaras compatibles. Otras de sus características principales es que es un dron de cuatro hélices con un gimbal de 2 ejes. El precio del Spectral 2 con una

batería extra es de 8 612 USD aproximadamente. Para el presente documento, es un modelo de inspiración que resuelve el inconveniente al momento de intercambiar las cámaras. (ver Figura 7)



Figura 7. Spectral 2. Fuente: Nuvem UAV

2.4.2 DJI M300

Otra solución que permite utilizar cámaras térmicas y multiespectrales en un solo dron es el dron DJI Matrice 300. El DJI M300 o Matrice 300[84] es un dron grande quadcopter con un peso de 6.3kg con 2 baterías incluidas. Tiene una carga máxima de 3.6kg y un tiempo de vuelo máximo de 55 minutos. El dron tiene una forma de integrar la cámara térmica ZENMUSE de DJI (ver Figura 8). La cámara zenmuse no viene incluida en el dron originalmente y contiene un soporte gimbal y una cámara FLIR. Para el uso de una cámara multiespectral, se tendría que usar una solución externa compatible con el DJI M300 que incluye un soporte y la cámara Micasense para obtener los datos multiespectrales. (ver Figura 9)



Figura 8. M300 con cámara ZENMUSE. Fuente: DJI, TechCloud



Figura 9. Cámara multiespectral para M300. Fuente: DJI, TechCloud

2.4.3 DJI Phantom

El uso de un DJI Phantom implica una mayor dificultad para adaptar el proyecto a las necesidades. La versión original del Phantom es un dron simple quadcopter con una cámara RGB[86]. Sin embargo, varios proyectos de internet muestran la posibilidad de modificaciones. No se puede cambiar la cámara que lleva el dron, pero sí se puede agregar una cámara térmica con un soporte adicional (ver Figura 11). Esto implica adaptar ciertas características en el dron y agregar parámetros de control y alimentación a la cámara térmica. Para el caso de la cámara multiespectral (ver Figura 10), se puede hacer algo similar agregando una cámara o comprando la solución de DJI que ya incluye el dron Phantom con una cámara multiespectral[87].



Figura 10. Phantom con cámara multiespectral.
Fuente: DJI, TechCloud



Figura 11. Phantom con cámara térmica. Fuente:
DJI, TechCloud

3. CAPÍTULO III: REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

El dron deberá analizar parámetros para poder predecir la presencia de plagas en la siembra. Para ello se utilizarán los parámetros ya definidos en aplicaciones anteriores que muestran una correlación con la existencia de plagas. Entre estos parámetros se encuentran las concentraciones hídricas, térmicas y de estrés para indicar la presencia de plagas.

3.1 Altura

El dron no deberá pasar los 2000 m.s.n.m debido a que la baja presión del aire puede generar inconvenientes con el correcto funcionamiento de los rotores.

3.2 Condiciones climatológicas

El clima en el que se realicen los vuelos no debe de ser peligroso para el dron. No se harán vuelos en climas lluviosos, con truenos, nieve. Tampoco con climas excesivamente calurosos, fríos, ventosos ni húmedos. Principalmente estos climas pueden afectar a los rotores y batería del dron.

3.3 Lista de exigencias

En la siguiente sección, se presentarán los requerimientos que el debe de satisfacer con el fin de alcanzar los objetivos y confirmar la calidad del resultado. Asimismo, es importante considerar normas internacionales referentes a los vehículos aéreos. Ante todo, se ha considerado las normas ISO 21384-1 y la ISO 21384-2. La norma ISO 21384-1 menciona especificaciones generales en los drones. Principalmente se prioriza la seguridad siguiendo las leyes y regulaciones. La norma ISO 21384-2 presenta un apartado muy importante para el presente trabajo, ya que menciona al diseño de la aeronave. Se recomienda reducir la complejidad del producto simplificando el diseño. Se aplican márgenes de seguridad y

redundancia en los componentes críticos. Se debe de priorizar la estandarización e intercambiabilidad de las piezas. Estas piezas deben de ser fácilmente reemplazables y de cómodo acceso para el mantenimiento. Además, la norma menciona que entre los componentes del dron se deben incluir necesariamente los siguientes: una aeronave no tripulada, sistema de comunicación, carga útil, RPS y soporte de equipaje.

3.3.1 Función principal

Abarcar toda el área de la siembra para que pueda obtener las imágenes. Luego, el software debe de ser capaz de clasificarlo automáticamente. El dron deberá cubrir un terreno mayor a una hectárea, pero menor a 20 hectáreas.

3.3.2 Cinemática

El sistema podrá sobrevolar el campo y realizar las maniobras necesarias para tomar los datos. Por ejemplo, despegue y aterrizaje vertical, movimientos rectilíneos, laterales, frontales, giro sobre el propio eje y estabilización de cámara. Los vuelos serán programados con anterioridad para obtener los datos necesarios según la situación lo amerite. El dron deberá poseer una velocidad de subida mayor a 5 km/h.

3.3.3 Comunicación

Existe una comunicación permanente con tierra y esta es capaz de analizar y modificar parámetros. El controlador interno del dron se interconecta con los sensores montados al vehículo a través de cables. No obstante, el control del movimiento es manejado por un mando a radio frecuencia o puede ser programado con anterioridad.

3.3.4 Control

El usuario posee un sistema de control a través de radiofrecuencia. Este control permite controlar altitud, movimientos laterales y activación de sensores.

3.4 Partes del dron

El dron deberá contar con los componentes necesarios para ser considerado como un dron multirotor o multicóptero(ver Figura 12). Por ejemplo, debe de contar con más de un rotor, controlador, hélices, cuerpo central, variadores, entre otros. Además, debe de contar con GPS, gimbal y cámara.

3.4.1 Electrónica

Los componentes necesarios para el dron incluyen sistemas de pilotaje por radiotransmisión. Además, debe incluir partes electrónicas más relacionadas a los sensores como el acelerómetro, GPS y gimbal para la cámara.

3.4.2 Energía

El dron debe de tener una autonomía mínima de 15 minutos de vuelo para abarcar toda el área del terreno.

3.4.3 Costos

Debe de ser un dron económicamente asequible. El costo no debe de superar los 10 000 dólares que incluyan al dron y la solución del software.

3.4.4 Geometría

Las dimensiones máximas del dron deben de ser 1 m de ancho, 1m de largo y 1m de altura. El peso, debe de mantenerse liviano y se apunta a que sea menor a 5kg. Además, se desea un dron multirotor por ser más fácil de controlar y de precio asequible para esta aplicación.

3.4.5 Seguridad

El dron debe presentar medidas de protección para evitar daños al usuario o del mismo vehículo en caso de fallo. El dron debe de indicar si algún componente como el rotor está fallando y no permitir comenzar el vuelo hasta que este problema se resuelva. Las partes electrónicas deberán de encontrarse correctamente cableadas.

3.4.6 Mantenimiento

Se debe realizar un mantenimiento constante al dron por desgaste a las condiciones aéreas. Al ser un dispositivo liviano por aerodinámica, también está sujeto a debilidades y desgastes. Además, las baterías de litio tienen necesidad de cambiarse con frecuencia por la conocida vida media de 2 años en un dron aproximadamente.

3.4.7 Señales

El dron envía señales de radiofrecuencia para poder ser controlado. Además, podrá mostrar la ubicación en tiempo real por GPS y si está en correcto funcionamiento.

3.5 Diagrama de flujo de los módulos

En la presente sección, se muestra un diagrama de flujo (ver figura 13) que ayudará a mostrar los módulos de energía, de poder, control y sensado del dron. En el diagrama, los puntos destacables son que la conexión de energía cruza todos los dominios y energiza a los componentes. También cada rotor es representado como BLDC (Brushless DC electric motor)

y necesita un driver para funcionar correctamente. Finalmente, se puede notar que la mayoría de componentes está conectado al controlador para enviar información.

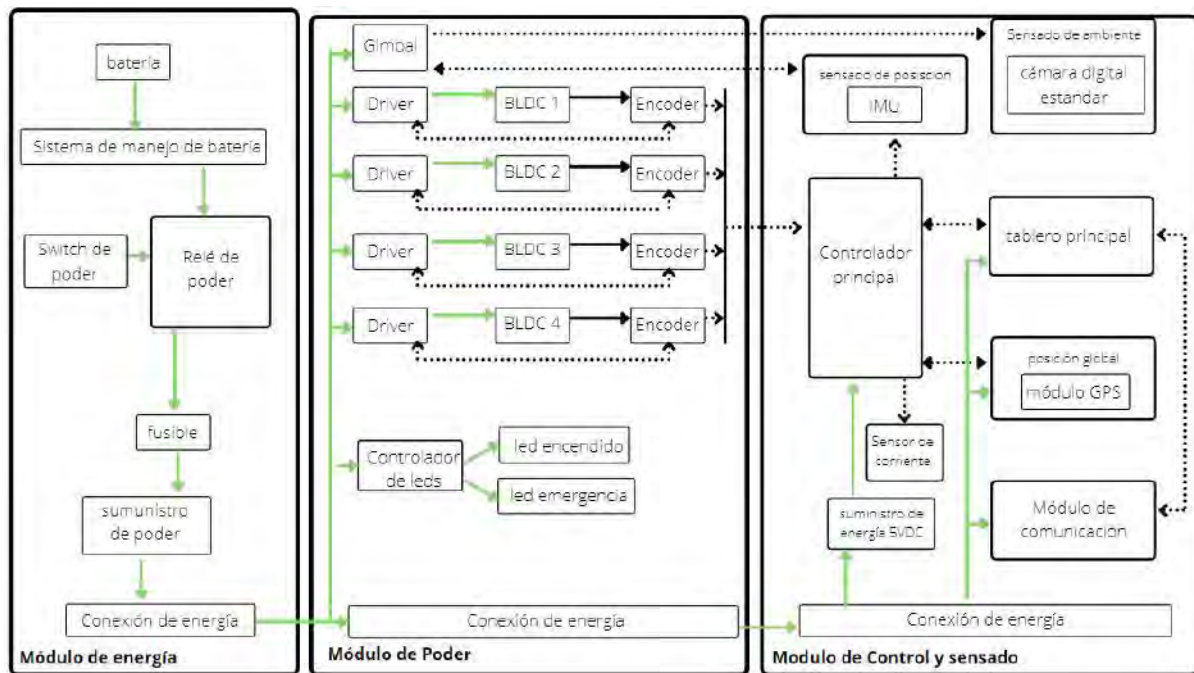


Figura 13. Diagrama de flujo
Fuente: Elaboración propia

Leyenda:

- Flecha verde: Energía
- Flecha punteada: Información
- BLDC: Motor eléctrico de corriente directa sin escobillas. Se usarán cuatro de este tipo de motores para conformar los cuatro rotores del quadcopter.
- IMU: La Unidad de medición inercial mide la fuerza de un cuerpo específico para hallar la orientación. Usa una combinación de acelerómetros, giroscopios y magnetómetros.

3.6 Blackbox

Se presentarán las entradas y salidas de la estructura en la Figura 14. En este caso, cabe resaltar que a pesar de que se necesitarán componentes físicos como rotores, gimbal o hélices, no se considerarán por ya formar parte del dron.

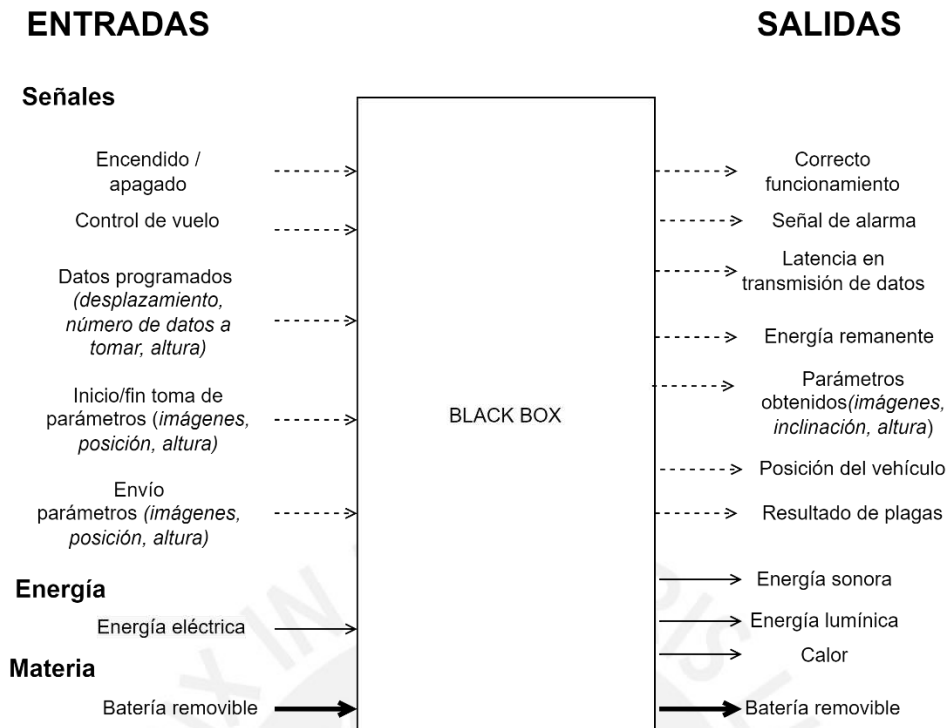


Figura 14. Blackbox
Fuente: Elaboración propia

3.7 Funciones

Se presentarán las funciones que debe cumplir el dron y se describirán los sistemas a los que estas funciones pertenecen. Los sistemas propuestos comprenden al sistema de control, sistema de medición, sistema de energía, sistema de actuación, sistema físico y sistema de información. Se desarrolló la estructura de funciones que se señala en la Figura 21.

Ahora, se presentará detalladamente las funciones de los mencionados subsistemas:

3.7.1 Sistema de Actuación

- Accionar movimiento del dron: Se encarga de transmitir la energía mecánica necesaria.
- Accionar estabilización de sensor: Es necesario estabilizar los sensores en el dron para obtener datos correctos. Principalmente se debe de estabilizar la cámara con un gimbal. (ver Figura 15)

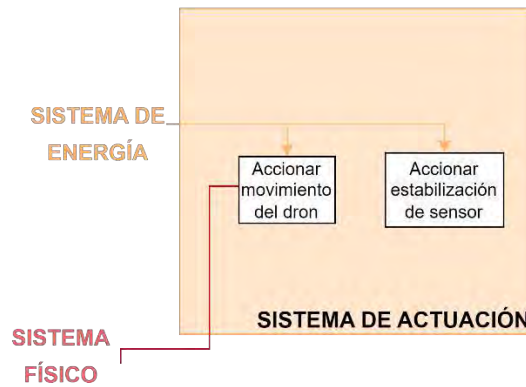


Figura 15. Sistema de Actuación
Fuente: Elaboración propia

3.7.3 Sistema físico

- Movimientos laterales : Esta función requiere una coordinación en la inclinación y fuerzas en los rotores. Con ello el dron puede ser capaz de generar movimientos rectilíneos.
- Despegue: El dron será capaz de realizar un movimiento ascendente coordinado.
- Aterrizaje: El dron será capaz de realizar un movimiento descendente.
- Soporte de carga: El dron debe de estar correctamente coordinado y diseñado para poder soportar la carga. La carga puede ser de los mismos componentes del dron como la carga adicional de los sensores. (ver Figura 16)

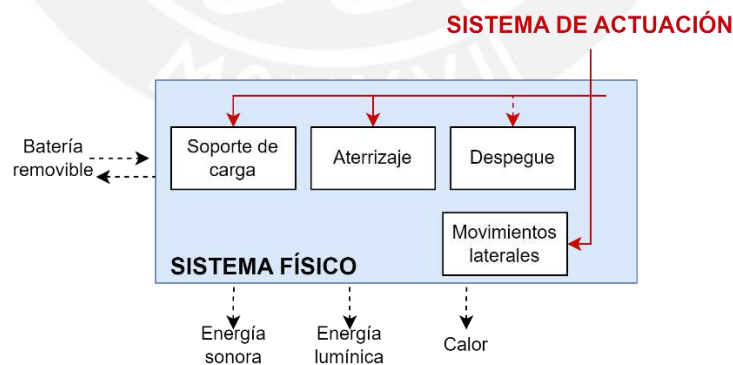


Figura 16. Sistema Físico
Fuente: Elaboración propia

3.7.4 Sistema de medición

- Sensor posición actual: El dron utilizará un GPS para brindar la posición actual. Se debe poder medir la posición en tiempo real.

- Medir energía remanente: El sistema debe de estar capacitado para de medir la cantidad de energía que queda. Debe de enviar esta información hacia el control que posee el usuario y evitar que la batería se acabe en pleno vuelo.
- Medir información del entorno: Se debe poder medir información de los sensores como el gimbal para la estabilización de la cámara y el acelerómetro para la inclinación. Se obtienen los parámetros de inclinación, altura y las imágenes. (ver Figura 17)

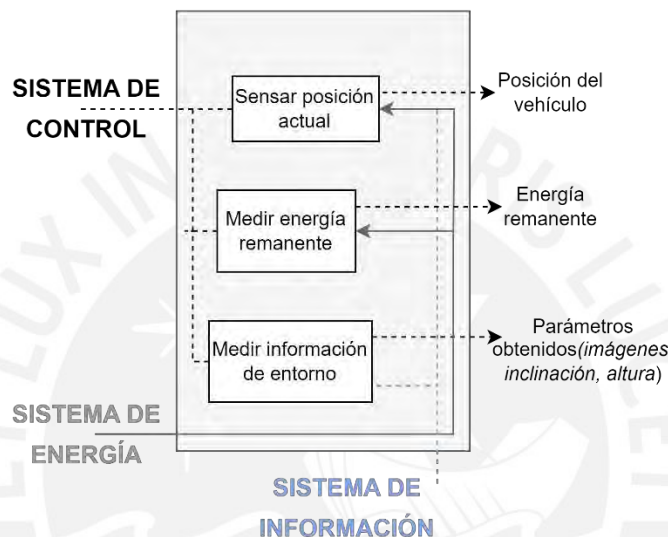


Figura 17. Sistema de Información
Fuente: Elaboración propia

3.7.5 Sistema de energía

- Almacenar energía: El dron debe de presentar una función que le permita almacenar la energía. No puede utilizar toda la energía directamente porque no estará conectado en todo momento a una fuente ilimitada de energía. Se plantea usar baterías removibles que entran al sistema físico.
- Energizar dron: A partir del almacenaje de la batería, se energiza el dron. Esta energía debe de ser acondicionada para entregar los correctos voltajes a los diferentes sistemas.
- Acondicionar energía al sistema de control: Provee de energía a la estructura de control.
- Acondicionar energía al sistema de actuación: Provee de energía la estructura de actuación.

- Acondicionar la energía en el sistema de medición: Provee de energía al sistema de medición (ver Figura 18).

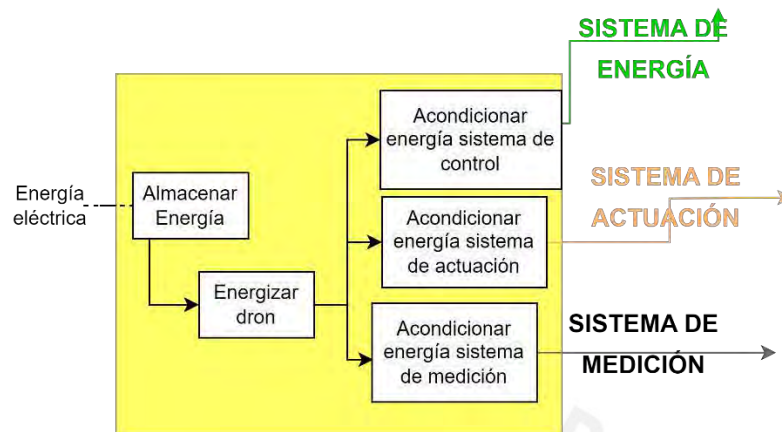


Figura 18. Sistema de Energía
Fuente: Elaboración propia

3.7.6 Sistema de control

- Ingresar datos: Se deben de ingresar los datos deseados para el vuelo. Por ejemplo, el recorrido programado y los datos que se planean medir. También puede recibir datos desde el radiocontrol que posee el usuario.
- Control: Es un control general que involucra a los actuadores. Gracias al control se puede procesar la información para poder generar el movimiento del dron. Procesa la ruta programada y los datos que se almacenarán posteriormente. (ver Figura 19)

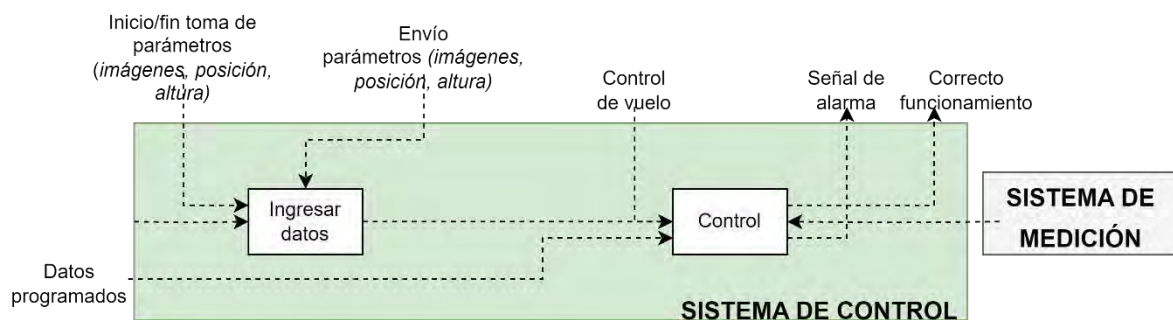


Figura 19. Sistema de Control
Fuente: Elaboración propia

3.7.7 Sistema de información

- Reunir datos: Reunir los datos del entorno a través de sensores. Principalmente es necesario saber la ubicación en tiempo real con el GPS.
- Almacenar datos: Después de reunir los datos es necesario almacenarlos. Debe de almacenar datos como aquellos tomados para el posterior procesamiento y clasificación. Se debe tener un orden específico y posteriormente se enviarán a la nube.
- Enviar datos al servicio *cloud*: Una vez obtenidos la información tomada por el dron, se debe de enviar la información a la nube para que puedan ser procesados.
- Detectar presencia de plagas: A través de un algoritmo ejecutado en la nube, se plantea realizar la clasificación que indique si existe presencia de plagas o no. (ver Figura 20)

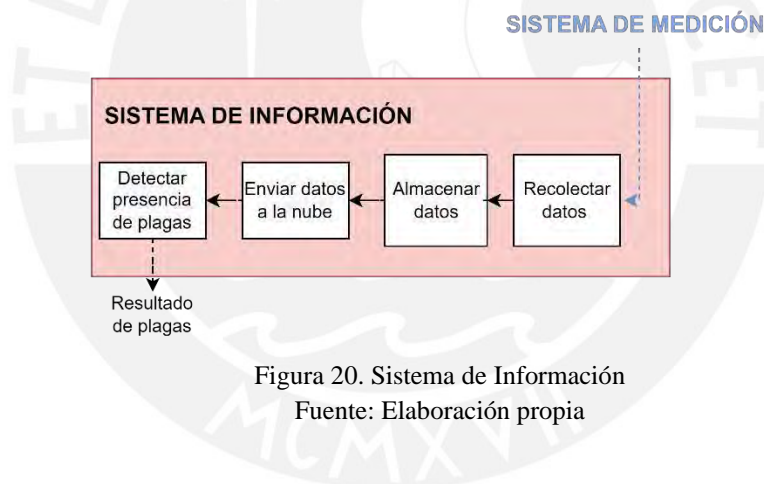


Figura 20. Sistema de Información
Fuente: Elaboración propia

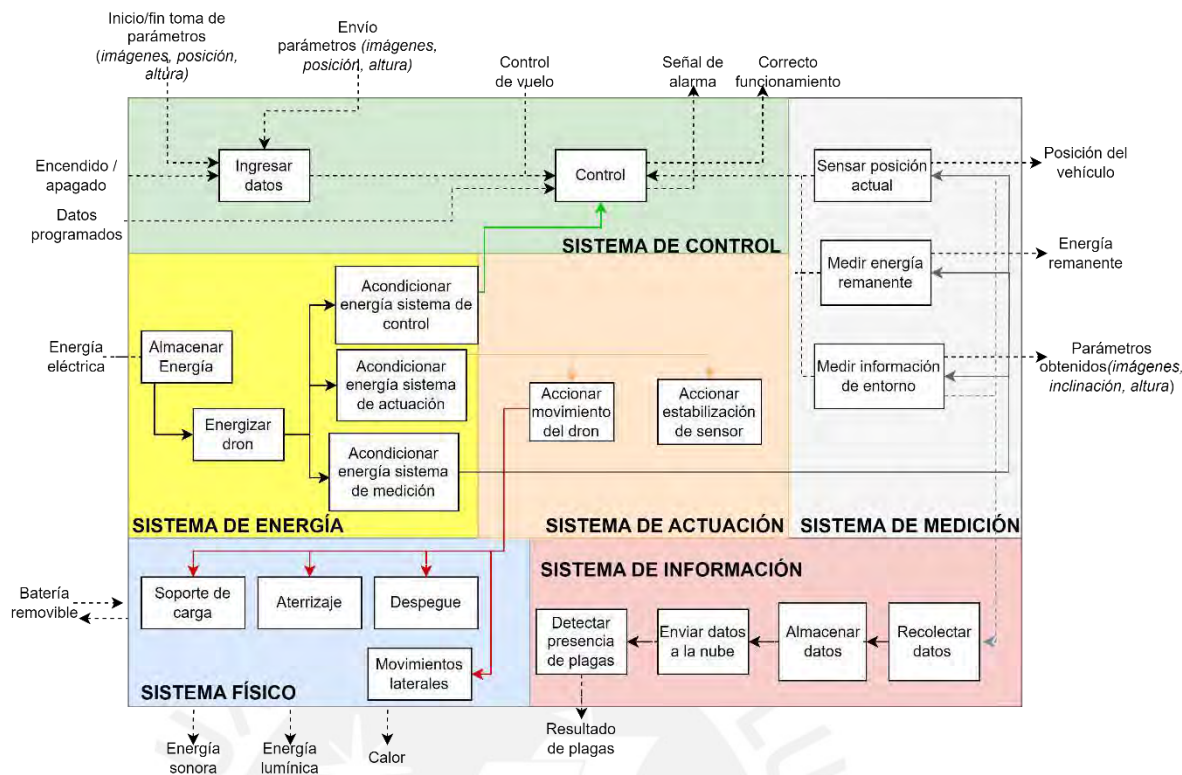


Figura 21. Sistemas en conjunto
Fuente: Elaboración propia

3.8 Conceptualización de la arquitectura de software

Se usará la metodología ADD3.0 -*Attribute Driven Design* para la conceptualización del software.

3.8.1. Descripción de casos de uso

La Tabla 5 presentará las especificaciones de los usos de caso del sistema ciber.

Tabla 5. Especificación de situaciones empleadas

Situaciones empleadas	Explicación de las situaciones empleadas
UC-1 Reunir datos	La arquitectura deberá poder utilizar los datos recolectados obtenidos por el sistema físico. Principalmente se obtendrán datos en forma de imágenes.
UC-2 Almacenar datos	El sistema hará un procesamiento de los datos; por ello, es necesario almacenar los datos incluso si sea de manera momentánea.
UC-3 Procesar datos	Una vez obtenido el conjunto de datos se deberán de procesar para formar nueva información como conclusiones de la salud vegetal.
UC-4 Mostrar datos	Una vez usados y procesados los datos, el sistema debe de ser capaz de mostrar la información.

Fuente: Elaboración propia

3.8.2 Contextos referentes a los requerimientos de calidad

Se presentarán los requerimientos de calidad en la siguiente Tabla 6 y los casos asociados a cada uno.

Tabla 6. Escenarios de atributos de calidad

Q.A.	Requerimientos de calidad	Contextos referentes	Caso de uso asociado
QA-1	Productividad	El sistema podrá recibir más de 50 imágenes para su posterior procesamiento. Como mínimo, el 90% de estos datos serán procesados correctamente.	UC-1
QA-2	Ampliabilidad	El sistema deberá ser capaz de aumentar su capacidad computacional de ser necesario. Deberá de ser capaz de almacenar los modelos entrenados y los pasos que involucran.	UC-2
QA-3	Accesibilidad	El sistema deberá tener la capacidad de ser pausado o apagado en caso no se esté usando. Esta pausa no debe tomar más de 30 minutos.	UC-3

Fuente: Elaboración propia

3.8.3 Restricciones

Se presentarán las restricciones en la Tabla 7.

Tabla 7. Restricciones

ID	Restricción
CON-1	Usar una instancia en la nube del proveedor AWS.
CON-2	Usar una unidad de procesamiento como lambda, EC2 o Sage Maker.
CON-3	Se requiere que el sistema sea accesible a través de un navegador web para permitir la entrada al mismo. (Edge, Firefox, Safari, Google Chrome).

Fuente: Elaboración propia

3.8.4 Preocupaciones arquitecturales

Se presentarán las preocupaciones de la arquitectura en la Tabla 8.

Tabla 8. Preocupaciones arquitecturales

ID	Preocupación
CRN-1	Es necesario definir un esquema generalizado para el sistema utilizando un diseño habitual en AWS.
CRN-2	El conocimiento previo del autor sobre las tecnologías de Amazon Web Services.
CRN-3	Conocimientos previos del uso de tecnologías front-end, back-end, lenguajes de programación y bases de datos.

3.9 Conceptos de solución

En el caso de las funciones detalladas en la estructura de funciones, se plantean los principios de solución en una matriz morfológica que se puede ver en el Anexo A.

Del análisis con las matrices morfológicas, se plantearon los 3 conceptos de posible solución.

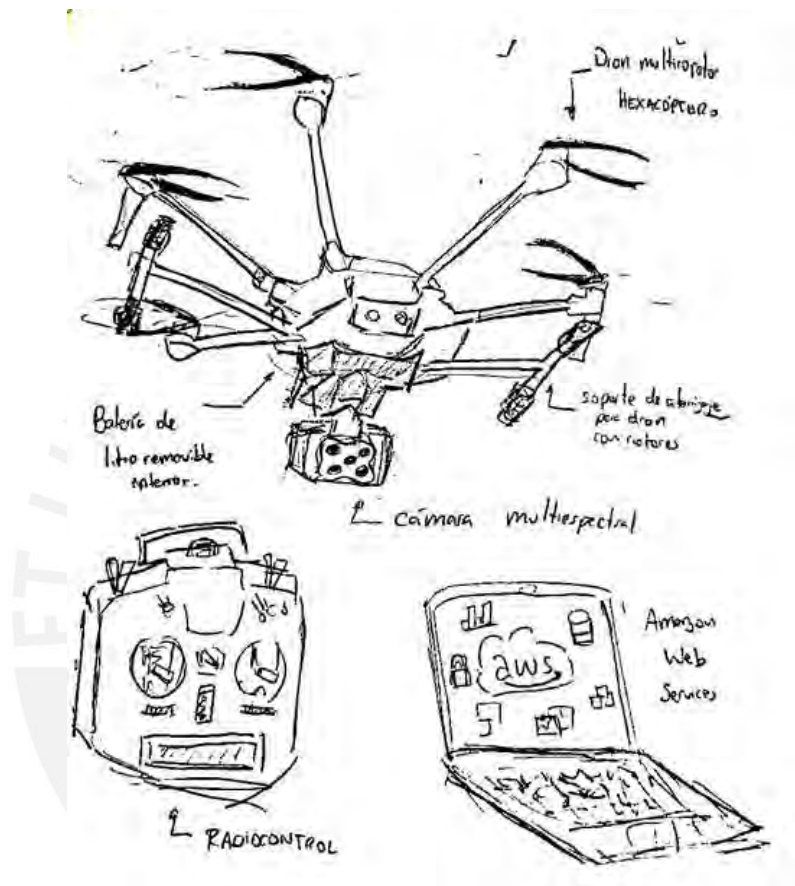


Figura 22. Concepto de solución A

Fuente: Elaboración propia

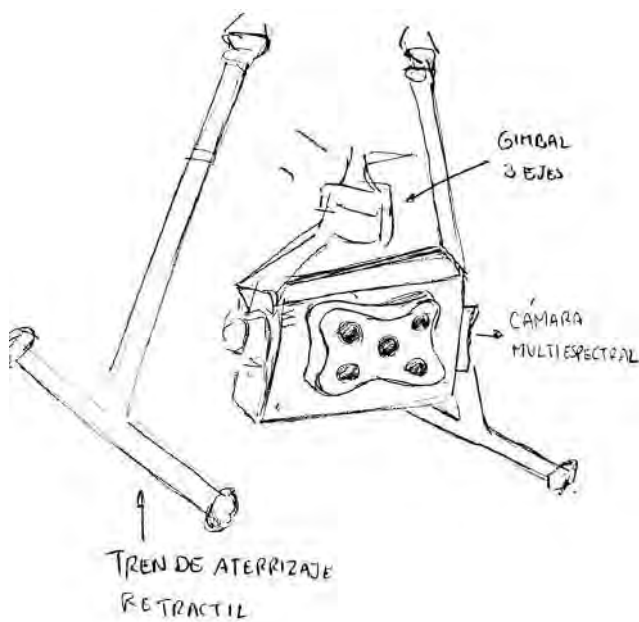


Figura 23. Parte baja del dron del Concepto de solución A. Fuente: Elaboración propia

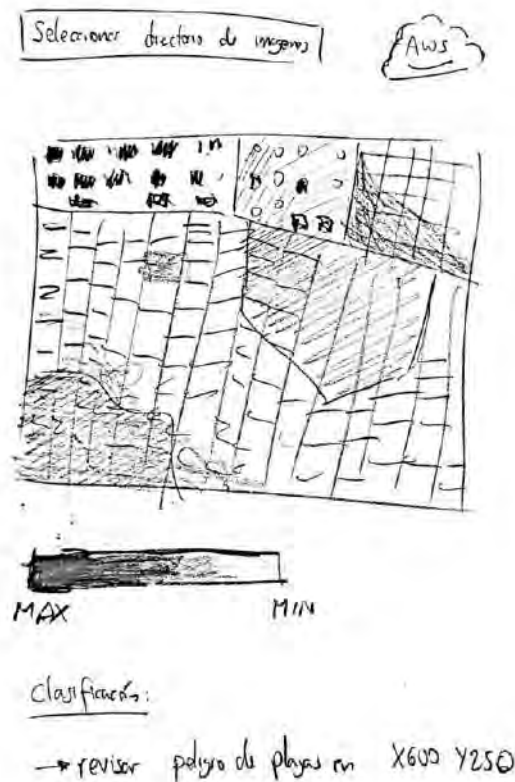


Figura 24. Interfaz gráfica del Concepto de solución A. Fuente: Elaboración propia

El concepto de solución A se encuentra en la Figura 22, Figura 23 y Figura 24 . Presenta un dron multirotor hexacóptero. El dron consistirá de batería, rotores, gimbal y tren de aterrizaje para dron. El presentar 6 motores y 6 hélices, hará que el dron sea capaz de cargar mayor peso; no obstante, esto genera complicaciones para la adquisición de una batería y motores más potentes. El dron podrá ser controlado a radiocontrol por el usuario. Para estabilizar a la cámara, se usará un gimbal capaz de estabilizar cámaras RGB de alta precisión pesadas. Finalmente, el procesamiento de la información recolectada es procesada usando los recursos de Amazon Web Services.

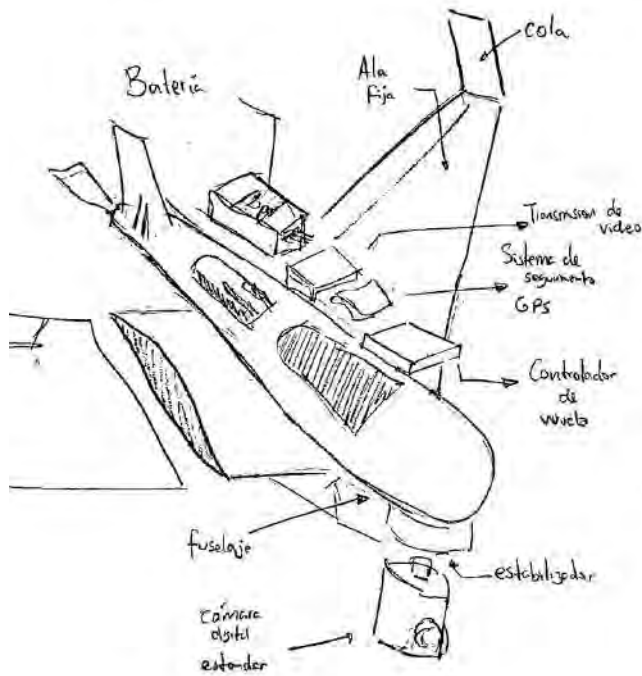
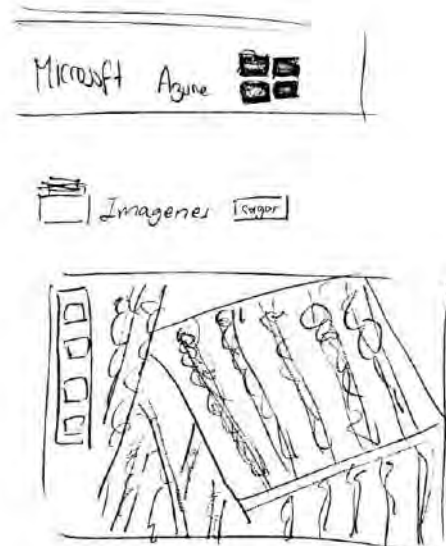


Figura 25. Concepto de solución B.
Fuente: Elaboración propia



CLASIFICACION

Existen playas en posición X600 Y100

Figura 26. Interfaz gráfica del Concepto de solución B. Fuente: Elaboración propia

El concepto de solución B de Figura 25 y Figura 26 presenta un dron de ala fija con una cámara RGB estándar. El dron podrá ser controlado a radiocontrol por el usuario. Finalmente, el procesamiento de la información recolectada es procesada usando los recursos de Microsoft Azure.



Figura 27. Interfaz gráfica del Concepto de solución C. Fuente: Elaboración propia

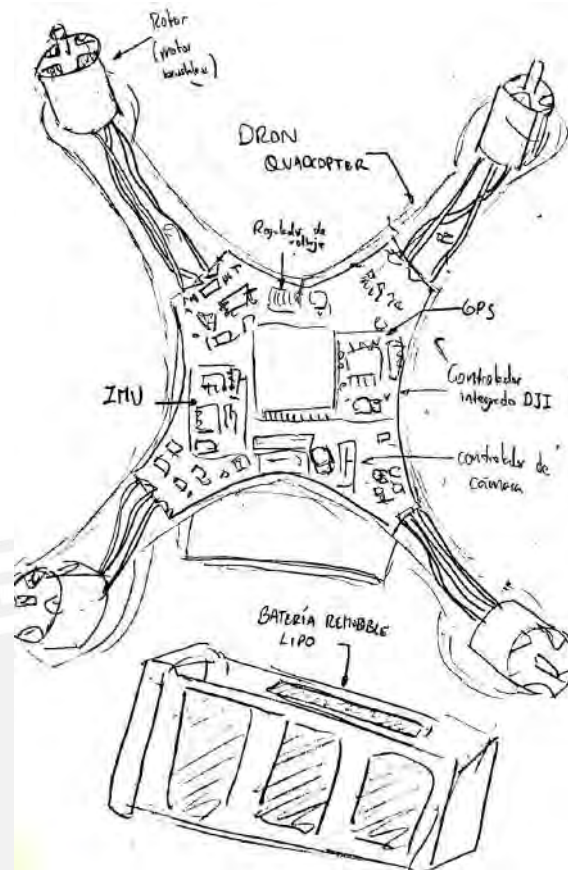


Figura 28. Componentes internos del concepto de solución C. Fuente: Elaboración propia

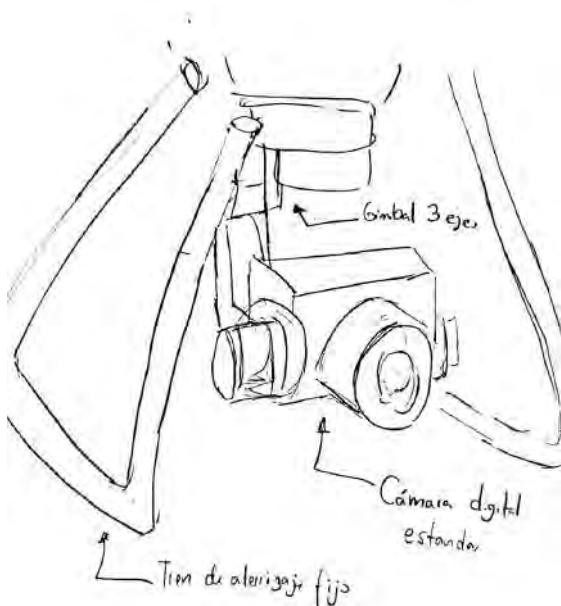


Figura 29. Parte baja del dron del Concepto de solución C. Fuente: Elaboración propia

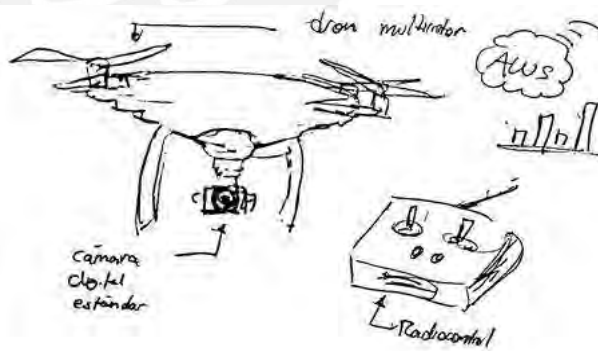


Figura 30. Concepto de solución C Fuente: Elaboración propia

El concepto de solución C de la Figura 27, Figura 28, Figura 29 y Figura 30 presenta un dron multirotor quadcopter. A parte del número de hélices, otra diferencia con la solución A recae

en que se usará un gimbal para una cámara multiespectral. El dron podrá ser controlado a radiocontrol por el usuario. Finalmente, el procesamiento de la información recolectada es procesada usando Amazon Web Services.

3.10 Evaluación técnica - económica

Se realizó una evaluación técnica - económica con el propósito de obtener el concepto de solución optimizada. Para ejecutar esta evaluación se tomó en cuenta los tres conceptos de solución presentados anteriormente.

3.10.1 Criterios de evaluación

- **Autonomía energética:** Indica la capacidad de la batería para poder realizar un vuelo en cierta cantidad de tiempo. Lo deseable es poseer una autonomía energética alta para evitar quedarse sin energía remanente en medio de la toma de datos.
- **Maniobrabilidad:** Indica la facilidad de control del dispositivo. Es necesario que el dron realice movimientos calculados como desplazamientos laterales y de altitud. En los drones de ala fija no se puede indicar un movimiento preciso ya que depende mucho de la fuerza de empuje. Sin embargo, los drones multirrotores presentan mejor maniobrabilidad ya que se puede calcular un desplazamiento preciso cambiando la fuerza que es ejercida por cada rotor.
- **Cantidad de información por sensor:** Indica la cantidad de información relevante que se puede obtener a través del sensor. En este caso, la cámara multiespectral brinda una mayor cantidad de información que la cámara digital estándar.
- **Terreno abarcable:** Indica la cantidad de terreno que puede abarcar el dron. Depende de la distancia máxima a la que pueda ser controlado, fuerza de rotores, autonomía y sensores. Es deseable que abarque el mayor terreno posible.
- **Complejidad de transmisión de datos:** Indica cuán compleja será la transmisión de

datos. Principalmente relaciona los servicios que se usarán en la nube para la transmisión de los datos. Sin embargo, también abarca la diferencia de información que se obtiene al usar una cámara multiespectral contra una cámara digital estándar.

3.10.2 Criterios económicos

- **Facilidad de adquisición y montaje:** Indica la facilidad con la que se podrá adquirir y montar el dron. Es necesario que el dron sea posible de ser adquirido en el país. Además, el montaje no debe de ser extremadamente complicado para evitar percances.
- **Facilidad de mantenimiento:** El dron estará en constante uso. Se sabe que los drones son delicados y por ello el mantenimiento es necesario frecuentemente. Esto influye mucho en el criterio económico del dron
- **Costo del dron:** Indica el costo que se necesita para comprar el dron. Está limitado por los requerimientos y es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta.
- **Costo del sensor:** El sensor es uno de los componentes principales que se agregarán al dron. Es necesario comparar los costos de los sensores porque un sensor puede ser excelente, pero el precio puede ser bastante elevado.

A cada criterio se le asignó un peso, el cual corresponde a la relevancia de este criterio. Para cada uno de ellos, se le asigna una puntuación de 1 a 3 por solución. Esto es según el grado de compatibilidad por criterio, en los cuales 1 quiere decir que satisface el criterio de manera muy baja y 3 indica que satisface de manera correcta el criterio presentado. Los puntajes asignados pueden ser revisados en la Tabla 9 (Evaluación técnica) y Tabla 10 (Evaluación económica).

Tabla 9. Evaluación técnica

Criterio	Peso	Solución A	Solución B	Solución C	Ideal
Autonomía energética	2	3	2	3	4

Maniobrabilidad	2	3	1	3	4
Cantidad de información por sensores	2	2	2	2	4
Terreno abarcable	1	2	2	2	4
Complejidad de transmisión de datos	1	1	3	3	4
Suma ponderada		21	15	21	32
Porcentaje técnico		0.656	0.469	0.656	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Evaluación económica

Criterio	Peso	Solución A	Solución B	Solución C	Ideal
Facilidad de adquisición y montaje	1	2	3	3	4
Facilidad de mantenimiento	1	2	2	2	4
Costo del dron	2	1	2	3	4
Costo de los sensores	2	1	3	3	4
Suma ponderada		8	15	17	24
Porcentaje técnico		0.333	0.625	0.708	

Fuente: Elaboración propia

Usando los porcentajes referentes a la evaluación técnica-económica, se puede comparar las soluciones mediante gráficas (ver Figura 31).



Figura 31. Evaluación técnica - económica de las soluciones
Fuente: Elaboración propia

Revisando la evaluación técnica-económica el concepto de solución ganador corresponde a la alternativa de solución C. El concepto de solución B se encuentra afectado por la zona de valor mínimo. La solución A se encuentra muy cercana a la zona de valor mínimo y la solución C es la más cercana a la solución ideal.

3.11 Conclusiones del diseño conceptual

Se diseñó una solución a partir de los requerimientos de los problemas relacionados con inspección de salud vegetal en cultivos. Es necesario diseñar un dron que sea capaz de usar de manera intercambiable los diferentes tipos de cámaras. Para elegir el concepto de solución ganador, se tuvo que realizar un análisis técnico económico. Para que el dron sea capaz de intercambiar cámaras, se necesita un diseño especial de conector y adaptadores para que las cámaras se adecuen al gimbal.

Se definió el sistema eléctrico necesario para el dron elegido. El dron contará con partes como motores, controlador, hélices, cuerpo central, variadores, GPS, batería, gimbal y cámaras. Las tecnologías más importantes para este dron son el gimbal, cámara multispectral y cámara

térmica). El gimbal debe de ser capaz de estabilizar y adaptarse a las diferentes cámaras. El sistema eléctrico se puede analizar en el diagrama de flujo presentado anteriormente.

Se definieron los requerimientos para el sistema en el dron en los cuales destaca la autonomía y el precio del dron. Se definió que la solución de software encargada del análisis de datos recolectados por el dron será realizada en los servidores de Amazon Web Services.



4. CAPÍTULO IV: SISTEMA ELECTRÓNICO

La elección de componentes electrónicos se puede ver a detalle en el Anexo B.




Como resultado se obtuvo que se usará la cámara multiespectral Micasense RedEde[88], cámara térmica Flir Vue Pro R[89], Cámara RGB Go Pro Hero[90], Gimbal copterlab[91], controlador Pixhawk 4[92], GPS Here 3 GNSS[93], Receptor FlySky FS-iA6[94].

4.1 Controlador electrónico de velocidad

El controlador de velocidad podrá distribuir energía a los motores. Se debe tener en consideración el voltaje y corriente que la batería proveerá. Al planear diseñar un dron de agricultura industrial, se requerirá aproximadamente un ESC que pueda soportar más de 20A. También, se debe asegurar que sea compatible con el número de celdas que está relacionado con el voltaje. Muchos ESC indican que pueden funcionar para 2-6S (de 2 a 6 celdas). Si se considera una batería de 1Ah con 3C o mayor, sería una buena idea usar un ESC de 40A compatible con 6S.

En la siguiente tabla (ver Tabla 11) se compararán los diferentes ESC, cuya diferencia recae principalmente en el amperaje que son capaces de soportar. Se elige por ello el de 40A.

Tabla 11. Comparación ESC

Características	XM 30A BLHeli Mini ESC[95] 	T-Motor Air 40A ESC [96] 	Xrotor Pro 50A ESC [97] 
peso	30 g	70 g	230g
Voltaje de entrada	3-6s	2-6s	4-6s
Current Rating	30A	40A	50A

Fuente: Elaboración propia

4.2 Controlador de batería

El controlador de batería (ver Figura 32) envía datos sobre la cantidad de carga remanente en la batería para que el usuario pueda conocer y planear el viaje según ese parámetro. Es recomendable siempre considerar que la capacidad de carga de las baterías varía según el uso y por ello siempre se debe evitar manejar el dron muy alejado cuando queda muy poca batería.



Figura 32. Controlador de batería para dron
Fuente Hispanodrones



4.3 Selección de batería

Se necesita seleccionar una batería que sea capaz de alimentar a todos los componentes del dron con las especificaciones adecuadas. Además, se debe considerar el tiempo de vuelo que se desea para el dron. El voltaje que ofrece la batería se puede saber a través del número de celdas. La batería no puede ser tan pesada porque esto demandaría demasiado empuje de los motores para poder elevar el dron. Principalmente se debe considerar el equilibrio entre autonomía y peso del dron.

Haciendo una comparación de baterías, la batería Foxtech 6S 9500 mAh Li-ion Battery es una batería que brinda una cantidad de carga con solo 9500 mah. En este caso se desea la mayor autonomía posible para que el dron pueda estar el mayor tiempo en el aire y sea capaz de brindar la corriente necesaria. Las dimensiones entre las baterías de 10000mAh y 16000mAh no son tan diferentes. Sin embargo, la consideración más destacable es el peso. La masa de la batería de 16000mAh es de 2.4kg, mientras que la batería de 10 000 mAh solo pesa 1.65 kg. La batería de 10 000 mAh tiene un peso aceptable para la gran cantidad de energía que provee y la

capacidad de poder conectar motores potentes que también ayudarán a cargar el peso restante del dron. Por ello, se elige la batería **Foxtech LiPo 6s de 10000 mAh** (ver Tabla 12).

Tabla 12. Comparación de baterías

Características	Foxtech 6S 9500mAh Li-ion Battery [98] 	6S 10000 mAh Lipo [99] 	6S 16000 mAh Lipo [100] 
peso	1 kg	1.65 kg	2.4 kg
Número de celdas	6s	6s	6s
voltaje	22.2V	22.2V	22.2V
Capacidad	9500 mAh	10 000 mAh	16 000 mAh
Descarga continua	3C	máximo 25C	máximo 25C
dimensiones	120x70x50 mm	203x67x53 mm	195 x 90 x 58 mm
Corriente(Ah x C)	28.5A	máximo 250 A	máximo 396 A

Fuente: Elaboración propia

4.4 Selección motores

Se necesita calcular el empuje necesario que deben de proveer los motores a través del peso que tendrá el dron. Sin embargo, un factor que influencia el empuje que ejercen los motores es la corriente que provee la batería. Por ello, se debe considerar una corriente y un peso de la batería y luego confirmar que este valor será posible para los motores. Se mostrará un cálculo estimado de los pesos del dron para poder elegir y confirmar la viabilidad de los motores que se usarán. (ver Tabla 13)

Tabla 13. Peso aproximado de partes de dron

parte del dron	peso aproximado
fuselaje	0.6 kg
controlador	0.7 kg
gimbal	0.260 kg
batería	2 kg
cámara	1kg

Fuente: Elaboración propia

Se tiene un peso aproximado de 4.5 kg; sin embargo, se debe de considerar que existen componentes adicionales y es una buena opción considerar un empuje considerablemente mayor para poder controlar mejor el dron. El 4.5 kg de peso no es una cifra pequeña para el peso de la batería, cámara y un gran fuselaje; por ello, se deberán de utilizar motores adecuados.

En la siguiente tabla se comparan los motores (ver Tabla 14)

Tabla 14. Comparación de motores

Características	Foxtech Motor S3508[101] 	Antigravity MN2806 [102] 	Antigravity MN5008 KV340 [103] 
KV	380 KV	400 KV	340 KV
empuje máximo	1300 g	958 g	3556 g
empuje al 50%	< 650g	344 g	1224 g
Voltaje	22V	23V	23V
peso	87 g	110g	200g
diámetro	42 mm	35 mm	56 mm
Corriente al 50%	3.5 A aprox	1.32 A	5.33 A

Fuente: Elaboración propia

Algunas recomendaciones comunes de drones indican que a la mitad de potencia(throttle) el dron debe de ser capaz de generar un empuje mayor que el peso. Con ello, al aumentar el throttle tendrá la posibilidad de cambiar velocidades de manera más cómoda.

$$E_{\text{Min}50\%} = M \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$E_{\text{Min}50\%} = 4.5 \text{ kg}$$

Al usarse 4 motores se calculan los empujes que se darían en conjunto. (ver Tabla 15)

Tabla 15. Comparación de características de motores

Característica	Foxttech Motor S3508[101]	Antigravity MN2806 [102]	Antigravity MN5008 KV340 [103]
empuje máximo	5200 g	3832 g	14 224 g
empuje al 50%	< 2600g	1376g	4.896 g

Fuente: Elaboración propia

En ello se puede ver que los únicos motores capaces de cargar el peso que tendrá el dron son el Foxttech Motor S3508 y el T-motor Antigravity MN5008 KV34. Sin embargo, el único que cumple con los requerimientos es el Antigravity MN508 KV340 porque provee un empuje mayor al del peso del dron incluso al 50%. Luego, para asegurarse, se hace un análisis de consumo de corriente. (ver Tabla 16)

Tabla 16. Comparación de consumo de motores

Característica	Foxttech Motor S3508 [101]	Antigravity MN2806 [102]	Antigravity MN5008 KV340 [103]
corriente	3.5 A aprox	1.32 A	5.33 A
Voltaje	22V	23V	23V

Fuente: Elaboración propia

Todos trabajan con un valor de voltaje similar al que provee la batería elegida de 22.2V. Además, como se puede notar, la corriente consumida por el T-motor Antigravity MN5008 KV340 no sobrepasa la corriente que puede entregar la batería.

Por ello, se elige usar el T-motor Antigravity MN5008 KV340. Se puede inspeccionar más datos en su dominio web y en las Figuras 33 y Figura 34.

Propeller	Throttle	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)	RPM	Torque (N*m)	Thrust (g)	Efficiency (g/W)	Operating Temperature (°C)
T-MOTOR P17*5.8" CF	40%	23.47	2.88	68	3057	0.16	776	11.5	61
	45%	23.43	3.98	93	3443	0.19	986	10.56	
	50%	23.38	5.33	125	3835	0.24	1224	9.82	
	55%	23.33	6.86	160	4191	0.28	1455	9.09	
	60%	23.27	8.53	199	4511	0.34	1697	8.55	
	65%	23.21	10.38	241	4808	0.38	1936	8.03	
	70%	23.15	12.40	287	5097	0.42	2176	7.58	
	75%	23.08	14.71	339	5392	0.48	2440	7.19	
	80%	23.00	17.16	395	5674	0.53	2701	6.85	
	90%	22.82	23.18	529	6230	0.65	3277	6.2	
	100%	22.72	26.39	600	6482	0.69	3556	5.93	

Figura 33. Tabla de valores para el motor Antigravity MN5008 KV340
Fuente: T-motor

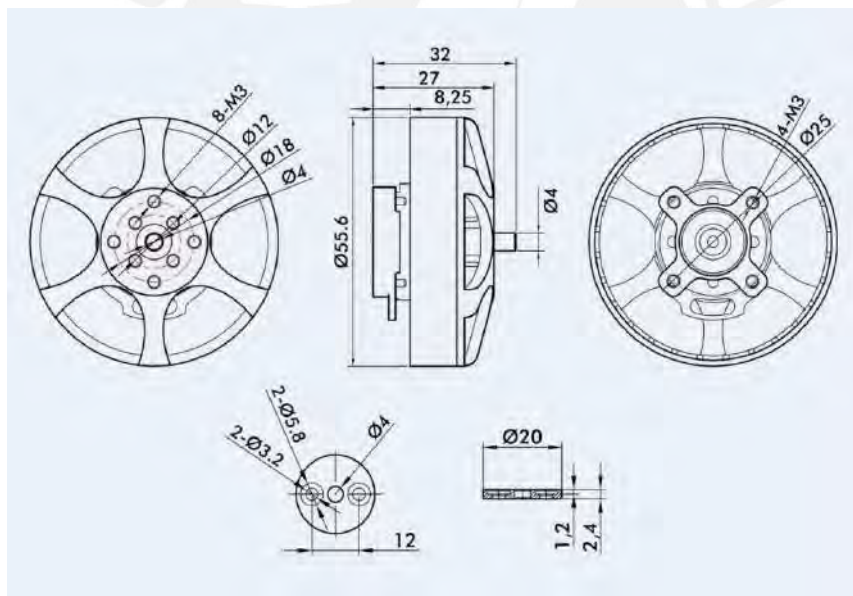


Figura 34. Dibujo mecánico del motor Antigravity MN5008 KV340
Fuente: T-motor

5. CAPÍTULO V: DESARROLLO SISTEMA MECÁNICO

5.1 Fuselaje o Chasis

El fuselaje es la parte del dron que soporta y acomoda la disposición de componentes que se usará en el vehículo aéreo. Pueden ser de diferentes geometrías y características. Gracias al diseño del fuselaje, se pueden dividir los principales drones como drones de ala fija y drones multicopteros (ver figura 35).



Figura 35. Dron de ala fija A. Fuente: ElVuelodeldron



Figura 36. Dron multicopter. Fuente: ElVuelodeldron

Entre los drones multicopteros (ver Figura 36) se debe de considerar el peso y la estabilidad que se desea tener el dron. Por ello, si se desea un dron mucho más estable, más grande y que pueda cargar más peso, se puede elegir un dron hexacóptero.

Para este caso, se necesita un dron con características industriales lo suficientemente estable como para realizar trabajos de agricultura de precisión. Además, debe de ser compatible con las dimensiones de las piezas. Especialmente debe de ser compatible con los motores y ser capaz de soportar el peso deseado.

5.1.1 Brazos

Los brazos cortos mejoran la movilidad del dron, mientras los brazos más largos aumentan su estabilidad. Por lo tanto, la elección de la aeronave adecuada para una determinada misión será dependiente en gran parte de la medida longitudinal de los brazos. Además, los brazos del dron deben ser lo suficientemente resistentes para soportar impactos, pero al mismo

tiempo deben de ser adecuados con la mayor medida con la aerodinámica de la aeronave. Por ello, un material bastante usado para los brazos es la fibra de carbono (ver Figura 37 y Figura 38). A continuación, se mostrará una ecuación y un cálculo para mostrar la gran resistencia en la fibra de carbono. Considerando la resistencia a la tracción máxima de la fibra de carbono 3K ($S_{\text{Max Tracción}} = 4370 \text{ MPa}$).

$$S_{\text{Max Tracción}} / A = F_{\text{Max Tracción}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

S: Esfuerzo máximo de tracción

F=Fuerza máxima de tracción

A=Área

Asumiendo un tubo de 50mm de diámetro exterior y 5mm de espesor

$$A = \pi \times e \times (d-e) \quad (\text{Ecuación 3})$$

A=Área

e=espesor

d= diámetro exterior

$$F_{\text{Max Tracción}} = 4370 \text{ MPa} / 70.684 \text{ mm}^2 = 6.1825 \times 10^{13} \text{ N}$$



Figura 37. Tubos de fibra de carbono
Fuente Amazon



Figura 38. dron con brazos de fibra de carbono
Fuente Hispadrones

5.2 Diseño del fuselaje

En el diseño del fuselaje se tienen que tener en consideración las dimensiones y pesos de los componentes del dron. Las principales consideraciones son las siguientes:

5.2.1 Batería del dron

Se puede ver las dimensiones de la batería escogida en la Figura 39.



Figura 39. Dimensiones de batería para el dron
Fuente: Foxtech

5.2.2 Controlador del dron

Se puede ver las dimensiones del controlador escogido en la Figura 40.



Figura 40. Dimensiones del controlador Pixhawk 4
Fuente: Elaboración propia

Los demás componentes electrónicos se pueden obviar porque son cables o componentes de tamaños muy pequeños que pueden disponerse de manera bastante flexible.

5.2.3 Primera iteración del diseño del cuerpo central del fuselaje

Se propone un soporte para el cuerpo central del dron considerando principalmente las dimensiones de la batería. (ver Figura 41)

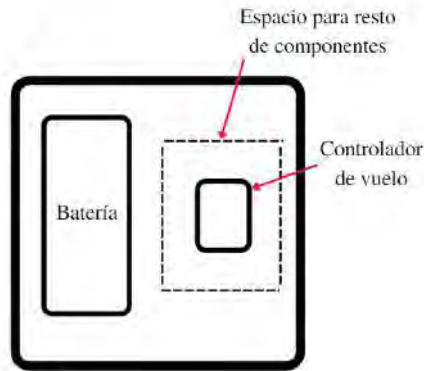


Figura 41. Primera iteración de cuerpo central del dron
Fuente: Elaboración Propia

No se puede poner el controlador justo debajo o encima de la batería por razones de seguridad. El poner la batería hacia un lado y no al centro, crea una es una disposición no muy estable.

5.2.4 Primera iteración del diseño del cuerpo central del fuselaje

Se separa un espacio para la batería y otro espacio para colocar los componentes electrónicos faltantes para obtener un mayor orden, estabilidad y seguridad (ver Figura 42). Además, al existir una plataforma superior, permite colocar el GPS de una mejor manera sin correr el riesgo de que la batería pueda tumbarlo (la base del GPS es bastante frágil y alargada).

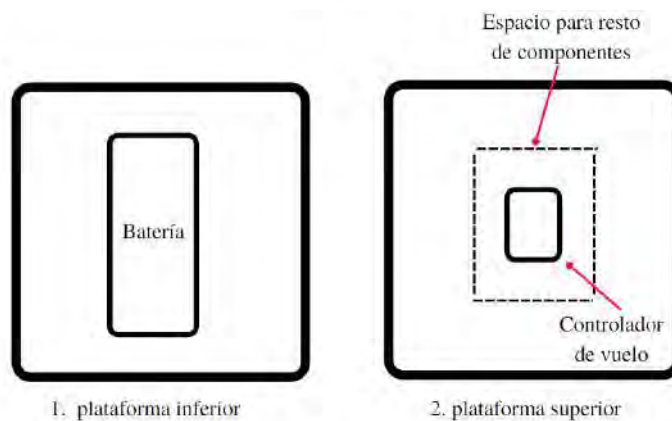


Figura 42. Segunda Iteración
Fuente: Elaboración propia

5.2.5 Diseño del cuerpo central del dron en 3D

El cambio que se realiza ahora es que el cuerpo central resultaría bastante grande si es más grande que la mayor dimensión de la batería(batería de 200 mm de largo aproximadamente).

No es completamente necesario que toda la batería esté dentro de la estructura central. Se propone que la mayor parte de la batería esté en contacto con el fuselaje del dron. Así se mejoran las dimensiones, pesos y capacidades aerodinámicas del dron.

Por último, se decide usar un material de fibra de carbono para el cuerpo del dron por las propiedades de resistencia y ligereza. Para hacer el diseño de la tercera iteración se utilizó la herramienta computacional de diseño Inventor(ver Figura 43).



Figura 43. Tercera Iteración cuerpo central del dron. Fuselaje de Fibra de Carbono, Batería(negro), Controlador (gris). Fuente: Elaboración propia

5.3 Brazos del fuselaje

Al usar la tabla de recomendaciones [104], cómo se usará una batería Lipo de 6s mayor a 3300 mAh, se elige un fuselaje **mayor a 500mm**.

Sin embargo, el fuselaje elegido debe de ser de un **material liviano** pero lo suficientemente **resistente** como para cargar el peso y ser rígido.

Tabla 17. Recomendaciones para tamaño de dron

Frame Size	Prop Size	Motor Size	Motor KV	Lipo battery
120mm or smaller	3 inch	1104 - 1105	4000KV+	80-800mAh 1s/2s
150mm - 160mm	3-4 inch	1306 - 1407	3000KV+	600-900mAh 2s/3s
180mm	4 inch	1806 - 2204	2600KV+	1000-1300mAh 3s/4s
210mm	5 inch	2204 - 2206	2300KV-2700KV	1000-1300mAh 3s/4s
250mm	6 inch	2204 - 2208	2000KV-2300KV	1300-1800mAh 3s/4s
330mm - 350mm	7, 8 inch	2208 - 2212	1500KV-1600KV	2200-3200mah 3s/4s
450mm - 500mm	9,10,11 inch	2212 - 2216	800KV-1000KV	3300mAh 4s or +

Fuente: [104]

Las dimensiones de los brazos deben hacer que el dron sea bastante estable en el aire. Pero no deben ser excesivamente largos por razones de resistencia y geometría. Por ello, se proponen unas dimensiones aproximadas para los brazos del dron (ver Figura 44).



Figura 44. Dimensiones aproximadas del brazo del dron
Fuente: Elaboración propia

5.3.1 Análisis de esfuerzos para los brazos

Se asumen valores de carga y empuje altos para poder realizar un análisis más seguro. Se asume que el dron cargará 4.5kg y el empuje de los motores máximo será de 14 kg aproximadamente. Estos valores se dividen entre 4 para analizar un solo brazo en la Figura 45.

Para mayor detalle de las dimensiones, se puede ver los planos del brazo usado en el Anexo G.



Figura 45. Cargas aproximadas para el brazo del dron
Fuente: Elaboración propia

Se asume que la parte que va hacia el centro del dron con una restricción fija y se aplica una fuerza de 116N a la zona donde irá el propulsor para el análisis de estrés del brazo en Inventor (ver Figura 46).

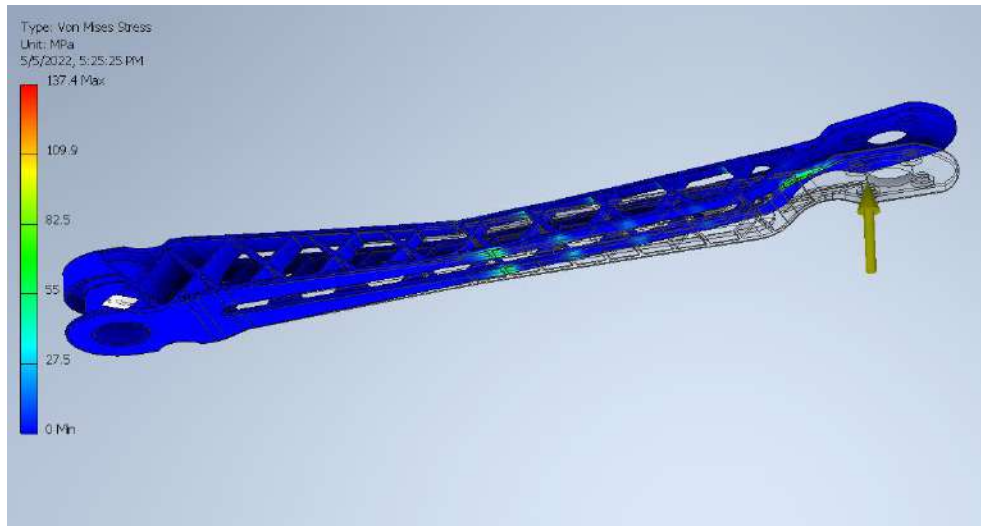


Figura 46. Simulación con fuerza de 25N en el brazo del dron en Inventor
Fuente: Elaboración propia

5.4 Tren de aterrizaje

Se diseñó un tren de aterrizaje que consta de 4 soportes para el dron. El diseño es curvo y es fabricado de aleación de fibra de carbono como se ve en mayor detalle en la Figura 47.



Figura 47. Tren de aterrizaje
Fuente: Elaboración propia

Luego se hizo un cálculo para la fuerza de impacto que sufrirían los soportes al simular una caída de altura del dron. Se considera que el dron pesa 4.5 kg y que caerá desde una altura de 30. 30 metros es la altura mínima recomendada para usar la cámara multiespectral micasense. También se asume que habrá un desplazamiento máximo de 1cm para poder realizar el cálculo de la fuerza de impacto.

$$\text{Energía potencial gravitatoria } W=PE \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$F \times d = m \times g \times h \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$F = m \times g \times h / d$$

$$F = 4.5 \times 9.81 \times 30 / 0.01$$

$$F = 132\,435 \text{ N}$$

Considerando una fuerza aproximada de 100 000 N, se realiza un cálculo de esfuerzos a la pieza en inventor. La fuerza se simula asumiendo una restricción fija en la parte inferior de la pieza para analizar los esfuerzos máximos que se obtendrán.(ver Figura 48)

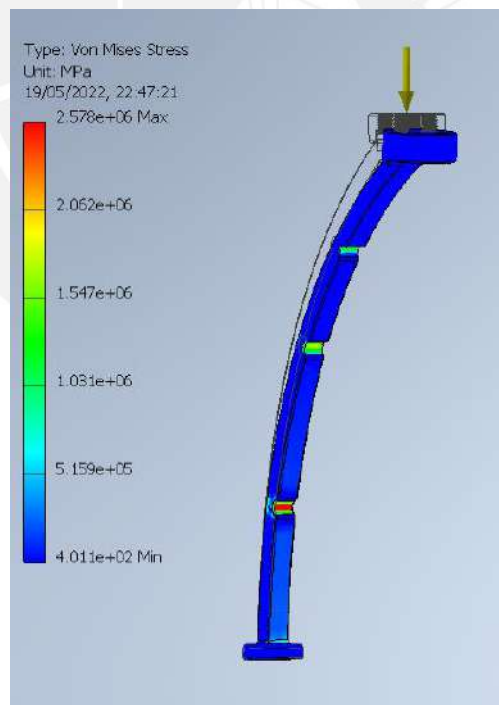


Figura 48. Análisis de estrés del tren de aterrizaje
Fuente: Elaboración propia

5.5 Análisis del dron completo

El diseño final del dron es un diseño bastante simple de un quadcopter. Existen diversos modelos similares y por ello, el diseño en Inventor ha sido basado en el modelo [104]. Se han modificado algunas partes y a continuación se presentan las dimensiones aproximadas del dron diseñado (ver Figura 49) y luego un análisis de esfuerzos en Inventor.

Para ver los planos completos del dron y mayor detalle, referirse al Anexo G.



Figura 49. dimensiones aproximadas del dron
Fuente: Elaboración Propia

Al igual que para los brazos, se asume que el dron cargará 4.5kg y el empuje de los motores será de 14 kg aproximadamente. Esto se puede ver mejor representado en la Figura 50.

Para mayor detalle de las dimensiones, se puede ver los planos del dron usado en el Anexo G.



Figura 50. Cargas aproximadas para el dron
Fuente: Elaboración propia

En la simulación en Inventor se consideran restricciones fijas para las zonas donde van los motores y una fuerza de 100N en la parte central fuselaje(ver Figura 51)

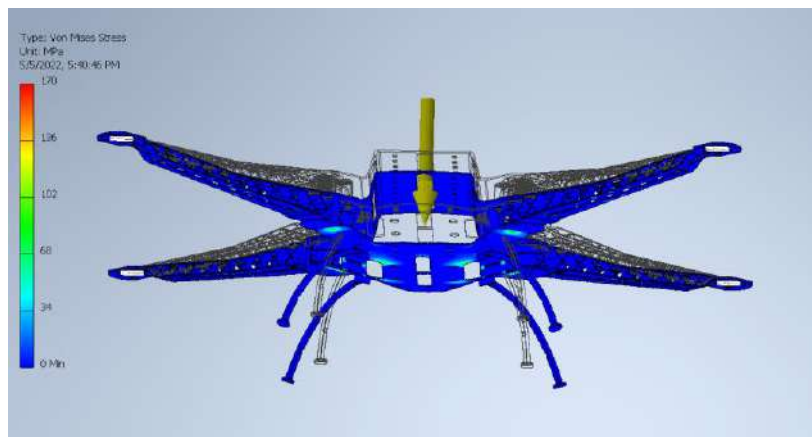


Figura 51. Simulación de esfuerzos para el dron completo en Inventor
Fuente: Elaboración propia

Del gráfico se ve que los esfuerzos máximos generados por el peso en el cuerpo principal son mucho menores que la resistencia que tiene la fibra de carbono.

Como es de esperarse, las partes de las uniones son las más afectadas. A pesar de cargar la mayor parte del peso, la parte central no es la sección que más se deforma ya que se considera una fuerza distribuida de 463N en toda la superficie.

5.6 Disposición final de los componentes

La Figura 52 muestra el cómo irían los elementos en la disposición final propuesta para el dron. Además, se puede ver más imágenes en diferentes ángulos de la disposición final del dron en el Anexo D.



Figura 52. Simulación de esfuerzos para el dron completo en Inventor
Fuente: Elaboración propia

5.7 Modelo comercial compatible

Se propone un modelo común bastante comercial que cumple con los requerimientos del diseño de fuselaje [105] (ver Figura 53).



Figura 53. Fuselaje del dron
Fuente: Foxtech

Tabla 18. Características de dron comercial

característica	peso aproximado
Peso	596 g
Material	Fibra de carbono 3K
tamaño	base 610 mm

espacio para batería	145 x 100 x 65
tamaño compacto	285 x 285 x 175mm
propulsor / propeller	1552 folding propeller



Figura 54. Medidas del fuselaje compacto del dron
Fuente: Foxtech

5.8 Diseño de componentes

Se muestran en la Figura 55,56 y 57 representaciones isométricas de los componentes como el gimbal, cámara multispectral, cámara térmica. Para mayor detalle, de los diseños y planos, ver el Anexo G.

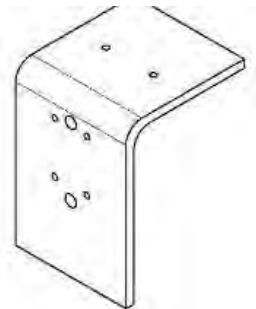


Figura 55. Adaptador para cámara térmica

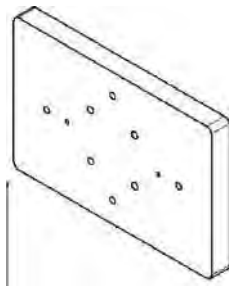


Figura 56. Adaptador cámara multispectral

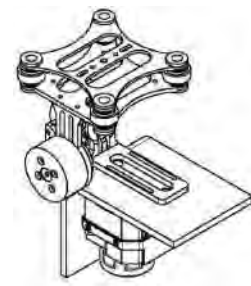


Figura 57. Ensamble gimbal, adaptador y cámara térmica

6. CAPÍTULO VI: CONEXIONES ELECTRÓNICAS FINALES

6.1 Diseño del conector común para las cámaras.

Se propone crear una conexión común para poder conectar rápidamente de manera intercambiable las cámaras. Si se desea usar la cámara multiespectral, solo se conectará a un hub común sin necesidad de tomar el tiempo de conectar cada pin y ser minucioso en qué conexiones se harán. De la misma manera será con la cámara térmica que con solo conectar al hub universal, la cámara se conectará rápidamente. El diseño propuesto está basado en el Spectre de Nuvem UAV[106]. Se puede apreciar cómo sería el conector en la Figura 58.

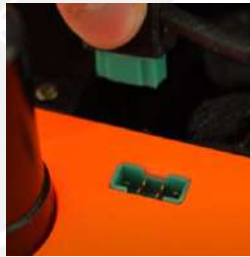


Figura 58. Hub común
Fuente: Youtube

Con el objetivo de diseñar este conector, se deben considerar las conexiones que tienen la cámara multiespectral y la cámara térmica en el controlador.

La cámara térmica Flir Vue Pro necesita los siguientes conectores:

- Dos auxiliares (2 trigger y 2 ground)
- Telem(solo 3 conexiones)
- Batería con esc(2,3 conexiones)

La cámara multiespectral Micasense necesita los siguientes conectores:

- 1 auxiliar (3 conexiones)
- Batería con ESC (2 conexiones)

6.1.1 Conexiones hacia controlador

Las conexiones que se harían en el controlador **pixhawk** serían las siguientes (ver Tabla X):

Tabla 19. Conexiones hacia controlador

Conexión	descripción
anaranjado	aux 1 trig
negro	aux 1 gnd
rojo	aux 1 vcc
azul	aux 2 trig
negro	aux 1 gnd
rojo	aux 2 vcc
blanco	Telem 1 RX
verde	Telem 1 TX
negro	Telem 1 GND

Fuente: Elaboración propia

6.1.2 Conexiones en Flir Vue Pro

Se creará un conector que ya junte los cables del micro USB que se utilizan para energizar la cámara y los cables COMM que se conectan al pixhawk. La salida de la cámara tiene 10 conexiones que se ven en la tabla. (ver Tabla 20 y Figura 59)

Tabla 20. Conexiones hacia cámara térmica

n° conexión	descripción
anaranjado	aux 1 trig
negro	aux 1 gnd
rojo	aux 1 vcc
azul	aux 2 trig
negro	aux 2 gnd
blanco	Telem 1 RX
verde	Telem 1 TX

negro	Telem 1 GND
Micro USB (de corriente)	
rojo	VCC esc
negro	GND esc

Fuente: Elaboración propia

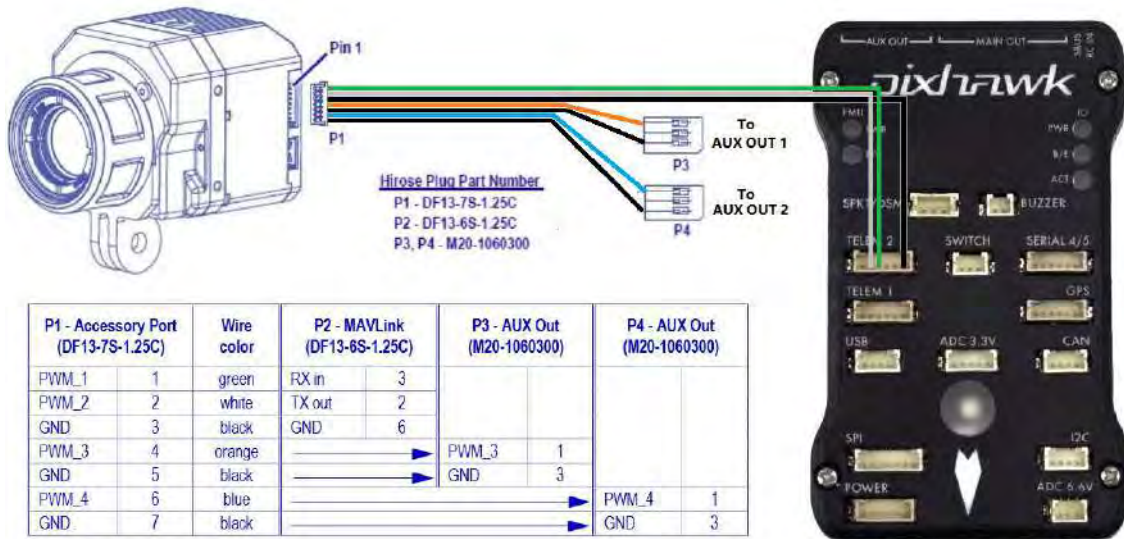


Figura 59. Conexiones de Flir Vue Pro a Pixhawk4

Fuente: Ardupilot

Por lo tanto, compartiendo el GND para la batería y para cada auxiliar, la manera más simplificada y óptima que tomaría el conector sería la siguiente (ver Figura 60):

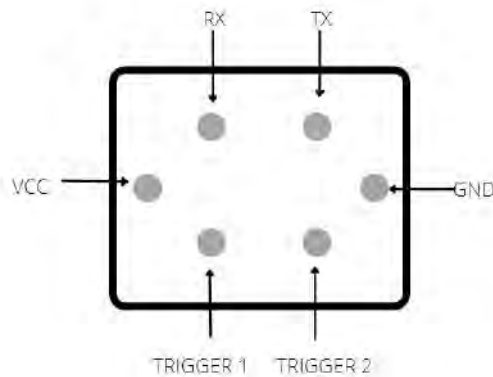


Figura 60. Salida hacia el Hub común para cámara térmica

Fuente: Elaboración propia

6.1.3 Conexiones en Micasense RedEdge.

Se creará un conector que ya junte los cables de alimentación desde la batería para energizar la cámara y los cables que normalmente se conectan al Pixhawk. (ver Tabla X).

Tabla 21. Conexiones hacia cámara multispectral

Nº conexión	descripción
anaranjado	aux 1 trig (NECESITA UN TRIGGER)
negro	no conectado (aux 1 gnd)
rojo	no conectado (aux 1 vcc)
azul	no conectado (aux 2 trig)
negro	no conectado (aux 2 gnd)
blanco	no conectado (Telem 1 RX)
verde	no conectado (Telem 1 TX)
negro	no conectado (Telem 1 GND)
Micro USB (de corriente)	
rojo	VCC esc
negro	GND esc

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, compartiendo el GND para la batería y para cada auxiliar, la manera más simplificada y óptima que tomaría el conector sería la siguiente (ver Figura 61):

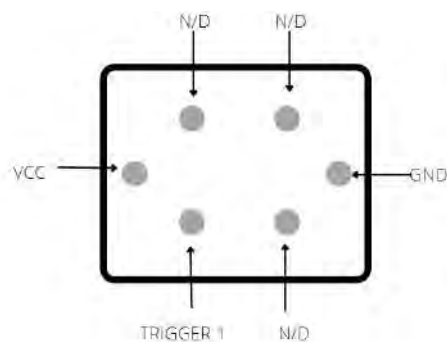


Figura 61. Salida hacia el Hub común de cámara multispectral

Fuente: Elaboración propia

6.2 Esquemas finales de las todas las conexiones

Este apartado se presenta figuras para representar de una manera más cercana a la realidad sobre cómo se harían las conexiones del hub común hacia el controlador y de las cámaras hacia el hub común.

6.2.1 Conexión de Hub hacia Pixhawk

A continuación, se muestran las conexiones desde el hub común hacia el Pixhawk (ver Figura 62). En este paso se conectan todas las seis conexiones del hub hacia el TELEM, Auxiliar 1 y Auxiliar 2 del Pixhawk.

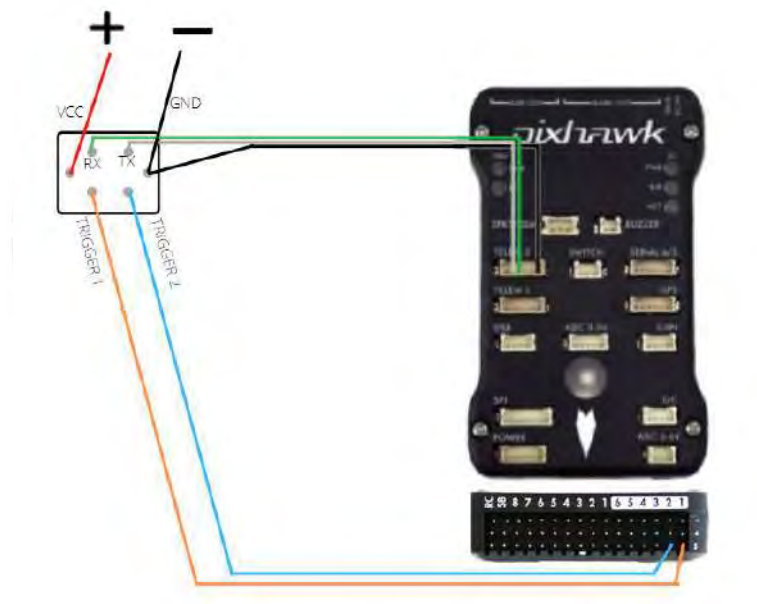


Figura 62. Conexiones del Hub común hacia el Pixhawk
Fuente: Elaboración propia

6.2.2 Conexión para cámara multiespectral

A continuación, se muestran las conexiones desde la cámara multiespectral hacia el hub común (ver Figura 63).

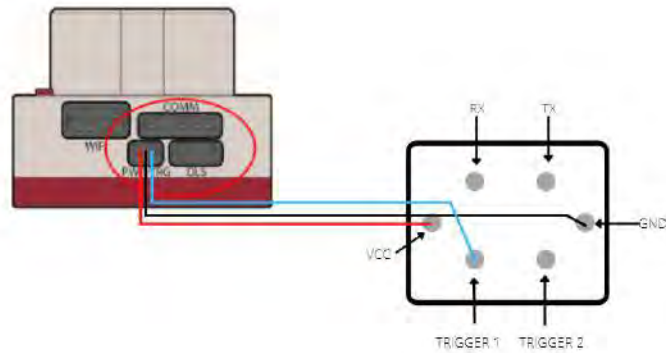


Figura 63. Conexiones de la cámara multispectral hacia el Hub común
Fuente: Elaboración propia

6.2.3 Conexión para cámara térmica

A continuación, se muestran las conexiones desde la cámara térmica hacia el hub común (ver Figura 64).

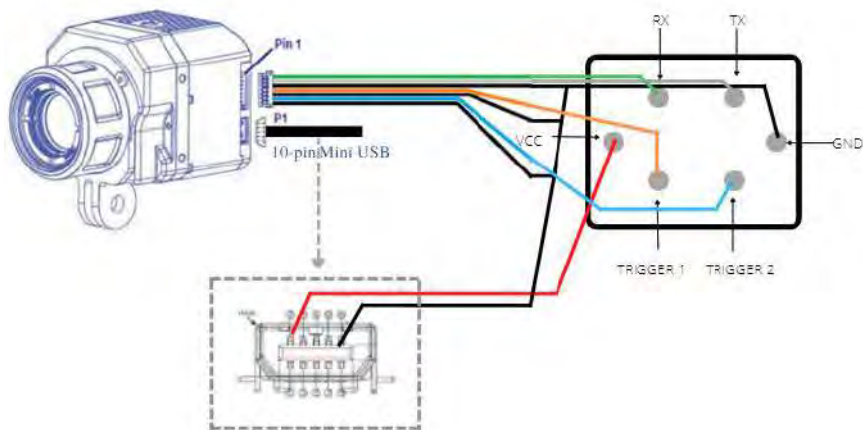


Figura 64. Conexiones de la cámara térmica hacia el Hub común
Fuente: Elaboración propia

6.3 Consumo total energía

Se debe de realizar un cálculo de consumos de energía para poder saber el tiempo de vuelo del dron. Este cálculo debe de involucrar los componentes electrónicos y mecánicos.

Se asume el uso de la batería Foxtech de 6S [99] con 10 000 mAh y 22.2V. Los componentes y los respectivos consumos se presentan en la Tabla 22.

La batería es capaz de dar 250 A pero es una descarga instantánea. Por ello, unas mejores medidas para medir la autonomía y la capacidad de entregar energía es a través de los **mAh** y del consumo en **Watts**. Se consideran los motores al 50% del *throttle* porque no se usará la máxima potencia a todo momento. Considerándolos al 50% refleja un resultado de tiempo de vuelo más fiel a lo que se tendrá en la aplicación (ver Tabla X).

Tabla 22. Consumo total de energía

parte del dron	corriente max	Voltaje	consumo en Watts
motores	21.2 A	23.38 (x 4 motores)	500W
controlador	entrega 2.25A	4.9 - 5.5V	2.5 W
cámara	2 A	5 V	10 W
gimbal	0.5A	12 V	6W
receptor	2A	4-6.5 V	10W
antena	conectada al controlador		
GPS	conectado al controlador		

Fuente. Elaboración propia

El consumo total de los componentes es el siguiente:

$$P_{\text{Total}} = \sum P_i \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$500W + 2.5W + 10W + 6W + 10W = 528.5 W$$

P_{Total} : Consumo de energía total

P_i : Consumo de energía de cada componente

En la batería es el siguiente:

$$10\,000 \text{ mAh} = 10\text{Ah}$$

$$6 \text{ celdas} = 22.2\text{V}$$

$$10\text{Ah} \times 22.2\text{V} = 222 \text{ Wh}$$

$$222/528.5 = 0.42 \text{ horas}$$

$$= \mathbf{25 \text{ minutos aproximadamente}}$$

El tiempo de vuelo aproximado es de **25 minutos**. Que cumple con un tiempo deseado de aproximadamente 30 minutos. Se debe de considerar que el tiempo de vuelo puede ser mucho mayor, ya que depende del consumo que tengan los motores que pueden variar por el peso de la carga o por cuanta potencia se le indique a los motores que deban usar.

6.4 Diagrama de conexiones electrónicas

A continuación, se muestra el diagrama esquemático de conexiones eléctricas realizado en el software Fusion 360 de autodesk. Se pueden observar los principales componentes como el controlador, módulo de poder, ESC y motores. (ver Figura 65)

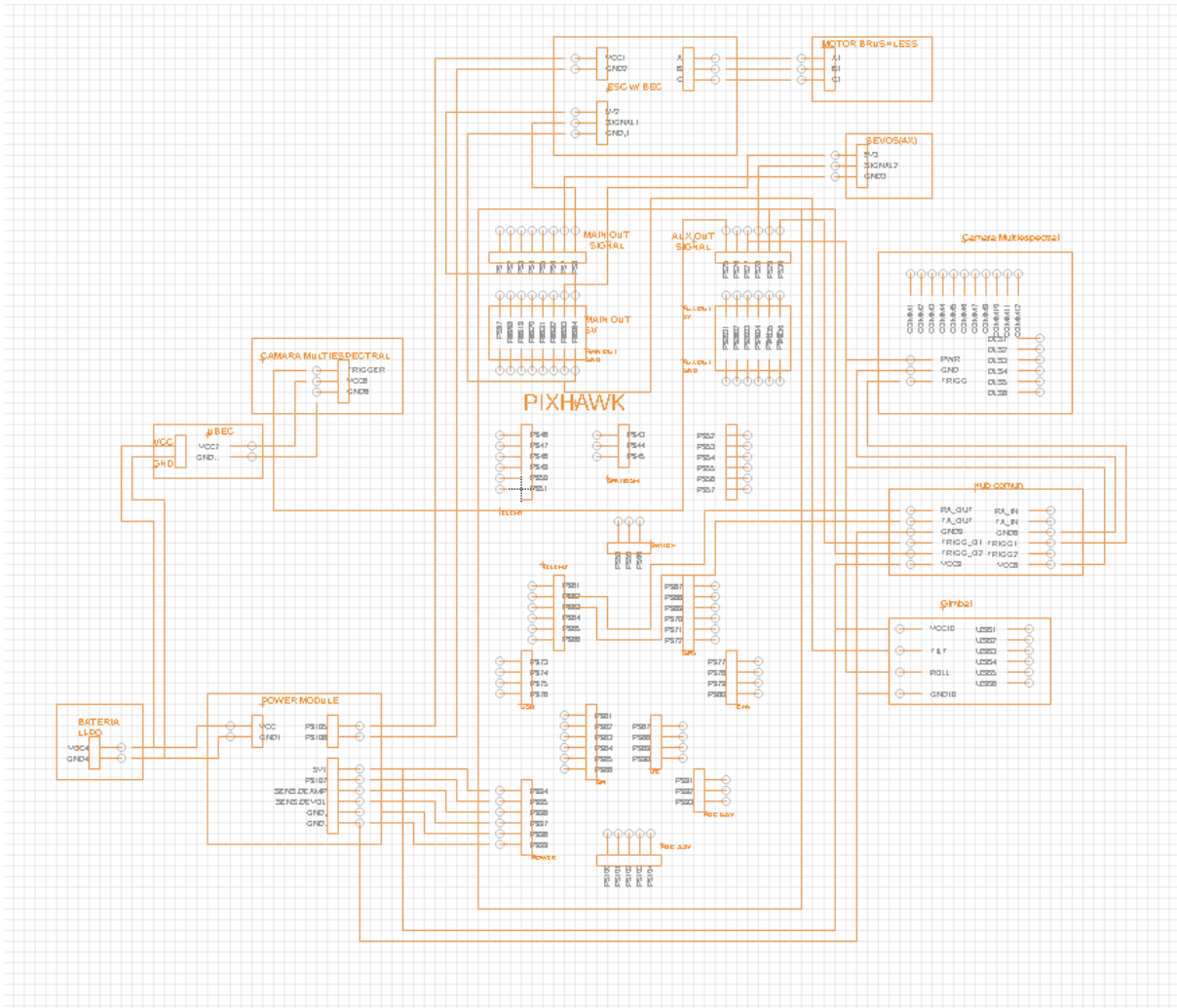
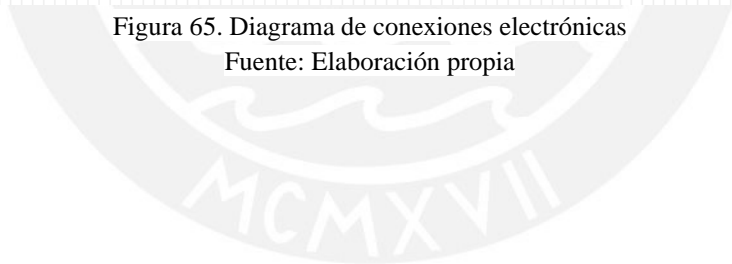


Figura 65. Diagrama de conexiones electrónicas
Fuente: Elaboración propia



7. CAPÍTULO VII: DESARROLLO DEL SISTEMA DE CONTROL

En el siguiente apartado del documento, se mostrará información sobre el sistema de control como la planificación de vuelos, plan de cámara, plan de vuelo y diagramas de control.

7.1 Planificación de vuelos

Debido a que gracias al vuelo se realizará un análisis de agricultura de precisión, se debe de programar y planificar el vuelo lo más adecuado posible. Con el objetivo de realizar una hoja de ruta para el vuelo, es necesario usar un software que sea compatible con el controlador. Cómo se usará un controlador de vuelo Pixhawk, se usará el software Mission Planner para poder planificar todos los parámetros.

El software Mission Planner es un software libre muy completo con una comunidad de desarrolladores bastante activa. Por ello, es una opción ideal para crear planes de vuelo en muchos casos. Se pueden configurar los parámetros de vuelo, control, cámara, entre otros. (ver Figura 66)



Figura 66. Mission Planner Home

Fuente: Ardupilot

7.2 Configuración de parámetros de vuelo y control

La configuración de vuelo se puede realizar sin demasiadas complicaciones en el software gracias al uso del controlador Pixhawk y el software Mission Planner. No es necesario crear ni configurar todos los parámetros de control que el dron podría tener. Existen opciones predefinidas y tutoriales para poder configurar de manera sencilla al dron. El software Mission Planner permite modificar ciertos parámetros de vuelo como la altura del vuelo.

A continuación, se presentan algunos parámetros de la página Ardupilot [107] que se pueden modificar en el software:

- **CONNECT:** Se coloca en la esquina superior izquierda e indica cómo conectar Mission Planner al Ardupilot.
- **DATA:** Brinda información sobre lo que se verá y las cosas que se pueden hacer en las pantallas de Flight Data.
- **PLAN:** Brinda información sobre varios aspectos para preparar los planes de vuelo.
- **SETUP:** Brinda información sobre lo que se puede hacer en las pantallas de SetUp. Especialmente información necesaria para la configuración.
- **CONFIG;** Brinda información necesaria para lo que se pueda configurar o cambiar en las pantallas.
- **SIMULATION:** Cómo se puede usar el simulador de vuelo.
- **HELP:** Cómo obtener ayuda sobre las preguntas sobre Mission Planner
- **Advanced Mission Planner Features:** Para usar las funciones adicionales. Esta sección documenta sobre aquellas funciones.

7.3 Plan de vuelo

Se necesita crear un plan de vuelo para que el dron vuele la zona deseada con precisión. En el software Mission Planner se puede crear un plan de vuelo que irá bastante ligado con el plan

de cámara para obtener las fotos precisas de las zonas que se desee capturar. Creando un plan de vuelo un plan de cámara, se puede obtener el ortomosaico de la zona a inspeccionar. Para crear un plan de vuelo en misión planner, se debe de seguir los pasos mostrados en la Figura 67.

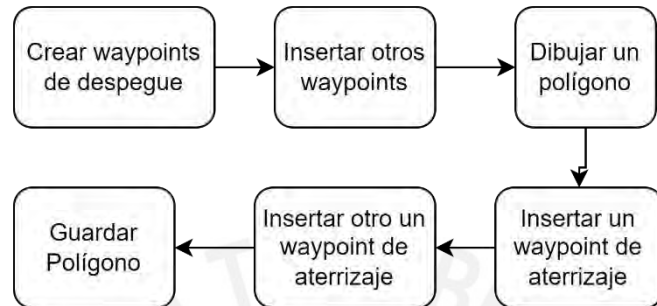


Figura 67. Diagrama para el plan de vuelo
Fuente: Elaboración propia



Figura 68. Ventana de Plan de vuelo
Fuente: Ardupilot

Adicionalmente, se debe de considerar que según la página de micasense, no se recomienda volar a menos de 30 metros para poder capturar las fotos. Lo más recomendado es volar a 120 metros[108], pero se volará el dron a una altura de 100 metros debido a que la normativa impuesta por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones establece como altura máxima 106 metros. Por ello, esta altura se asumirá y con ello se armará el control de vuelo y de cámara.

En el Anexo E se puede ver cómo se ha creado un plan de vuelo con los pasos indicados.

7.4 Plan de cámara

Se debe de automatizar los disparos para obtener fotos precisas. En el software Mission Planner se pueden definir en qué puntos exáctamente se tomarán las fotos [109]. Se debe de considerar que las fotos deben estar lo suficientemente solapadas como para formar un correcto ortomosaico. Si las fotos se encuentran muy alejadas, no se podrá formar una imagen clara y coherente, pero si las fotos están muy juntas, se complicará el procesamiento y se hará mayor trabajo de manera innecesaria.

Una de las ventajas del software Mission Planner es que cuenta con formas de generar los puntos automáticamente (ver Figura 69) y seleccionar configuraciones rápidas y adecuadas para las diferentes cámaras. En la Figura 70 se puede ver cómo es la creación de puntos de paso que puede ser automatizada , mientras que en la Figura 71 se puede notar cómo es el resultado de los puntos escogidos.

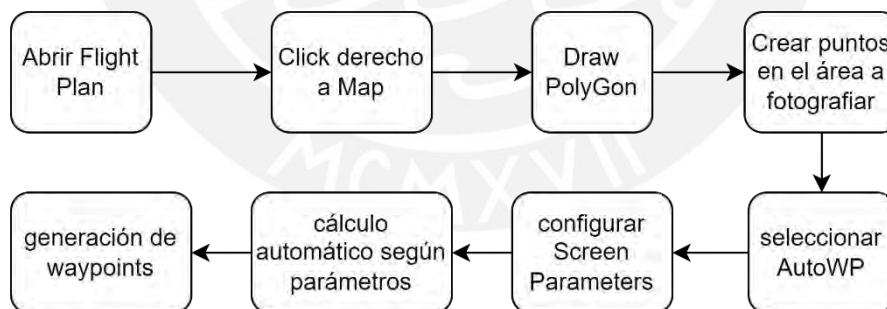


Figura 69. Diagrama de plan de cámara
Fuente: Ardupilot

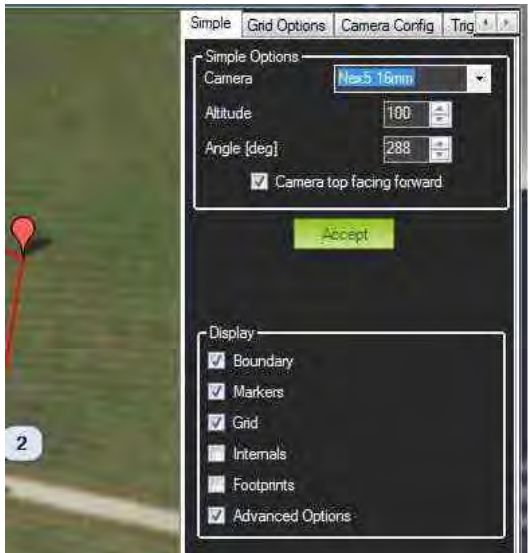


Figura 70. Creación de puntos de paso
Fuente: Ardupilot



Figura 71. Resultado de puntos escogidos. Fuente: Ardupilot

Adicionalmente, en el Anexo E se puede ver cómo se ha creado un plan de vuelo y cámara con los pasos indicados.

7.5 Diagrama de control del dron

El siguiente diagrama (ver Figura 72) muestra qué procedimientos de control debe de analizar el dron para poder realizar una misión de manera correcta.

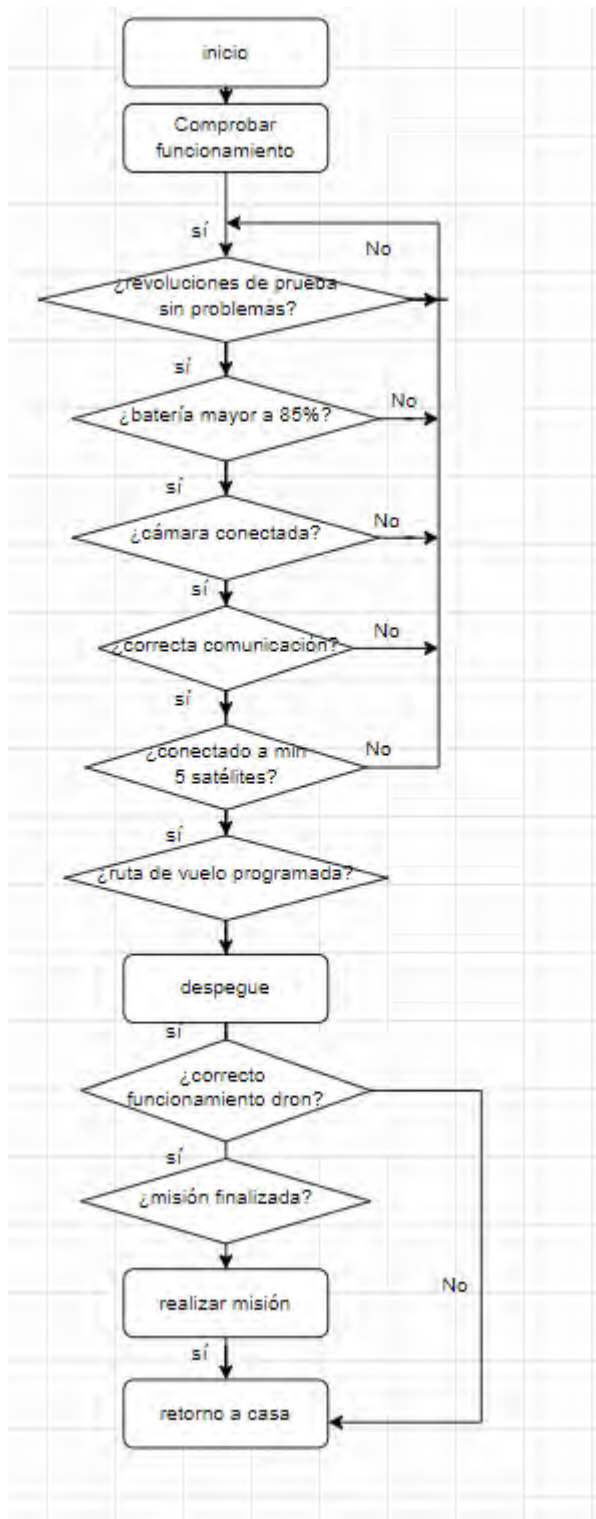


Figura 72. Diagrama de control del dron
Fuente: Elaboración propia

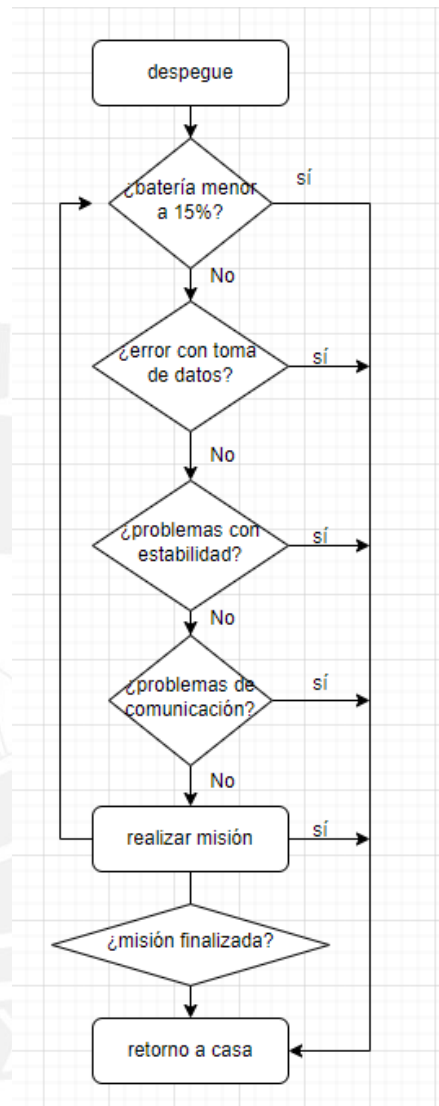


Figura 73. Correcto funcionamiento del dron en la misión
Fuente: Elaboración propia

7.5.1 Correcto funcionamiento del dron en la misión

El siguiente diagrama (ver Figura 73) se centra más en el bucle que debe de seguir el dron al momento de realizar el vuelo para controlar de que no ocurra ningún error en pleno vuelo y pueda realizar la misión de manera correcta.

7.6 Diagrama de control del gimbal

En este apartado se mencionará y mostrará el control necesario del gimbal para poder estabilizar a la cámara. El gimbal debe de estabilizar a la cámara para poder obtener imágenes estables. Además, al usar un gimbal, se puede obtener un mejor procesamiento de las fotos al presentar una inclinación constante.

El gimbal principalmente estabiliza a la cámara gracias al sensor IMU. Dependiendo del ángulo que presenta la cámara, el gimbal puede usar el actuador a través de un encoder rotacional. El IMU indica el ángulo actual y se debe de introducir el ángulo deseado. Una vez obtenido el ángulo, se puede calcular la posición a través de cinemática inversa para poder modificar la posición y cambiar el ángulo. Con ello se puede generar el bucle para poder controlar la posición y estabilizar la cámara a través del gimbal(ver figura 74).

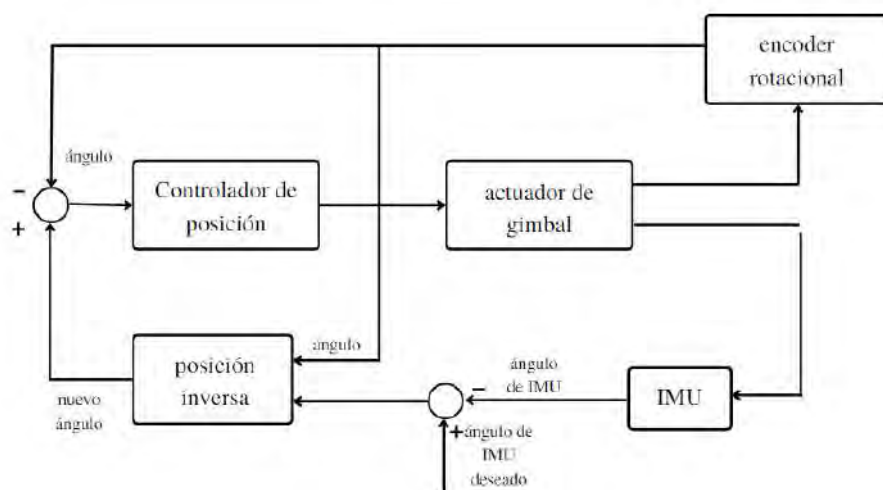


Figura 74. Diagrama de control del gimbal
Fuente: Elaboración propia

8. CAPÍTULO VIII: DESARROLLO DEL SISTEMA CIBER

En este apartado se desarrollará el sistema ciber basado en una arquitectura de software guiada por la metodología ADD. Más adelante se podrá visualizar los componentes específicos en AWS de la arquitectura.

8.1 Arquitectura de Cloud Computing

En este apartado se definirá la arquitectura de software a través de iteraciones. El diseño de la arquitectura fue influenciado por los modelos propuestos en [110] y [111].

8.1.1. Primera iteración

Usando la información definida en la sección 2.9. Se comenzará un proceso iterativo que define las entradas como “drivers” para la arquitectura del sistema con computación en la nube.

Paso 1: Verificación de los registros

Los drivers en la arquitectura fueron definidos en la sección 2.9. Se definieron los requerimientos del sistema ciber en la siguiente table. (Ver Tabla 32)

Tabla 23. Descripción de los drivers arquitecturales

Categoría	Descripción		
Propósito de diseño	Elaborar una arquitectura simple que se pueda definir en una iteración que sea escalable y cumpla con el propósito de diseño para el reconocimiento de salud vegetal.		
requerimientos funcionales primarios	Los casos han sido detallados en la Tabla 10. Los casos se consideran primarios porque están relacionados con el propósito del documento.		
Escenarios de atributos de calidad	Los casos han sido detallados en la Tabla 10. Los escenarios de atributos de calidad se evalúan acorde a la relevancia su que provee la persona y las complicaciones para su puesta en marcha.		
	At. de calidad	Relevancia	Complejidad
	QA-1	Alta	Media

	QA-2	Alta	Media
	QA-3	Alta	Media
	Los contextos de requerimientos de calidad se consideraron como <i>drivers</i> .		
Restricciones	Las limitaciones en conjunto se detallan en la Tabla 5 que fueron seleccionados como <i>drivers</i> .		
Preocupaciones arquitecturales	Las limitaciones en conjunto se detallan en la Tabla 6 que fueron seleccionadas como <i>drivers</i> .		

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Definir la finalidad de la iteración mediante la elección de los impulsores clave

La primera iteración resolverá la preocupación de la arquitectura CRN-1. Se toma en cuenta los siguientes *drivers* que influyen para poder resolver la preocupación:

- CON-2: Usar una instancia EC2.
- CON-3: Usar un buscador para ingresar a la estructura
- QA-1: Productividad.
- QA-2: Ampliabilidad.
- QA-3: Accesibilidad.

Paso 3: Elegir las partes que serán mejoradas

La estructura en conjunto será mejorada, especialmente porque es la iteración número 1.

Paso 4: Cumplimiento de los drivers a través de elementos del diseño

Se muestra el cumplimiento de algunos *drivers* a través de elementos del diseño en la Tabla 33.

Tabla 24. Cumplimiento de los drivers a través de elementos del diseño - Iteración 1

Decisiones de diseño y alojamiento	Rationale
Establecer una arquitectura basada en niveles	Dado que el sistema requiere que se utilice una instancia EC2 y pueda procesar los datos a través de un software de procesamiento y fotogrametría, se define: 1. Nivel de recolección de datos (UC-1). El sistema deberá ser capaz de utilizar los datos recolectados obtenidos por el sistema físico. Principalmente se obtendrán datos en forma de imágenes. Al usarse una instancia EC2, es similar al uso de una computadora normal y los datos sí son compatibles para estar posteriormente disponibles y almacenados. Por lo tanto, esta capa se relaciona con el QA-3.

<p>2. Capa de procesamiento de datos, La capa de procesamientos debe ser capaz de procesar imágenes de una forma similar al artículo [112]. Adicionalmente debe ser capaz de pausarse y por ello está relacionada con el QA-3.</p> <p>3. Se podrán ejecutar los procesos detrás del software instalado para el análisis de datos gracias al nivel de Monitoreo. Esta capa se relaciona con el caso de uso UC-3 porque se encargará de procesar los datos. Se debe de considerar el atributo QA-1 para poder procesar un mínimo de imágenes. Además, el QA-2 asegura que la instancia es lo suficientemente capaz de realizar el procesamiento.</p> <p>4. Nivel de presentación, se deberá configurar un recurso de (UC-4) visualización y que además permita que los datos estén disponibles en otro momento para su visualización (QA-3).</p>	
alternativa	Motivo de descarte
Microservicios	Requiere personas con capacidades en tecnologías de red. El proyecto considera a una única persona encargada del servicio.
Data Lake	Es bastante compleja por el hecho de ofrecer múltiples servicios al mismo tiempo. La persona encargada no cuenta con la suficiente experiencia.
Pipe and filters	Requiere personas capacitadas en tecnologías de red. El proyecto considera a una única persona encargada del servicio.

Fuente: Elaboración Propia

Paso 5: Desplegar unidades de la arquitectura, especificar responsabilidades e interfaces

En la Tabla 34 se podrán ver las decisiones de diseño aplicadas.

Tabla 25. Decisiones de diseño - Iteración 1

Especificaciones de diseño y alojamiento	Rationale	
Implementar el uso del software de fotogrametría Open Drone Map	El software Open Dron Map es un software de instalación simple para una instancia virtual en la nube. La mayoría de los otros software están hechos para computadoras comunes. Sin embargo, Open Drone Map se puede usar en servidores y especialmente en distribuciones Linux. Posee una forma para utilizar únicamente líneas de comando y es relativamente simple de automatizar.	
	Alternativas	Motivo de descarte
	GeoDjango	No cumple con CON-1
	Leaflet	No cumple con CON-1
Implementar una instancia EC2 capaz de ser controlada de manera remota y ser mostrada por un navegador web	El usar una instancia EC2 cumple con los 3 atributos de Calidad QA-1 , QA-2, QA-3. El uso de Amazon web service permite el control de manera remota a través de un navegador web.	

Fuente: Elaboración Propia

Paso 6: Esbozar dibujos preliminares y documentar las elecciones de diseño.

En la Figura 75 se esbozan dibujos preliminares y se documenta las elecciones del diseño.

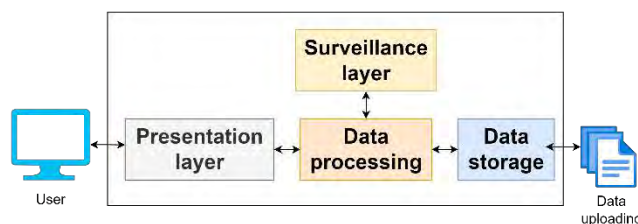


Figura 75. Representación de la primera iteración del sistema

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 26 describe los elementos y las responsabilidades correspondientes para el sistema.

Tabla 26. Elementos de arquitectura diseñada

Elemento	Responsabilidad
Capa de recolección de datos	Se encarga de reunir todos los datos desde la parte física y enviarlos al nivel de almacenamiento.
Capa de almacenamiento de datos	Se encarga de almacenar los detalles en las bases de datos de la instancia. Luego, la información se pasará a la capa de monitoreo.
Capa de Monitoreo	Se encarga del procesamiento de datos a través de un software instalado previamente. El mismo software llevará al nivel de presentación.
Capa de presentación	Es encargado de mostrar el análisis realizado. El software es capaz de mostrar los datos procesados.

Fuente: Elaboración propia

Paso 7: Revisar el modelado actual, evaluar la meta de la iteración y comprobar el cumplimiento del propósito.

Se usó el patrón de una arquitectura de referencia por lo que no fue necesario tomar muchas complicaciones. Con esta primera iteración, se permitió realizar de manera completa los UC1, UC2, UC3 y UC4. Se puede ver en la Tabla 27 las decisiones del diseño para esta iteración.

Tabla 27. Decisión de diseño para iteración

User Case realizado	Decisión de diseño en la presente iteración
---------------------	---

UC-1	Se toma en cuenta la compatibilidad de una instancia EC2 como una máquina virtual para la recolección de compatibilidad de los datos.
UC-2	Se utiliza la memoria que provee la instancia como una forma de almacenar los datos para su posterior procesamiento.
UC-3	Se instala un software de procesamiento y fotogrametría para poder realizar análisis de datos.
UC-4	El software debe de ser compatible con la instancia y debe ser capaz de mostrar los datos al usuario.

Fuente: Elaboración propia

8.1.2 Segunda Iteración

Debido a que no se cumplieron todas las expectativas para la arquitectura, se procede con una segunda iteración.

Paso 1: Verificación de los registros

Los drivers arquitecturales fueron definidos en las secciones 2.9.1, 2.9.2, 2.9.3 y 2.9.4.

Paso 2: Definir la finalidad de la iteración mediante la elección de los impulsores clave

Esta iteración incluirá el método de comunicación entre AWS y los sistemas físicos. Se considerará en esta iteración los criterios que no fueron totalmente completados en la primera iteración.

Paso 3: Elegir las partes que serán mejoradas

En esta iteración se seleccionarán las tecnologías específicas de AWS según las capas.

Paso 4: Cumplimiento de los drivers a través de elementos del diseño

La Tabla 28 muestra los conceptos de diseño presentes en esta iteración

Tabla 28. Cumplimiento de los drivers a través de elementos del diseño- Iteración 2

Decisiones de diseño y alojamiento	Rationale
Comunicación HTTP	A través del protocolo HTTP se permitirá la conexión para cualquier persona conectada a la red.
XaaS model	Se usará el modelo como cualquier cosa como servicio.

Servicios de Monitoreo conectados	Se monitoreará si los recursos asignados son excedidos o si existe algún estado inusual que se deba de notificar.
Backup de la información	Para evitar las pérdidas de información, un servicio de backup será usado.

Fuente: Elaboración Propia

Paso 5: Desplegar unidades de la arquitectura, especificar responsabilidades e interfaces

En la Tabla 29 se podrán ver las decisiones de diseño aplicadas.

Tabla 29. Decisiones de diseño de arquitectura relacionado con tecnologías AWS- Iteración 2

Decisiones de diseño y alojamiento	Rationale
S3 como almacenamiento	La capa de almacenamiento de datos se puede satisfacer usando un contenedor S3. Se usará para almacenar las imágenes, así como requisito de creación del SageMaker Notebook (ambiente de procesamiento). El contenedor S3 almacenará datos como las imágenes, la metadata, el código, los resultados y el procesamiento de Sage Maker.
Route 53	Se usará el servicio de Route 53 para que la capa de presentación sea capaz de ser alcanzada por los usuarios. Básicamente funcionará como un servicio de Sistema de Nombres de Dominio (DNS) escalable que se conectará con internet y con los otros servicios de AWS.
Sage Maker Domain	En la capa de procesamiento y conectada la capa de presentación, Sage Maker Domain hará que los servicios de Sage Maker se conecten a un dominio dado por Route 53. Si bien no almacenará datos o cálculos esenciales, es necesario usarlo en conjunto con el Sage Maker Notebook y Sage Maker Endpoint.
Sage Maker Notebook	En la capa de procesamiento, Sage Maker notebook proveerá un ambiente similar a un Jupyter Notebook. El notebook contendrá la parte más importante del algoritmo de procesamiento usando librerías de geodesia. Contendrá código de Python que lee, procesa y crea los resultados. Especialmente brinda un modelo de clasificación para ser aplicado repetitivamente usando Sage Maker Endpoint.
Sage Maker Endpoint	En la capa de procesamiento, Sage Maker Endpoint es usado para obtener los resultados del modelo generado por Sage Maker Notebook. Se le brindan los datos de entrada y crea el resultado deseado gracias al modelo de clasificación sin necesidad de ejecutar cada línea de código en Sage Maker Notebook.
CloudWatch	En la capa de monitoreo, CloudWatch monitorerá los sevicios y proveerá una herramienta de visualización. Al ver el rendimiento y el uso de los recursos, enviará una alerta si existe un comportamiento inusual como uso excesivo de procesamiento o almacenamiento.
Quantum Ledger Database	En la capa de almacenamiento, Quantum Ledger Database se usará como un backup y será verificado a través de criptografía. No se guardarán todos los datos, sino solo los datos principales como los resultados del procesamiento.

Fuente: Elaboración Propia

Paso 6: Esbozar dibujos preliminares y documentar las elecciones de diseño.

La Figura 76 muestra el esbozo del diseño realizado gracias a las elecciones de modelamiento de la presente iteración.

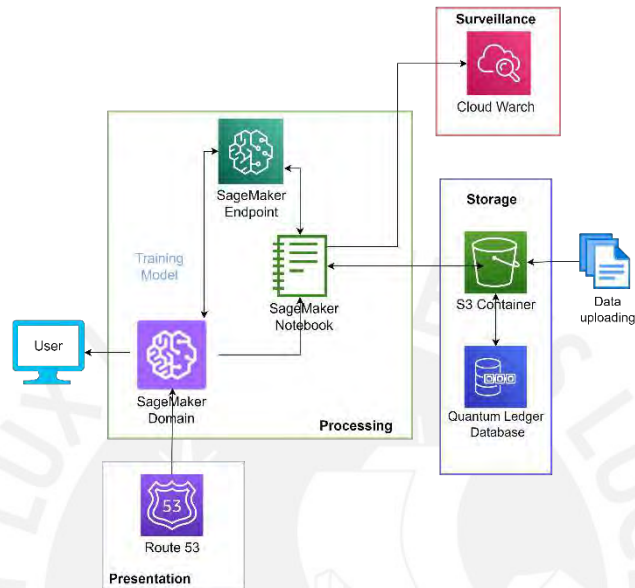


Figura 76. Representación del sistema Ciber
Fuente: Elaboración propia

Paso 7: Revisar el modelado actual, evaluar la meta de la iteración y comprobar el cumplimiento del propósito.

El sistema se considera completo porque se satisfizo todos los atributos propuestos.

8.2 Pruebas de procesamiento de datos en la arquitectura Cloud

La arquitectura cloud comprendía varias capas y fue desarrollada a mayor detalle en la sección 7.1. En resumen, la arquitectura comprendía los procesos de leer, almacenar, procesar y presentar los datos. Sin embargo, se explicará a mayor detalle en este apartado las pruebas dentro del procesamiento. Se explicarán los algoritmos que se desarrollaron en SageMaker.

La unidad de procesamiento necesitaba obtener las imágenes a través del contenedor S3. Con el objetivo de clarificar el desempeño de la unidad de procesamiento, la clasificación final de

los índices en Python fue aislada para obtener los tiempos de respuesta (ver algoritmo de procesamiento en Figura 77) Los datos de prueba fueron obtenidos del LandSat8[113] y procesados usando la librería Earthpy[114]. Haciendo una prueba de 50 solicitudes al algoritmo en Python, se obtuvo un tiempo de 430 ms de respuesta promedio. A partir del desarrollo de esta arquitectura de software se realizó el artículo académico “*Cloud-Based processing on drone imaging for precision agriculture*”. Los resultados numéricos obtenidos se reflejan en la Tabla 30 haciendo un procesamiento de 50 pedidos al código de Python.

Tabla 30. Tiempos de respuesta para el procesamiento

Respuesta	Tiempo (ms)
Tiempo de respuesta máximo	464
Tiempo de respuesta mínimo	397
Tiempo de respuesta promedio	430
Mediana de tiempo de respuesta	428
Percentil 95	455

Fuente: Elaboración propia

La clasificación final alerta al usuario si las plantas se encuentran en un estado inusual. En este caso, el umbral se definió cuando la vegetación pobre es mayor 10% del total. De ser necesario, el usuario puede analizar los cultivos en una manera más visual usando un mapa de clasificación. El mapa no se genera constantemente ya que requiere una mayor cantidad de recursos que el procesamiento principal. Sería un desperdicio de recursos y por ello, solo se generará cuando el usuario lo considere necesario. El mapa generado se puede ver en la Figura 78 y la programación completa de Python se puede ver en el anexo F.

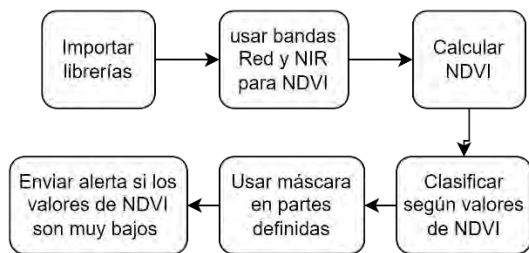


Figura 77. Diagrama de flujo del código
Fuente: Elaboración Propia

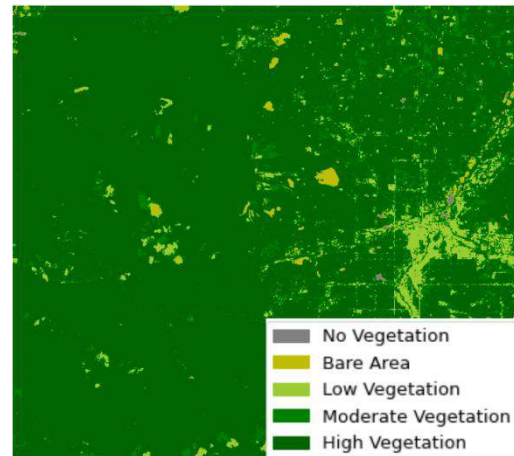


Figura 78. Mapa de clasificación usando Earthpy y datos de Landsat8. Fuente: Elaboración propia

9. CAPÍTULO IX: COSTOS

El costo de fabricación del dron se calculó sumando el precio de todos los componentes elegidos. Se consideró el precio de la parte ciber en un siguiente apartado.

9.1 Costos de fabricación

Se consideró un tipo de cambio de 1 USD = S/ 3,71 al día 02 de junio del 2022.(ver Tabla 31)

Tabla 31. Costo de fabricación del dron

componente	precio USD	precio soles
Cámara multispectral	5 195	19 247
gimbal	437,50	1 620,94
controlador de vuelo	329	1 218,95
módulo GPS	269	996,65
receptor	14,04	52
ESC	40	148,20
batería	288	1067,04
fuselaje	169	626,15
motores	360	1 333,80
total	7 101,49	26 311,02

Fuente Elaboración propia

Por ello, el costo total del desarrollo del prototipo sería de S/26 311,02.

9.2 Costos de AWS

Los costos para el servicio en la nube son complicados porque varían dependiendo de la escala. Para la prueba, se usó tan pocos recursos que, al usar la capa gratuita, todo el procesamiento fue gratuito. Sin embargo, para este caso se tomará ciertas consideraciones y a partir de ello se dará un costo comercial aproximado. Se consideran 20 localidades para la aplicación del proyecto. Cada una desea 1 análisis por semana en 4 porciones de sembríos (80 análisis en total por mes). Si se usan imágenes de máximo 8MB en las 4 bandas espectrales y una imagen de resultado, es adecuado considerar 40MB de espacio por procesamiento. 40MB por 80 análisis es 3200MB al mes. Al acumularse sería 37GB al año y 187GB en 5 años. Se considera que 50 horas de procesamiento es más que suficiente para procesar 80 análisis y realizar actualizaciones del código aproximadamente 1 vez por semana. Considerando que el Quantum Ledger Database solo almacene los datos más importantes (aproximadamente 10MB por análisis) en un mes se tendría 800MB. Al ser acumulativo en un año se tendría 9600MB y en 5 años 47GB. La Tabla 32 muestra la tecnología específica del servicio relacionado con el uso máximo estimado.

Tabla 32. Costo por mes de instancia en la nube

Nombre del servicio	Uso máximo	Tecnología	Tarifa por mes
SageMaker	50 horas	ml.t3.medium, 4 GiB, 2CPU	2.50 USD
S3	250 GB	S3 standard	5.75 USD
Quantum Ledger Database	50 GB	1million read and write I/O,	2.20 USD
Cloudwatch	10 métricas	10 000 API calls	3.4 USD
Route53	2 000 000 consultas estándar	5 Zonas alojadas, consultas geo-DNS	4.7 USD
Costo total			15.15 USD

Fuente Elaboración propia

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este apartado se menciona las conclusiones referentes a los objetivos y las recomendaciones.

10.1 Conclusiones

Al desarrollar el presente trabajo, se estableció el estado del arte, marco conceptual, y realizó una revisión de la literatura usando la metodología PRISMA. Se definió los requerimientos en los sistemas mecánico, electrónico, de control y de software con enfoque de analizar la salud vegetal de las plantas. Se diseñó el sistema eléctrico y de control para el dron en pasos secuenciales, especialmente para las iteraciones y desarrollo de componentes.

Fue necesario diseñar una herramienta que permite intercambiar las cámaras para uso de imágenes multiespectrales y térmicas. La herramienta consiste en un acople al estabilizador de la cámara que requiere cableado y configuraciones de software especiales. Se propuso y usó una lógica para la función correcta del sistema de control del dron. Se usó el software de planeamiento *Mission Planner* para generar una secuencia de captura de imágenes programada en una ruta de manera remota.

Se proporcionó una solución para el procesado de datos basado en una arquitectura de software guiada por la metodología ADD. Se realizó pruebas en el procesamiento de datos en la nube usando la tecnología Sage Maker de AWS. Finalmente, Se brindó la estimación de costos totales de la parte física y ciber del sistema. En los cuales se incluye el costo final del dron con todo los componentes necesarios y la aproximación de los costos por año proyectado para servicios presentes en el sistema ciber.

10.2 Recomendaciones

- El paso siguiente a la aplicación es adicionar funcionalidades más complejas y una interfaz más amigable para el *front-end* del servicio en la nube para que un usuario menos entrenado también sea capaz de usar la aplicación.
- Se recomienda adicionar parámetros hídricos para obtener información relevante de los cultivos. En este caso no formó parte del estudio porque la tesis se enfocó en el análisis del vigor de las plantas a través de NDVI.
- Se podría adaptar el proyecto para usar otras cámaras similares térmicas o multiespectrales, pero sería necesario el diseño de un soporte impreso en 3D para poder adaptarlo al gimbal. En este caso no se contempló la posibilidad porque se eligió las cámaras que fueron más adecuadas para el estudio.
- Se recomienda realizar experimentos posteriores variando los componentes que den como resultado un diseño similar al del presente trabajo. La elección de dichos componentes depende de la Accesibilidad de las piezas en el mercado y, en algunos casos, se puede realizar compra de piezas de manera consolidada para lograr precios de economías de escala.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations, “Seeking end to loss and waste of food along production chain”, 2022. [Online]. Available: <https://www.fao.org/in-action/seeking-end-to-loss-and-waste-of-food-along-production-chain/en/#:~:text=FAO%20estimates%20that%2030%2D40%20percent%20of%20total%20production%20can,storage%2C%20processing%20or%20transportation%20facilities.>
- [2] Instituto Nacional de Estadística e Informática, “PBI de las actividades económicas por años”, 2021. [Online]. Available: <https://m.inei.gov.pe/estadisticas/indice-tematico/pbi-de-las-actividades-economicas-por-anos-9096/>
- [3] Pérdida de alimentos: supera el 40% en tomate y banano en Perú, según la FAO, Gestión, 2019 [Online] Available:<https://gestion.pe/peru/perdida-de-alimentos-supera-el-40-en-tomate-y-banano-desde-el-cultivo-hasta-distribucion-noticia/>
- [4] Rendimiento y calidad de tomate (*solanum lycopersicum*) empleando cuatro láminas de riego bajo condiciones de cañete, Gonzalez, 26 de septiembre del 2016. [Online] Available: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2629/F06-G655-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Actualmente%20el%20Per%C3%BA%20consta%20con,cosecha da%20anual%20de%206004%20hect%C3%A1reas>
- [5] H. Cervantes and R. Kazman, *Designing Software Architectures: A Practical Approach*. United States: Addison-Wesley, 2016.
- [6], I., Rehman, A.U., Dehkordi, R.H., Landro, N., La Grassa, R., Boschetti, M.: Deep object detection of crop weeds: Performance of yolov7 on a real case dataset from uav images. *Remote Sensing* 15(2) (2023). <https://doi.org/10.3390/rs15020539>,
- [7] Ahmadi, S.A., Ghorbanian, A., Golparvar, F., Mohammadzadeh, A., Jamali, S.: Individual tree detection from unmanned aerial vehicle (uav) derived point cloud data in a mixed broadleaf forest using hierarchical graph approach. *European Journal of Remote Sensing* 55(1), 520–539 (2022). <https://doi.org/10.1080/22797254.2022.2129095>
- [8] Alexandris, S., Psomiadis, E., Proutsos, N., Philippopoulos, P., Charalampopoulos, I., Kakalettris, G., Papoutsi, E.M., Vassilakis, S., Paraskevopoulos, A.: Integrating drone technology into an innovative agrometeorological methodology for the precise and real-time estimation of crop water requirements. *HYDROLOGY* 8(3) (SEP 2021). <https://doi.org/10.3390/hydrology8030131>
- [9] Alijani, Z., Meloche, J., McLaren, A., Lindsay, J., Roy, A., Berg, A.: A comparison of three surface roughness characterization techniques: photogrammetry, pin profiler, and smartphone-based lidar. *International Journal of Digital Earth* 15(1), 2422–2439 (2022). <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2160842>
- [10]. Aliyari, M., Ashrafi, B., Ayele, Y.Z.: Hazards identification and risk assessment for uav–assisted bridge inspections. *Structure and Infrastructure Engineering* 18(3), 412–428 (2022). <https://doi.org/10.1080/15732479.2020.1858878>
- [11] Almalki, F.A., Soufiene, B.O., Alsamhi, S.H., Sakli, H.: A low-cost platform for environmental smart farming monitoring system based on iot and uavs. *SUSTAINABILITY* 13(11) (JUN 2021). <https://doi.org/10.3390/su13115908>

- [12] Alsadik, B.: Crowdsourced drone imagery – a powerful source for the 3d documentation of cultural heritage at risk. *International Journal of Architectural Heritage* 16(7), 977–987 (2022). <https://doi.org/10.1080/15583058.2020.1853851>
- [13] Altieri, G., Maffia, A., Pastore, V., Amato, M., Celano, G.: Use of high-resolution multispectral uavs to calculate projected ground area in corylus avellana l. tree orchard. *SENSORS* 22(19) (OCT 2022). <https://doi.org/10.3390/s22197103>
- [14] Baiocchi, V., Napoleoni, Q., Tesei, M., Servodio, G., Alicandro, M., Costantino, D.: Uav for monitoring the settlement of a landfill. *European Journal of Remote Sensing* 52(sup3), 41–52 (2019). <https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1683471>
- [15] Berie, H.T., Burud, I.: Application of unmanned aerial vehicles in earth resources monitoring: focus on evaluating potentials for forest monitoring in ethiopia. *European Journal of Remote Sensing* 51(1), 326–335 (2018). <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1432993>
- [16] Berie, H.T., Burud, I.: Application of unmanned aerial vehicles in earth resources monitoring: focus on evaluating potentials for forest monitoring in ethiopia. *European Journal of Remote Sensing* 51(1), 326–335 (2018). <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1432993>
- [17] Casana, J., Laugier, E.J., Hill, A.C., Blakeslee, D.: A council circle at etzanoa? multi-sensor drone survey at an ancestral wichita settlement in southeastern kansas. *AMERICAN ANTIQUITY* 85(4), 761–780 (OCT 2020). <https://doi.org/10.1017/aaq.2020.49>
- [18] Chen, C.J., Huang, Y.Y., Li, Y.S., Chen, Y.C., Chang, C.Y., Huang, Y.M.: Identification of fruit tree pests with deep learning on embedded drone to achieve accurate pesticide spraying. *IEEE Access* 9, 21986–21997 (2021). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3056082>
- [19] Delavarpour, N., Koparan, C., Nowatzki, J., Bajwa, S., Sun, X.: A technical study on uav characteristics for precision agriculture applications and associated practical challenges. *REMOTE SENSING* 13(6) (MAR 2021). <https://doi.org/10.3390/rs13061204>
- [20] Fanigliulo, R., Antonucci, F., Figorilli, S., Pochi, D., Pallottino, F., Fornaciari, L., Grilli, R., Costa, C.: Light drone-based application to assess soil tillage quality parameters. *SENSORS* 20(3) (FEB 2020). <https://doi.org/10.3390/s20030728>
- [21] Fawcett, D., Azlan, B., Hill, T.C., Kho, L.K., Bennie, J., Anderson, K.: Unmanned aerial vehicle (uav) derived structure-from-motion photogrammetry point clouds for oil palm (*elaeis guineensis*) canopy segmentation and height estimation. *International Journal of Remote Sensing* 40(19), 7538–7560 (2019). <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1591651>
- [22] Fei, S., Hassan, M.A., Xiao, Y., Su, X., Chen, Z., Cheng, Q., Duan, F., Chen, R., Ma, Y.: Uav-based multi-sensor data fusion and machine learning algorithm for yield prediction in wheat. *Precision Agriculture* 24(1), 187–212 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11119-022-09938-8>,
- [23] Ferrari, V., Calvini, R., Boom, B., Menozzi, C., Rangarajan, A.K., Maistrello, L., Offermans, P., Ulrici, A.: Evaluation of the potential of near infrared hyperspectral imaging for monitoring the invasive brown marmorated stink bug. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 234 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2023.104751>,

- [24] Gonçalves, V.P., Ribeiro, E.A.W., Imai, N.N.: Mapping areas invaded by pinus p. from geographic object-based image analysis (geobia) applied on rpas (drone) color images. *Remote Sensing* 14(12) (2022). <https://doi.org/10.3390/rs14122805>,
- [25] Heim, R.H.J., Wright, I.J., Scarth, P., Carnegie, A.J., Taylor, D., Oldeland, J.: Multispectral, aerial disease detection for myrtle rust (*austropuccinia psidii*) on a lemon myrtle plantation. *DRONES* 3(1) (MAR 2019). <https://doi.org/10.3390/drones3010025>
- [26] Hornero, A., Marengo, I., Faria, N., Hernandez-Clemente, R.: Monitoring phytophthora disease symptoms through very-high-resolution multispectral and thermal drone imagery. In: *IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. pp. 7787–7790 (2022) <https://doi.org/10.1109/IGARSS46834.2022.9884701>
- [27] Hosseiny, B., Rastiveis, H., Homayouni, S.: An automated framework for plant detection based on deep simulated learning from drone imagery. *REMOTE SENSING* 12(21) (NOV 2020). <https://doi.org/10.3390/rs1221352>
- [28] Jewan, S.Y.Y., Pagay, V., Billa, L., Tyerman, S.D., Gautam, D., Sparkes, D. Chai, H.H., Singh, A.: The feasibility of using a low-cost near-infrared, sensitive consumer-grade digital camera mounted on a commercial uav to assess bambar groundnut yield. *International Journal of Remote Sensing* 43(2), 393–423 (2022). <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.1974116>
- [29] Ji, G., Shi, C., Xue, M.: The application of unmanned aerial vehicle data communication in agriculture. In: *2022 IEEE Conference on Telecommunications, Optics and Computer Science (TOCS)*. pp. 1378–1382 (2022). <https://doi.org/10.1109/TOCS56154.2022.10015987>
- [30] Kandyllakis, Z., Falagas, A., Karakizi, C., Karantzalos, K.: Water stress estimation in vineyards from aerial swir and multispectral uav data. *REMOTE SENSING* 12(15) (AUG 2020). <https://doi.org/10.3390/rs12152499>
- [31] Kawamura, K., Asai, H., Yasuda, T., Khanthavong, P., Soisouvanh, P., Phongchan mixay, S.: Field phenotyping of plant height in an upland rice field in laos usin low-cost small unmanned aerial vehicles (uavs). *Plant Production Science* 23(4) 452–465 (2020). <https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1766362>
- [32] Kloc, B., Mazur, A., Szumilo, M.: Comparison of free and commercial software in the processing of data obtained from non-metric cameras. *JOURNAL OF ECOLOGICAL ENGINEERING* 22(2), 213–225 (2021). <https://doi.org/10.12911/22998993/131074>
- [33] La Salandra, M., Miniello, G., Nicotri, S., Italiano, A., Donvito, G., Maggi, G., Dellino, P., Capolongo, D.: Generating uav high-resolution topographic data within a foss photogrammetric workflow using high-performance computing clusters. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 105 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102600>,
- [34] Lam, O.H.Y., Dogotari, M., Prüm, M., Vithlani, H.N., Roers, C., Melville, B., Zimmer, F., Becker, R.: An open source workflow for weed mapping in native grassland using unmanned aerial vehicle: using *rumex obtusifolius* as a case study. *European Journal of Remote Sensing* 54(sup1), 71–88 (2021). <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1793687>
- [35] Lee, K., Wang, B., Lee, S.: Analysis of yolov5 and deeplabv3+ algorithms for detecting illegal cultivation on public land: A case study of a riverside in korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20(3) (2023). <https://doi.org/10.3390/ijerph20031770>,

- [36] Lim, W., Choi, K., Cho, W., Chang, B., Ko, D.W.: Efficient dead pine tree detecting method in the forest damaged by pine wood nematode (*bursaphelenchus xylophilus*) through utilizing unmanned aerial vehicles and deep learning-based object detection techniques. *Forest Science and Technology* 18(1), 36–43 (2022). <https://doi.org/10.1080/21580103.2022.2048900>
- [37] Liu, S., Zhang, B., Yang, W., Chen, T., Zhang, H., Lin, Y., Tan, J., Li, X., Gao, Y., Yao, S., Lan, Y., Zhang, L.: Quantification of physiological parameters of rice varieties based on multi-spectral remote sensing and machine learning models. *Remote Sensing* 15(2) (2023). <https://doi.org/10.3390/rs15020453>,
- [38] de Luis-Ruiz, J.M., Sedano-Cibrián, J., Pérez-Álvarez, R., Pereda-García R., Malagón-Picón, B.: Metric contrast of thermal 3d models of large industrial facilities obtained by means of low-cost infrared sensors in uav platforms. *International Journal of Remote Sensing* 43(2), 457–483 (2022). <https://doi.org/10.1080/01431161.2021.2003903>
- [39] Luna, M.A., Ale Isaac, M.S., Ragab, A.R., Campoy Cervera, P., Flores Peña, P., Molina González, M.: Fast multi-uav path planning for optimal area coverage in aerial sensing applications. *Sensors* 22(6) (2022). <https://doi.org/10.3390/s22062297>,
- [40] Mao, Y., Betters, C.H., Evans, B., Artlett, C.P., Leon-Saval, S.G., Garske, S., Cairns, I.H., Cocks, T., Winter, R., Dell, T.: Openshi: A complete opensource hyperspectral imaging solution for everyone. *Remote Sensing* 14(9) (2022). <https://doi.org/10.3390/rs14092244>,
- [41] Marino, S., Alvino, A.: Detection of homogeneous wheat areas using multi-temporal uas images and ground truth data analyzed by cluster analysis. *European Journal of Remote Sensing* 51(1), 266–275 (2018). <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1422280>
- [42] Marwan, Idroes, R., Yanis, M., Idroes, G.M., Syahriza: A low-cost uav based application for identify and mapping a geothermal feature in ietje manifestation, seulahaw volcano, indonesia. *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATE* 20(80), 135–142 (APR 2021). <https://doi.org/10.21660/2021.80.j2044>
- [43] Mattivi, P., Pappalardo, S.E., Nikolic, N., Mandolesi, L., Persichetti, A., De Marchi, M., Masin, R.: Can commercial low-cost drones and open-source gis technologies be suitable for semi-automatic weed mapping for smart farming? a case study in ne italy. *REMOTE SENSING* 13(10) (MAY 2021). <https://doi.org/10.3390/rs13101869>
- [44] McLeester, M., Casana, J., Schurr, M.R., Hill, A.C., Wheeler, III, J.H.: Detecting prehistoric landscape features using thermal, multispectral, and historical imagery analysis at midewin national tallgrass prairie, illinois. *JOURNAL OF ARCHAEOLOGICAL SCIENCE-REPORTS* 21, 450–459 (OCT 2018). <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.08.016>
- [45] Meivel, S., Maheswari, S.: Optimization of agricultural smart system using remote sensible ndvi and nir thermal image analysis techniques. In: 2020 International Conference for Emerging Technology (INCET). pp. 1–10 (2020). <https://doi.org/10.1109/INCET49848.2020.9154185>
- [46] Modica, G., Luca, G.D., Messina, G., Praticò, S.: Comparison and assessment of different object-based classifications using machine learning algorithms and uavs multispectral imagery: a case study in a citrus orchard and an onion crop. *European Journal of Remote Sensing* 54(1), 431–460 (2021). <https://doi.org/10.1080/22797254.2021.1951623>
- [47] Oliveira, R.A., Nasi, R., Niemelainen, O., Nyholm, L., Alhonoja, K., Kaivosoja, J., Jauhiainen, L., Viljanen, N., Nezami, S., Markelin, L., Hakala, T., Honkavaara, E.: Machine learning estimators for the quantity and quality

of grass swards used for silage production using drone-based imaging spectrometry and photogrammetry. *REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT* 246 (SEP 1 2020). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111830>

[48] Ore, G., Alcantara, M.S., Goes, J.A., Oliveira, L.P., Yepes, J., Teruel, B., Castro, V., Bins, L.S., Castro, F., Luebeck, D., Moreira, L.F., Gabrielli, L.H., Hernandez Figueroa, H.E.: Crop growth monitoring with drone-borne dinsar. *REMOTE SENSING* 12(4) (FEB 2020). <https://doi.org/10.3390/rs12040615>

[49] Pan, W., Wang, X., Sun, Y., Wang, J., Li, Y., Li, S.: Karst vegetation coverage detection using uav multispectral vegetation indices and machine learning algorithm. *Plant Methods* 19(1) (2023). <https://doi.org/10.1186/s13007-023-00982-7>,

[50] Papadopoulos, G., Mavroeidis, A., Roussis, I., Kakabouki, I., Stavropoulos, P., Bilalis, D.: Evaluation of tillage fertilization in carthamus tinctorius l. using remote sensing. *Smart Agricultural Technology* 4 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.atech.2022.100158>,

[51] Parra, L., Mostaza-Colado, D., Yousfi, S., Marin, J.F., Mauri, V, P., Lloret, J.: Drone rgb images as a reliable information source to determine legumes establishment success. *DRONES* 5(3) (SEP 2021). <https://doi.org/10.3390/drones5030079>

[52] Parshin, A.V., Morozov, V.A., Blinov, A.V., Kosterev, A.N., Budyak, A.E.: Lowaltitude geophysical magnetic prospecting based on multicopter uav as a promising replacement for traditional ground survey. *Geo-spatial Information Science* 21(1), 67–74 (2018). <https://doi.org/10.1080/10095020.2017.1420508>

[53] Pádua, L., Chiroque-Solano, P.M., Marques, P., Sousa, J.J., Peres, E.: Mapping the leaf area index of castanea sativa miller using uav-based multispectral and geometrical data. *Drones* 6(12) (2022). <https://doi.org/10.3390/drones6120422>,

[54] Qureshi, A.H., Alaloul, W.S., Hussain, S.J., Murtiyoso, A., Saad, S., Alzubi, K.M., Ammad, S., Baarimah, A.O.: Evaluation of photogrammetry tools following progress detection of rebar towards sustainable construction processes. *Sustainability (Switzerland)* 15(1) (2023). <https://doi.org/10.3390/su15010021>,

[55] Raber, G.T., Schill, S.R.: Reef rover: A low-cost small autonomous unmanned surface vehicle (usv) for mapping and monitoring coral reefs. *DRONES* 3(2) (JUN 2019). <https://doi.org/10.3390/drones3020038>

[56] Raeva, P.L., Sedina, J., Dlesk, A.: Monitoring of crop fields using multispectral and thermal imagery from uav. *European Journal of Remote Sensing* 52(sup1), 192–201 (2019). <https://doi.org/10.1080/22797254.2018.1527661>

[57] Rijal, S.S., Pham, T.D., Noer'Aulia, S., Putera, M.I., Saintilan, N.: Mapping mangrove above-ground carbon using multi-source remote sensing data and machinelearning approach in loh buaya, komodo national park, indonesia. *Forests* 14(1)(2023). <https://doi.org/10.3390/f14010094>,

[58] Räsänen, A., Juutinen, S., Kalacska, M., Aurela, M., Heikkinen, P., Mäenpää, K., Rimali, A., Virtanen, T.: Peatland leaf-area index and biomass estimation with ultra-high resolution remote sensing. *GIScience & Remote Sensing* 57(7), 943–964 (2020). <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1829377>

[59] Saif, M.S., Chancia, R., Pethybridge, S., Murphy, S.P., Hassanzadeh, A., van Aardt, J.: Forecasting table beet root yield using spectral and textural features from hyperspectral uas imagery. *Remote Sensing* 15(3) (2023). <https://doi.org/10.3390/rs15030794>,

- [60] Scherrer, B., Sheppard, J., Jha, P., Shaw, J.A.: Hyperspectral imaging and neural networks to classify herbicide-resistant weeds. *JOURNAL OF APPLIED REMOTE SENSING* 13(4) (NOV 14 2019). <https://doi.org/10.1117/1.JRS.13.044516>
- [61] Shafi, U., Mumtaz, R., Iqbal, N., Zaidi, S.M.H., Zaidi, S.A.R., Hussain, I., Mahmood, Z.: A multi-modal approach for crop health mapping using low altitude remote sensing, internet of things (iot) and machine learning. *IEEE ACCESS* 8, 112708–112724 (2020). <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3002948>
- [62] Sharma, M., Raghavendra, S., Agrawal, S.: Development of an open-source tool for uav photogrammetric data processing. *JOURNAL OF THE INDIAN SOCIETY OF REMOTE SENSING* 49(3, SI), 659–664 (MAR 2021). <https://doi.org/10.1007/s12524-020-01237-x>
- [63] Shendryk, Y., Sofonia, J., Garrard, R., Rist, Y., Skocaj, D., Thorburn, P.: Fine-scale prediction of biomass and leaf nitrogen content in sugarcane using uav lidar and multispectral imaging. *INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED EARTH OBSERVATION AND GEOINFORMATION* 92 (OCT 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102177>
- [64] Shiu, Y.S., Lee, R.Y., Chang, Y.C.: Pineapples' detection and segmentation based on faster and mask r-cnn in uav imagery. *Remote Sensing* 15(3) (2023). <https://doi.org/10.3390/rs15030814>,
- [65] Silva, L.d.C., Dias, F.F., de Assis, V.C., Pinto, C.d.B., Rangel, F.E.: Validation of the positional accuracy of products resulting from the digital processing of uav images(1). *REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRICOLAE AMBIENTAL* 26(8), 624–630 (AUG 2021). <https://doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v26n8p624-630>
- [66] Singh, A.P., Yerudkar, A., Mariani, V., Iannelli, L., Glielmo, L.: A bibliometric review of the use of unmanned aerial vehicles in precision agriculture and precision viticulture for sensing applications. *REMOTE SENSING* 14(7) (APR 2022). <https://doi.org/10.3390/rs14071604>
- [67] Song, L., Li, H., Chen, T., Chen, J., Liu, S., Fan, J., Wang, Q.: An integrated solution of uav push-broom hyperspectral system based on geometric correction with msi and radiation correction considering outdoor illumination variation. *Remote Sensing* 14(24) (2022). <https://doi.org/10.3390/rs14246267>,
- [68] Souza Barbosa, B.D., Ferraz, G.A.e.S., dos Santos, L.M., Santana, L.S., Marin, D.B., Rossi, G., Conti, L.: Application of rgb images obtained by uav in coffee farming. *REMOTE SENSING* 13(12) (JUN 2021). <https://doi.org/10.3390/rs13122397>
- [69] Spero, H.R., Vazquez-Lopez, I., Miller, K., Joshaghani, R., Cutchin, S., Enterkine, J.: Drones, virtual reality, and modeling: communicating catastrophic dam failure. *International Journal of Digital Earth* 15(1), 585–605 (2022). <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2041116>
- [70] Speth, S., Goncalves, A., Rigault, B., Suzuki, S., Bouazizi, M., Matsuo, Y., Prendinger, H.: Deep learning with rgb and thermal images onboard a drone for monitoring operations. *JOURNAL OF FIELD ROBOTICS* 39(6), 840–868 (SEP 2022). <https://doi.org/10.1002/rob.22082>
- [71] Talbot, B., Rahlf, J., Astrup, R.: An operational uav-based approach for stand-level assessment of soil disturbance after forest harvesting. *Scandinavian Journal of Forest Research* 33(4), 387–396 (2018). <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1418421>
- [72] Terry, B.B., Baptist, J.R., Rattz, J., Wagner, O., Yetkin, O., Gowda, S.: An end-to-end pipeline for acquiring, processing, and importing uas data for use in the open data cube (odc). In: 2021 IEEE International Geo-

science and Remote Sensing Symposium IGARSS. pp. 8197–8200 (2021). <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553149>

[73] Thiele, S.T., Lorenz, S., Kirsch, M., Gloaguen, R.: A novel and open source illumination correction for hyperspectral digital outcrop models. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING* 60 (2022). <https://doi.org/10.1109/TGRS.2021.3098725>

[74] Uribe Agudo, P., Angas Pajas, J., Perez-Cabello, F., Vicente Redon, J., Ezquerria Lebron, B.: The potential of drones and sensors to enhance detection of archaeological cropmarks: A comparative study between multi-spectral and thermal imagery. *DRONES* 2(3) (SEP 2018). <https://doi.org/10.3390/drones2030029>

[75] U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE Economic Research Service: Cost savings from precision agriculture technologies on u.s. corn farms. <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2016/may/cost-savings-from-precision-agriculture-technologies-on-us-corn-farms>, Last accessed 19 Jan 2023

[76] Wang, H., Duan, Y., Shi, Y., Kato, Y., Ninomiya, S., Guo, W.: Easyidp: A python package for intermediate data processing in uav-based plant phenotyping. *Remote Sensing* 13(13) (2021). <https://doi.org/10.3390/rs13132622>,

[77] Xu, B., Wang, W., Falzon, G., Kwan, P., Guo, L., Sun, Z., Li, C.: Livestock classification and counting in quadcopter aerial images using mask r-cnn. *International Journal of Remote Sensing* 41(21), 8121–8142 (2020). <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1734245>

[78] Yuan, W., Hua, W.: A case study of vignetting nonuniformity in uav-based uncooled thermal cameras. *Drones* 6(12) (2022). <https://doi.org/10.3390/drones6120394>,

[79] Zhang, Y., Yang, Y., Zhang, Q., Duan, R., Liu, J., Qin, Y., Wang, X.: Toward multistage phenotyping of soybean with multimodal uav sensor data: A comparison of machine learning approaches for leaf area index estimation. *Remote Sensing* 15(1) (2023). <https://doi.org/10.3390/rs15010007>,

[80] Zheng, H., Ji, W., Wang, W., Lu, J., Li, D., Guo, C., Yao, X., Tian, Y., Cao, W., Zhu, Y., Cheng, T.: Transferability of models for predicting rice grain yield from unmanned aerial vehicle (uav) multispectral imagery across years, cultivars and sensors. *Drones* 6(12) (2022). <https://doi.org/10.3390/drones6120423>,

[81] Āurikoviĉ, R., Kunovsky, P.: Processing of rgb and multi-spectral data for geographic information system needs. In: 2019 Communication and Information Technologies (KIT). pp. 1–8 (2019). <https://doi.org/10.23919/KIT.2019.8883465>

[82] Sistema de optimización de las técnicas de planificación en agricultura de precisión por medio de drones, Meneses, 18 sept 2021. [Online] Available: http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/3268/1901

[83] Los drones son una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología, Pino, 18 de septiembre del 2021. [Online] Available: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-34292019005000402&script=sci_arttext&tlng=en

[84] Spectral 2, Nuem uav, septiembre del 2019. [Online] Available: <https://www.nuemuav.com/>

[85] Matrice 300 RTK, DJI, abril del 2023. [Online] Available: <https://www.dji.com/matrice-300>

[86] Phantom series, DJI, abril del 2023. [Online] Available: <https://www.dji.com/products/phantom>

- [87] Phantom 4 thermal drone kit, Thermalcamera Shop, septiembre del 2022. [Online] Available: <https://www.warmtebeeldcamera.nl/en/dji-phantom-4-thermal-drone-kit.html>
- [88] MicaSense RedEdge-MX and DLS 2, MicaSense, [Online] Available: <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/360011389334-RedEdge-MX-Integration-Guide>
- [89] Flir Vue Pro, Teledyne Flir, abril del 2023 [Online] Available: <https://www.flir.com/products/vue-pro/>
- [90] GoPro Hero3 Silver Edition, Backscatter [Online] Available: <https://www.backscatter.com/GoPro-HD-Hero-3-Silver-Edition>
- [91] 2 Axis Micasense Altum Micro NDVI Gimbal, CopterLab, 2022. [Online] Available: <https://copterlab.com/micasense-rededge-multispectral-camera-gimbal>
- [92] *Pixhawk 4, PX4*, 2021. [Online] Available: https://docs.px4.io/master/en/flight_controller/pixhawk4.html
- [93] Here 3 GNSS(M8N) GPS Unit, Foxtech, Feb 2020. [Online] Available: <https://www.foxtechfpv.com/here-2-gnss-m8n-gps-unit.html>
- [94] FlySky FS-iA6 2.4G 6CH AFHDS Receiver For FS-i10 FS-i6 Transmitter. [Online] Available: https://ph.banggood.com/FlySky-FS-iA6-2-4G-6CH-AFHDS-Receiver-For-FS-i10-FS-i6-Transmitter-p-985684.html?cur_warehouse=CN&rmmds=detail-top-buytogether-auto&trace_id=16df1650596947569
- [95] Foxtech XM 30A BLHeli Mini ESC, Foxtech. [Online] Available: <https://www.foxtechfpv.com/foxtech-xm-30a-mini-esc.html>
- [96] T-MOTOR Air 40A ESC, Foxtech. [Online] Available: <https://www.foxtechfpv.com/tmotor-air-40a-esc-p-1803.html>
- [97] Hobbywing Xrotor Pro 50A ESC, Foxtech. [Online] Available: <https://www.foxtechfpv.com/hobbywing-xrotor-pro-50a-brushless-esc2pcs-p-1743.html>
- [98] Foxtech 6S 9500mAh Li-ion Battery, Foxtech. [Online] Available: <https://www.foxtechfpv.com/6s-9500mah-battery.html>
- [99] 6s 10000mah lipo battery high discharge for RC multicopter helicopter plane, Foxtech. [Online] Available: <https://www.foxtechfpv.com/6s-10000mah-lipo-battery-high-discharge-for-rc-multicopter-helicopter-plane.html>
- [100] Foxtech 6S 16000mAh Lipo Battery for RC Multicopter/Helicopter/Plane, Foxtech. [Online] Available: <https://www.foxtechfpv.com/6s-16000mah-lipo-battery-high-discharge-for-rc-multicopter-helicopter-plane.html>
- [101] Foxtech Motor S3508, Foxtech. [Online] Available: <https://www.foxtechfpv.com/foxtech-motor-s3508.html>
- [102] Antigravity MN2806, T-Motor , 2022 [Online] Available: <https://store.tmotor.com/goods.php?id=1150>
- [103] Antigravity MN5008 KV340,T-Motor,2022[Online] Available: <https://store.tmotor.com/goods.php?id=999>
- [104] How To Choose Quadcopter Frame, Gensattu, 2022 .[Online] Available: <https://www.genstattu.com/blog/how-to-choose-quadcopter-frame>

- [104] Foldable drone frame, Pritam Pradhan, Dec 19 2018 .[Online] Available: <https://grabcad.com/library/foldable-drone-frame-1>
- [105] Foxtech Hover 1 Quadcopter Frame, Foxtech. [Online] Available: <https://www.foxtechfpv.com/foxtech-hover-1-quadcopter-frame.html>
- [106] Sectral 2, Nuvem UAV, 2019. [Online] Available: <https://www.nuvenuav.com/>
- [107] Mission Planner Features/Screens, Ardupilot, Feb 2021. [Online] Available: <https://ardupilot.org/planner/docs/mission-planner-features.html>
- [108] My camera will not power on, what should I do?, Micasense, April 06 2022. [Online] Available: <https://support.micasense.com/hc/en-us/articles/360034117433-MicaSense-FAQs>
- [109] Camera Control in Auto Missions, Ardupilot, Feb 2021. [Online] Available: <https://ardupilot.org/planner/docs/common-camera-control-and-auto-missions-in-mission-planner.html>
- [110] F. M. S. López, E.L.C. Angulo, J.M.P. Delgado, and E.G.S. de la Cruz, “Air pollution software architecture design and modeling: A Peruvian case”, in Communications in Computer and Information Science, vol 1532, F.R. Narváez, J. Proaño, P. Morillo, D. Vallejo, D. G. Montoya, G. M. Díaz, Eds. Cham: Springer, 2022.
- [111] F. M. S. López, J. M. P. Delgado, E. G. S. de la Cruz, and E. L. Cáceres, “Performance-based software architecture design and blockchain as a service for Peruvian e-government,” in 2021 IEEE 12th ICSESS, Beijing, China, 2021, pp. 1–5.
- [112] J. A. Ruiz-Navarro, F. M. S. López, J. M. P. Delgado, and E. G. D. de la Cruz, “Computer vision technique to improve the color ratio in estimating the concentration of free chlorine”, in Lecture Notes in Networks and Systems, vol 433, M. V. Garcia, F. Fernández-Peña, C. Gordón-Gallegos, Eds. Cham: Springer, 2022
- [113] United States Geological Survey ”Landsat 8-9 OLI/TIRS Collection 2 Level 1 Data Format Control Book,” 2021.
- [114] W. Leah, J. Maxwell, and M. Joe, “EarthPy: A Python package that makes it easier to explore and lor raster and vector data using open source Python tools,” Journal of Open Source Software, November 2019.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



DISEÑO DE DRON PARA ANÁLISIS DE SALUD VEGETAL

Anexos de trabajo de investigación para obtener el grado académico de
BACHILLER EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA
MECATRÓNICA

AUTOR:

MENDEZ CAM, JOSEPH RAMSES

ASESOR: Félix Melchor Santos Lopez






CO-ASESOR: Carlos Saito Villanueva

Lima, Mayo del 2023

Anexos

Anexo A : Matriz morfológica

Tabla A.1 Matriz morfológica - Sistema de Control

Función Parcial	Principios de solución		
indicar desplazamiento	 Radiocontrol	 Computadora	
Controlar	 Microcontrolador	 Microprocesador(computadora)	 Controlador integrado DJI

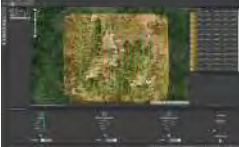
Fuente: Elaboración propia

Tabla A.2 Matriz morfológica - Sistema de Energía

Función Parcial	Principios de solución		
Energizar dron	 Switch integrado en dron	 Switch en radiocontrol	
Almacenar Energía	 Batería de litio	 Batería Níquel-Cadmio	 Batería Níquel-Hierro
Acondicionar energía sistema de control Acondicionar energía sistema de actuación Acondicionar energía sistema de medición	 <i>Regulador Lineal de voltaje</i>	 <i>Switch regulador de voltaje</i>	 <i>Módulo transformador de voltaje</i>

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.3 Matriz morfológica - Sistema de Actuación

Función Parcial	Principios de solución		
<i>Accionar movimiento del dron</i>	 <i>Motor sin escobillas</i>	 <i>Motor DC</i>	
<i>Accionar estabilización de sensor</i>	 <i>Gimbal</i>	 <i>Software</i>	 <i>Gimbal de 2 ejes</i>

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.4 Matriz morfológica - Sistema Físico

Función Parcial	Principios de solución	Principios de solución	
<i>Realizar movimientos laterales</i>	 <i>Ala fija</i>	 <i>Rotores</i>	
<i>Soporte de Carga</i>	 <i>Fuselaje</i>	 <i>Estructura de dron</i>	 <i>Carga externa</i>
<i>Aterrizar</i> <i>Despegar</i>	 <i>Tren de aterrizaje para dron de ala fija</i>	 <i>Tren de aterrizaje fijo</i>	 <i>Tren de aterrizaje retráctil</i>

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.5 Matriz morfológica - Sistema de Medición

Función Parcial	Principios de solución		
<i>Sensar posición actual</i>	 <i>GPS RTK</i>	 <i>Gps Galileo</i>	 <i>GPS diferencial</i>



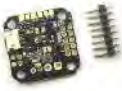











<i>Medir energía remanente</i>	 <i>Resistencias</i>	 <i>Sensor ADC</i>	
<i>Medir información de entorno</i>	 <i>Microcontrolador</i>	 <i>Análisis en tiempo real</i>	 <i>Controlador integrado DJI</i>

Tabla A.6 Matriz morfológica - Sistema de Información

<i>Función Parcial</i>	<i>Principios de solución</i>		
<i>Reunir datos del entorno</i>	 <i>Cámara multiespectral</i>	 <i>Cámara digital para dron</i>	 <i>Sensor de temperatura</i>
<i>Almacenar datos del entorno</i>	 <i>Tarjeta SD</i>	 <i>Amazon Web Services</i>	 <i>Microsoft Azure</i>
<i>Enviar datos a la nube</i>	 <i>Amazon Web Services</i>	 <i>Microsoft Azure</i>	 <i>Google Cloud</i>
<i>Detectar presencia de plagas</i>	 <i>Cámara multiespectral</i>	 <i>Cámara digital estándar</i>	 <i>Sensor de temperatura</i>

Fuente: Elaboración propia

Anexo B: Elección de componentes

B.1 Cámara multispectral




Las cámaras multispectrales son tipos especiales de cámaras que obtienen información en bandas definidas para obtener mayor información que una cámara estándar RGB. Las cámaras multispectrales se utilizan con frecuencia en trabajos de agricultura por obtener con facilidad los índices de vegetación a través de los cálculos con las intensidades de las bandas específicas. Los valores obtenidos de las bandas deben de ser calibrados según la luz del momento en el que se toman las imágenes, debido a que los valores de intensidad pueden cambiar dependiendo de cuán iluminada esté la zona. Se deben considerar los siguientes requerimientos para elegir una cámara multispectral en el diseño:

- Contar con mínimo 5 bandas multispectrales
- Tener dimensiones adecuadas como para entrar con facilidad en el gimbal
- Debe tener bajo peso, para optimizar el peso del dron
- Capacidad de análisis adicionales como la obtención de parámetros hídricos

Comparación de cámaras multispectrales

Considerando que las cámaras multispectrales serán los sensores que podrán brindar mayor cantidad de información para confirmar el estado de los cultivos, se hará una comparación entre las principales cámaras multispectrales.

Tabla B.1. Comparación de cámaras multispectrales

Características	Micasense RedEdge 	Parrot Sequoia 	Sentera 6X 
peso	231.9 g	72 g	290 g
dimensiones	87x59x45 mm	59 x 41 x 29.5 mm	3.13" x 2.60" x 2.66"
bandas	Blue, green, red, red edge,	Blue: 475nm x 30nm	Green (550 BP 40)

espectrales	near-IR (global shutter, narrowband)	Green: 550nm x 20nm Red: 670nm x 30nm Red Edge: 715nm x 10nm NIR: 840nm x 20nm	Red (660 BP 40) Red Edge (735 BP 10) Near-infrared (790 BP 40)
capturas por segundo	1 fps	1 fps	5 fps
Campo de visión	47.2 HFOV	61.9 HFOV	47 HFOV
resolución	8 cm/pixel a 120m	13 cm/pixel a 120m	-
precio	4 900 usd	3 500 usd	6 000 usd

Fuente: Elaboración propia

Las cámaras Micasense redEdge y Parrot Sequoia son muy usadas en ambos casos para la agricultura. La principal ventaja de la Parrot Sequoia es el bajo peso y precio. Sin embargo, la cámara Micasense RedEdge presenta una mejor resolución y gracias a la banda azul, también se puede realizar un estudio de agua u otro estudio adicional. La conectividad de la Parrot Sequoia puede ser beneficiosa para una integración rápida porque utiliza USB, pero puede complicar las cosas si se desea diseñar un conector universal para poder cambiar de cámaras fácilmente.

B.2 Cámara térmica

Las cámaras térmicas analizan la cantidad de calor que se puede notar en ciertas áreas de la imagen a través de un espectro invisible para el ojo humano. El calor se mide gracias a la radiación infrarroja que emiten los objetos que puede ser capturada en el sensor de la cámara. Luego, es necesario procesar las imágenes en valores que puedan ser comprendidos con mayor facilidad a través de colores que indiquen el calor. Las cámaras térmicas ayudan bastante para conocer si los cultivos se encuentran en el rango adecuado de temperatura y para brindar información sobre parámetros hídricos.

Si bien, para la aplicación principal se usará una cámara multiespectral, el dron también debe de ser compatible con alguna térmica para cuando se desee hacer un análisis que lo requiera.

Parte del diseño del dron incluye la facilidad de intercambiabilidad en las cámaras que irán en el gimbal. Se deben considerar los siguientes requerimientos para elegir una cámara térmica:

- Resolución térmica mínima 336x256.
- Tener dimensiones adecuadas como para entrar con facilidad en el gimbal
- Tener forma similar al sensor multispectral (Micasense RedEdge)
- Presentar un peso menor a 600 g para optimizar la carga del dron

Comparación de cámaras térmicas

Considerando que las cámaras multispectrales serán los sensores que podrán brindar mayor cantidad de información para confirmar el estado de los cultivos, se hará una comparación entre las principales cámaras multispectrales.(ver Tabla 2)

Tabla B.2. Comparación de cámaras térmicas

Características	Flir Duo Pro R 	Flir Vue Pro R 	DJI ZENMUSE XT 
peso	84 g	72 g	270 g
dimensiones	41x59x29.6mm	44.45 x 44.45 x64.77 mm	103 mm x 74 mm x 102 mm
resolución	336 X 256 / 640 X 512	336 X 256 / 640 X 512	336 X 256 / 640 X 512
Radiométrico	Sí	Sí	-
Campo de visión	56° x 45° FOV ambas cámaras	25 x 19° Lens FOV	-
refresco	30 Hz	NTSC Frame Rate of 7.5 Hz	30 Hz
precio	4499 usd	1600 usd	5719 usd

Fuente: Elaboración propia

Se elige la cámara Flir Vue Pro R por el bajo precio comparado con los otros sensores. Además, las dimensiones son adecuadas. No incluye un gimbal específico como el Zenmuse XT. Las especificaciones del Vue Pro R son suficientes porque cumplen con la resolución mínima de 336 x 256.

B.3 Cámara RGB para dron

Es el tipo convencional de cámaras utilizadas para drones. Deben de ser cámaras ligeras y con dimensiones adecuadas. Además, es necesario que tengan una resolución considerable como para poder tomar fotos claras desde el cielo. Muchas cámaras cuentan con la capacidad de transmisión en tiempo real para que el piloto pueda ver lo que se está grabando.

Si bien, para la aplicación principal se usará una cámara multiespectral, el dron deberá ser compatible con alguna cámara RGB estándar para cuando se desee cambiar de cámara o para usarse en alguna otra aplicación. Parte del diseño del dron incluye la facilidad de intercambiabilidad en las cámaras que irán en el gimbal. Se deben considerar los siguientes requerimientos para elegir una cámara RGB:

- Resolución mínima de 720p.
- Tener dimensiones adecuadas como para entrar con facilidad en el gimbal.
- Tener forma similar al sensor multiespectral (Micasense RedEdge).
- Presentar un peso menor a 600 g para optimizar la carga del dron.

Comparación de cámaras RGB

Considerando que las cámaras multiespectrales serán los sensores que podrán brindar mayor cantidad de información para confirmar el estado de los cultivos, se hará una comparación entre las principales cámaras multiespectrales. (ver Tabla 3)

Tabla B.3. Comparación de cámaras multiespectrales

Características	Go Pro Hero3 	Go pro Hero10 	Sony R10C 
peso	73.7 g	54 g	158 g
dimensiones	87x59x45 mm	50 x 68 x 29 mm	74x69x52 mm
calidad	1080p	5.3K60	1080p
capturas por segundo	hasta 30 fps	60 fps	hasta 60fps

resolución	11	23 MP	20.4 MP
precio	154.99 usd	399.98 usd	-

Fuente: Elaboración propia

Las cámaras Go Pro Hero se acomodan muy bien al dron por el bajo peso y pequeñas dimensiones. La forma cuadrada es similar a la del Micasense. Sin embargo, la Go Pro Hero 3 y Hero 10 son más pequeñas que el sensor micasense. Se necesitaría adaptar unas cosas pero sí sería compatible con el gimbal. Por la superioridad con 5.3K de resolución y un precio no tan alejado a la Hero3, se escoge como cámara de referencia a la Gopro Hero 10.

B.4 Gimbal




Debido a los movimientos y vibraciones del sensor o cámara que se utilice, es necesario incorporar un gimbal. Los gimbal utilizan sensores y acelerómetros para poder mover pequeños motores internos en los ejes que deben estabilizar. Por ello, el gimbal permite compensar las vibraciones y cambio en el ángulo que genera el dron. Para elegir el gimbal se deben de considerar los siguientes requerimientos:

- Debe estabilizar 2 ejes como mínimo
- Debe ser adaptable para usar la cámara multispectral, térmica y cámara estándar
- No debe pesar mucho

Comparación de Gimbal

En la siguiente tabla se comparan los Gimbals, cuya diferencia recae principalmente en el número de ejes y las cámaras compatibles. (ver Tabla 4)

Tabla B.4. Comparación de Gimbals

Características	Walkera G-2D 	2 Axis Micasense RedEdge Gimbal 	Zenmuse H3 
peso	136 g	180 g	168 g

marca	Walker	CopterLab	Zenmuse
precio	120 usd	437.50 usd	284.99 usd
material	plástico	ABS	plástico y metal
compatible con	Go pro	Micasense RedEdge, diferentes adaptadores	Go Pro

Fuente: Elaboración propia

En esta aplicación, se debe de contar con gimbal adaptable para que pueda ser compatible con las diferentes cámaras. Por ello, se escoge el gimbal de CopterLab.

B.5 Controlador de vuelo




El controlador de vuelo se encarga de controlar todos los datos que necesita procesar el dron para poder realizar un vuelo. Interpreta los datos que se obtienen por el radiocontrol, GPS, batería y los otros sensores que se incorporen al dron. Está conectado a los variadores de velocidad para poder cambiar el empuje que estos proveen para movilizar al dron.

Comparación de cámaras controladores de vuelo

Para elegir el controlador de vuelo se deben de considerar los siguientes requerimientos (ver Tabla 5):

- Debe ser compatible con Ardupilot y MisionPlanner
- Debe tener las salidas necesarias para conectar un gimbal y una cámara multispectral
- Debe contar con magnetómetro para la orientación
- Debe tener capacidad de procesamiento para pilotaje autónomo y maniobras complejas.

Tabla B.5. Comparación de controladores de vuelo

Características	Ardupilot Mega 	Pixhawk Cube Orange 	Pixhawk 4 
peso	30 g	73 g	15.8 g
dimensiones	10x80x120 mm	31 x 44.3 x 94.5 mm	44 x 84 x 12 mm

Software	Compatible con Ardupilot y Mission Planner	Compatible con Ardupilot y Mission Planner	Compatible con Ardupilot y Mission Planner
procesador	Arduino Mega	32bit ARM® STM32H753 Cortex®-M7 (con DP-FPU)	32 Bit Arm® Cortex®-M7, 216MHz, 2MB memory, 512KB RAM)
salidas	Mismas salidas que Arduino Mega. Hasta 8 PWM	14x PWM servo outputs (8 from IO, 6 from FMU)	8-16 PWM outputs (8 from IO, 8 from FMU)
Acelerómetro/ giroscopio	giroscopio de 3 ejes, acelerometro	3 IMU's ICM 20649 integrated accelerometer / gyro	Accel/Gyro: BMI055 or ICM20602 Accel/Gyro: ICM-20689
magnetómetro	-	Un magnetómetro	Magnetómetro: IST8310
barómetro	1 barómetro	2 Barómetros	Barómetro MS5611
precio	75 usd	669 usd	329 usd

Fuente: Elaboración propia

B.6 Módulo GPS

Los módulos GPS para drones tienen un funcionamiento similar a los otros GPS normales de mayor tamaño. Las siglas del GPS significan Sistema de Posicionamiento global. Provee datos de latitud, longitud y elevación. Al conectarse con los satélites, los GPS obtienen datos de posición, velocidad y telemetría en general.


Comparación de módulos GPS (ver Tabla 6)

Para elegir el controlador de vuelo se deben de considerar los siguientes requerimientos:

- Debe de contar con RTK para ser capaz de usar señales de navegación satelital global con alta precisión.
- Debe de pesar menos que 100 g , para optimizar el peso del dron
- Debe de tener una precisión mínima de 10m, para evitar problemas con el posicionamiento.

Tabla B.6. Comparación de GPS

Características	Tarot Detachable GPS Seat TLX005	Foxtech Foldable GPS	Here 3 GNSS(M8N)
-----------------	----------------------------------	----------------------	------------------

			
Dimensiones	29.4 mm de diámetro	33 mm de diámetro	76x76x16.6 mm
precio	3.49 usd	9.99 usd	199.99 usd
RTK	NO	NO	Sí
peso	20 g	30 g	48.8 g
precisión	baja	baja	3D FIX: 2.5m / RTK: 0.0025m
tasa de refresco	-	-	8 Hz

Fuente: Elaboración propia

B.7 Receptor

Permite recibir las señales de radio que normalmente se envían por el radiocontrol. Es recomendable que tengan 5 señales porque un dron como mínimo debe de moverse hacia adelante, atrás, derecha e izquierda.

Comparación de módulos Receptores (ver Tabla 7)

Para elegir el controlador de vuelo se deben de considerar los siguientes requerimientos:

- Debe de tener más de 5 canales de transmisión de datos para comunicar las instrucciones mínimas.
- Debe de pesar lo menos posible, para optimizar el peso del dron.
- Posibilidad de trabajar con 5V.
- Debe ser compatible con la entrada del dron.

Tabla B.7. Comparación de Receptores

Características	FlySky FS-R6B 2.4Ghz 6CH AFHDS Receiver 	FlySky FS-IA6 2.4G 6CH AFHDS Receiver For FS-i10 FS-i6 Transmitter 	CM703 2.4G 7CH RC Receiver With PPM 
-----------------	---	--	---

Dimensiones	30 x 25 x 8 mm	40.4 x 21.1 x 7.35 mm	47x24x14 mm
precio	9.14 usd	14.99 usd	14.01 usd
voltaje de operación	-	4.0-6.5 V	3.3- 9.6 V
peso	25 g	6.4 g	10 g
canales	6	6 channel receiver compatible Flysky i4 i6 i10 GT2E GT2F GT2G transmitter	7 channels with PPM Output
frecuencia	2.4 G	2.4 GHz sin interferencia	2.4 GHz

Fuente: Elaboración propia



Anexo C : Creación de instancia en AWS

Launch an instance Info

Amazon EC2 allows you to create virtual machines, or instances, that run on the AWS Cloud. Quickly get started by following the simple steps below.

Name and tags Info

Name

 [Add additional tags](#)

▼ **Application and OS Images (Amazon Machine Image)** Info

An AMI is a template that contains the software configuration (operating system, application server, and applications) required to launch your instance. Search or Browse for AMIs if you don't see what you are looking for below.

Search *Search our full catalog including 1000s of application and OS images*

[AMI from catalog](#) | [Recents](#) | [Quick Start](#)

Amazon Machine Image (AMI)

Deep Learning Base AMI (Ubuntu 18.04) Version 53.1
ami-0b6d1797112bee038

[Browse more AMIs](#)
Including AMIs from AWS, Marketplace and the Community

Catalog	Published	Architecture	Virtualization	Root device type	ENA Enabled
Quickstart AMIs	2022-04-28T18:51:52.000Z	x86_64	hvm	ebs	Yes

Figura 1 Creación de instancia.
Fuente Elaboración propia

▼ Instance type [Info](#)

Instance type

t2.xlarge

Family: t2 4 vCPU 16 GiB Memory

On-Demand Linux pricing: 0.1856 USD per Hour

On-Demand Windows pricing: 0.2266 USD per Hour

▼

[Compare instance types](#)

▼ Key pair (login) [Info](#)

You can use a key pair to securely connect to your instance. Ensure that you have access to the selected key pair before you launch the instance.

Key pair name - *required*

WebODM_key_v1

▼

[Create new key pair](#)

▼ Network settings Edit

Network

vpc-0c1b62fced268000c

Subnet

No preference (Default subnet in any availability zone)

Auto-assign public IP

Enable

Security groups (Firewall!) [Info](#)

A security group is a set of firewall rules that control the traffic for your instance. Add rules to allow specific traffic to reach your instance. We'll create a new security group called 'launch-wizard-3' with the following rules:

Allow SSH traffic from My ID

Figura 2 Segundo paso de Creación de instancia.

Fuente Elaboración propia

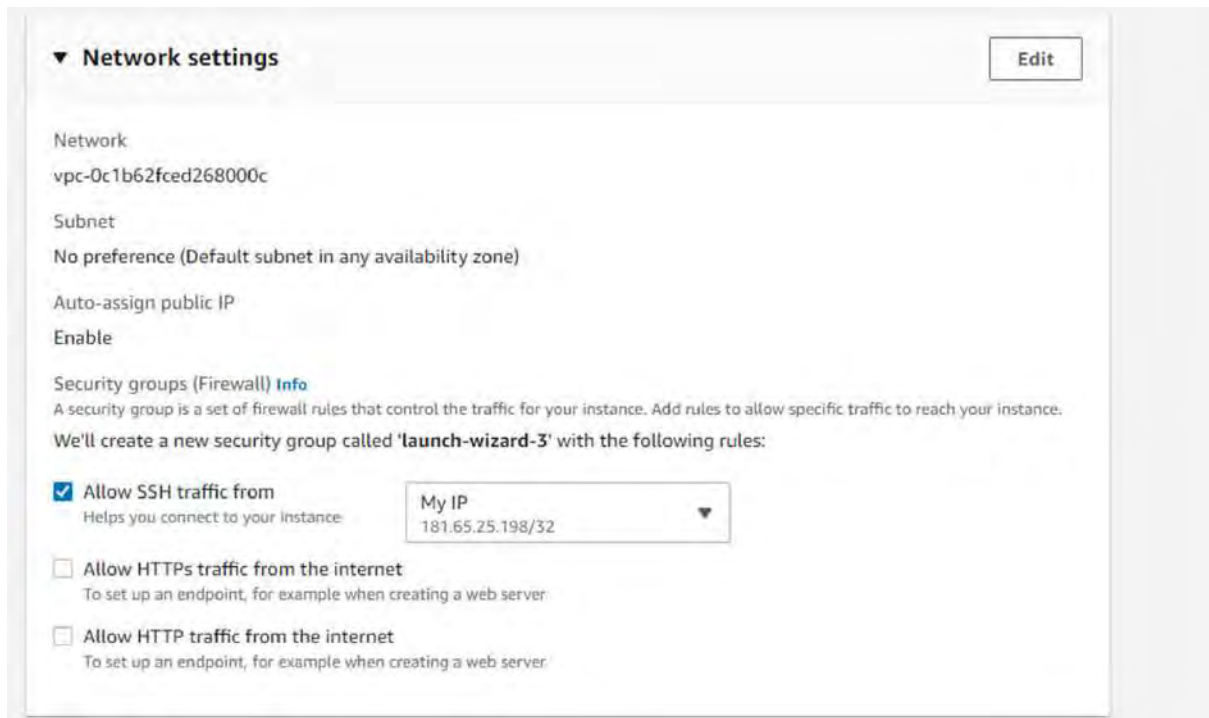


Figura 3 Parámetros de red

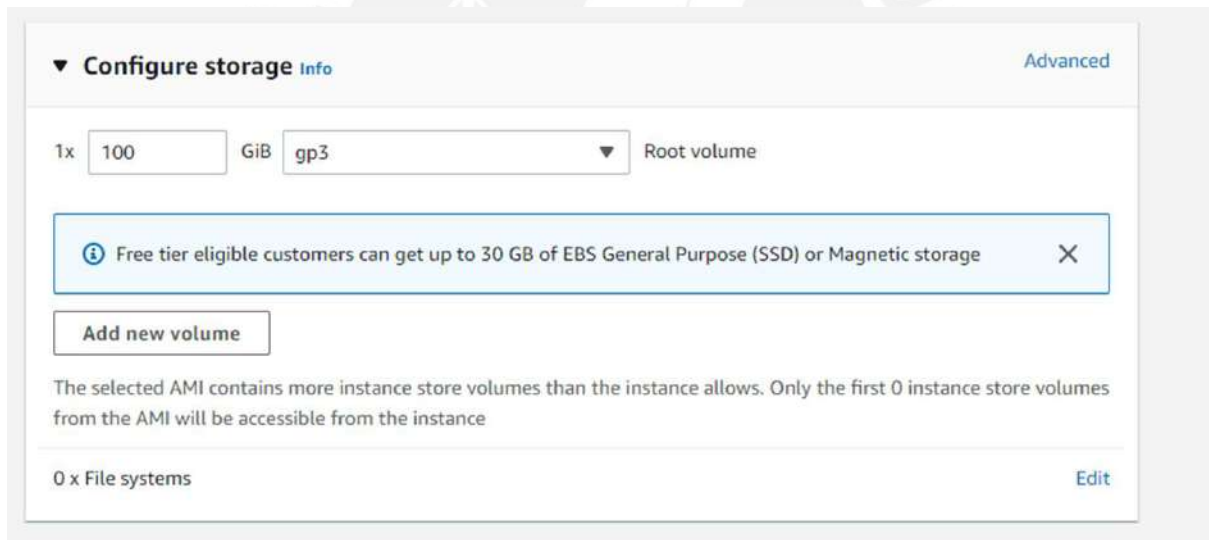


Figura 4 Configuración de parámetros de almacenamiento

▼ Summary

Number of instances [Info](#)

1

Software Image (AMI)

Deep Learning Base AMI (Ubuntu...[read more](#))
ami-0b6d1797112bee038

Virtual server type (instance type)

t2.xlarge

Firewall (security group)

New security group

Storage (volumes)

1 volume(s) - 100 GiB

Free tier: In your first year includes 750 hours of t2.micro (or t3.micro in the Regions in which t2.micro is unavailable) instance usage on free tier AMIs per month, 30 GiB of EBS storage, 2 million IOs, 1 GB of snapshots, and 100 GB of bandwidth to the internet

Cancel Launch instance

Figura 5 Resumen de creación de instancia.

Fuente Elaboración propia

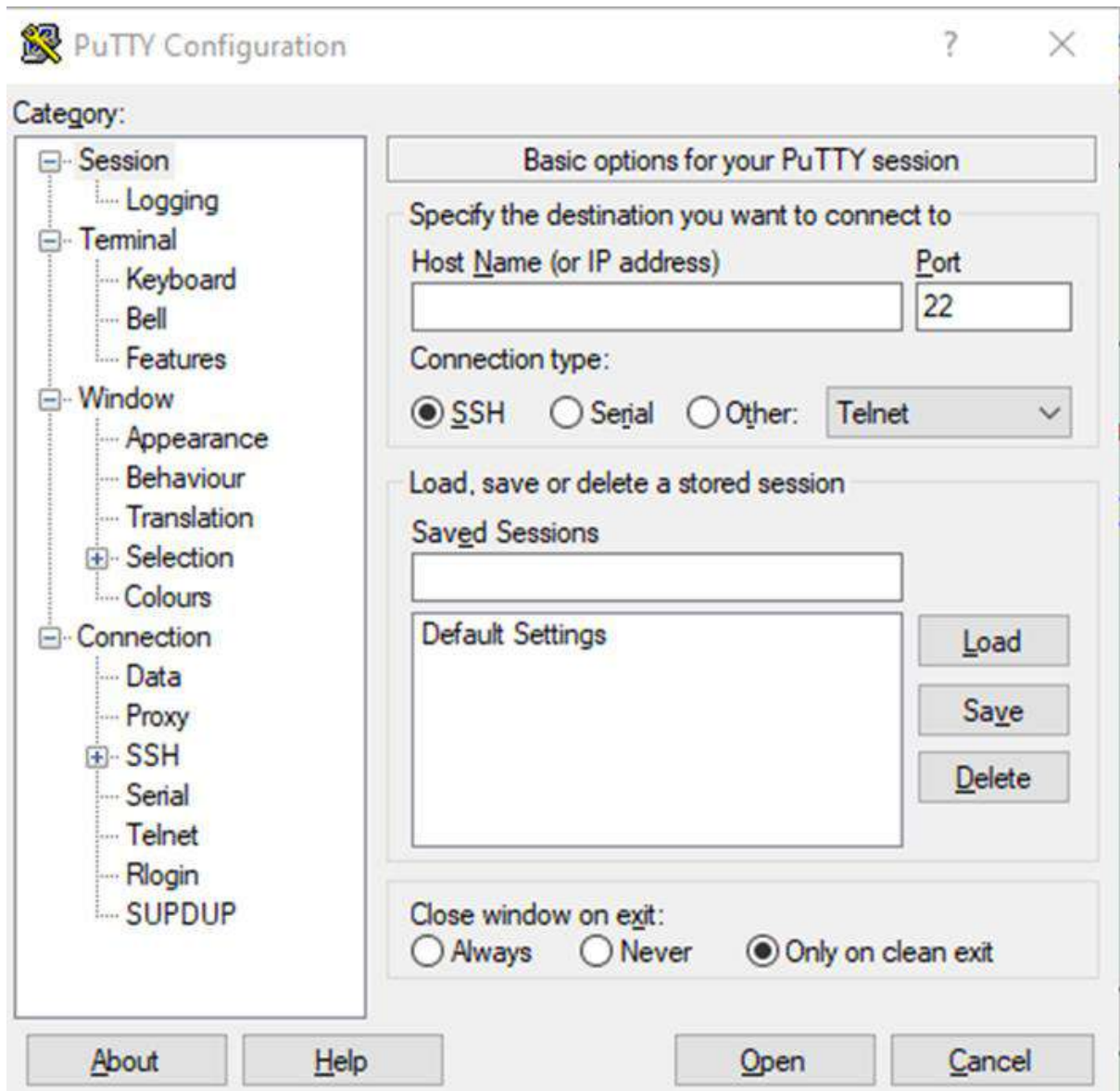


Figura 6 Configuración de de Putty para poder controlar la instancia

Fuente Elaboración propia

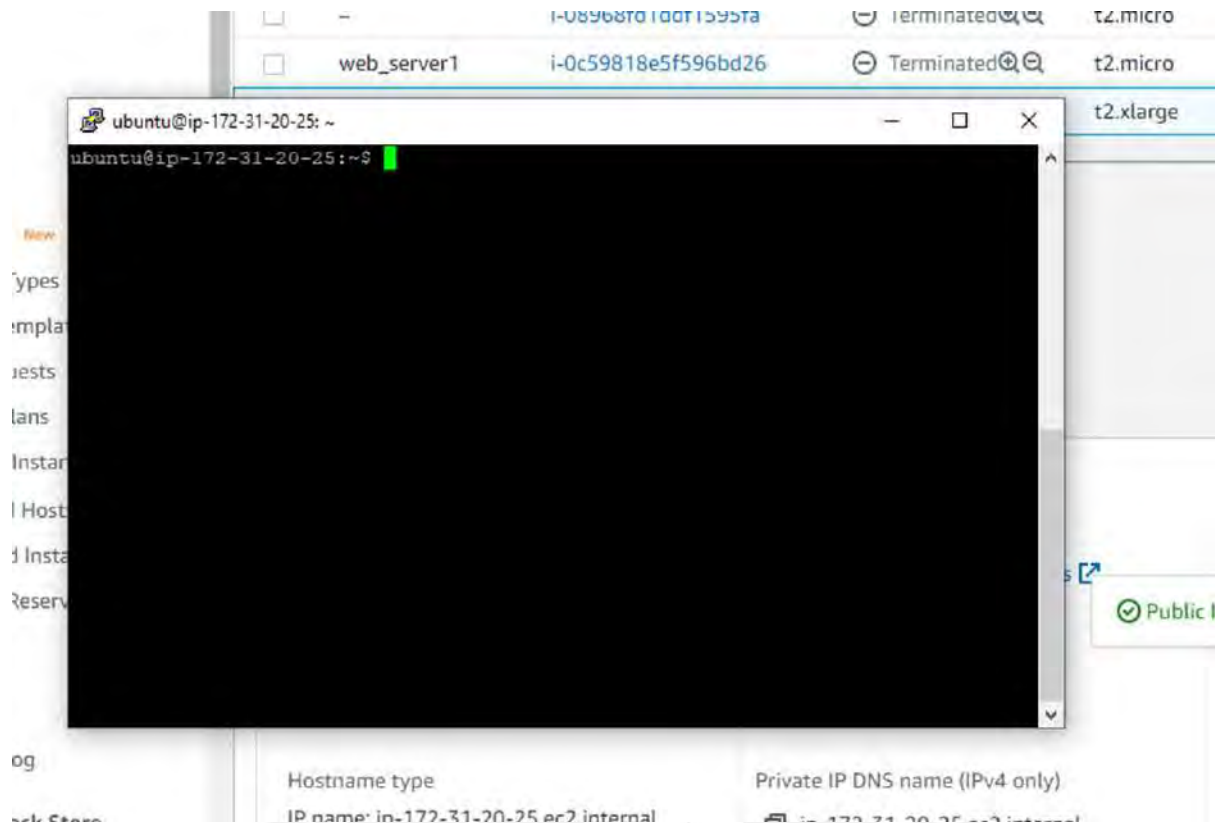


Figura 7 Apertura de la instancia por terminal usando Putty

Fuente Elaboración propia



Figura 8 Resolución de problemas con docker al instalarlo en la instancia

Fuente Elaboración propia

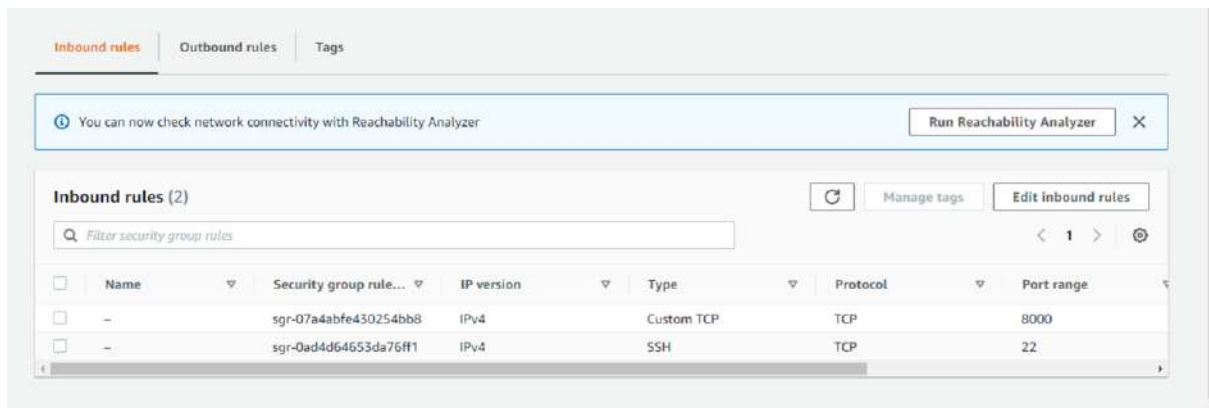


Figura 9 Modificación para que el puerto 8000 esté disponible

Fuente Elaboración propia



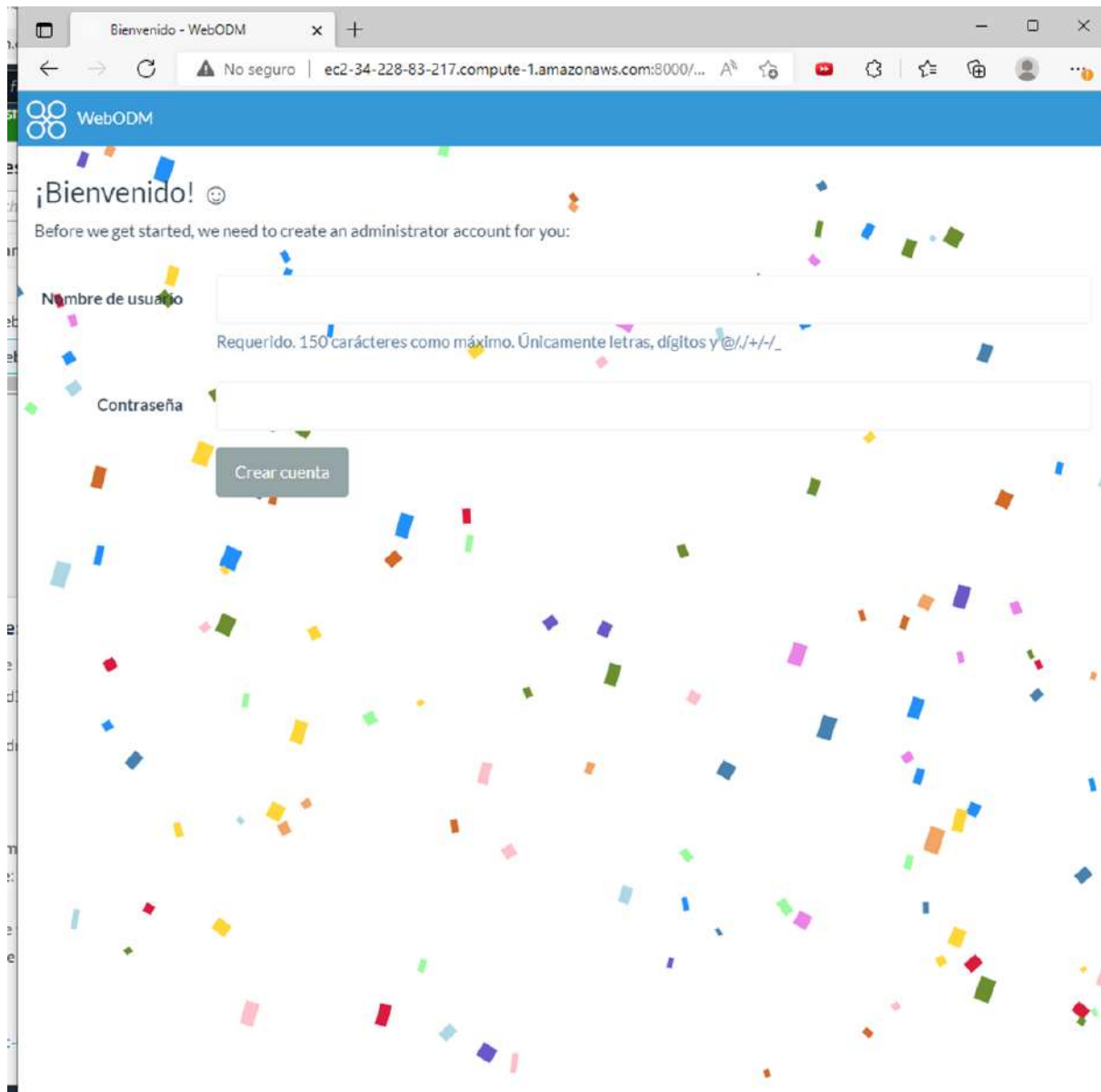


Figura 10 Apertura desde el link de AWS del ODM instalado.

Fuente Elaboración propia

Procesamiento en la nube

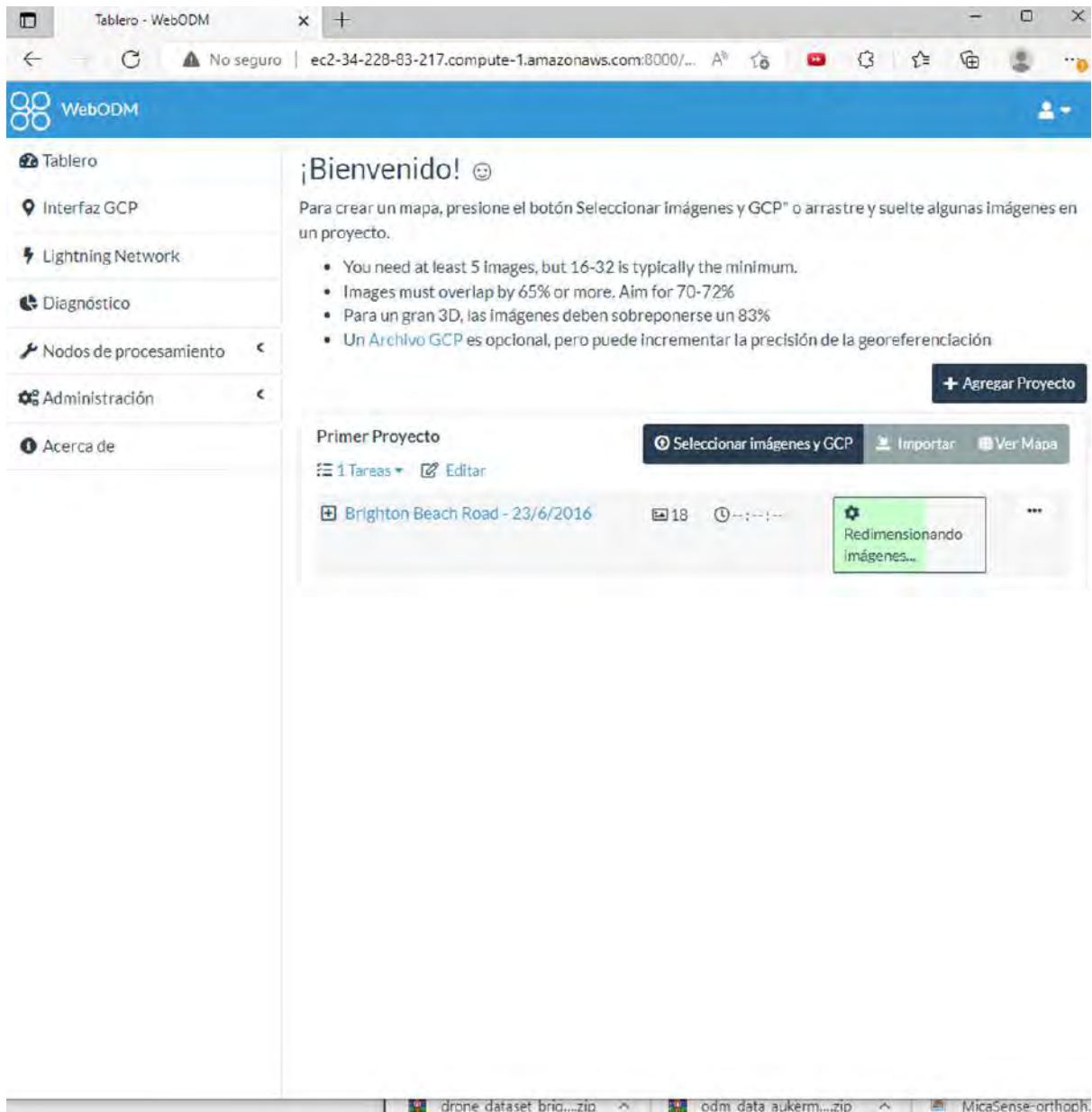


Figura 11 Carga de datos de prueba al software

Fuente Elaboración propia

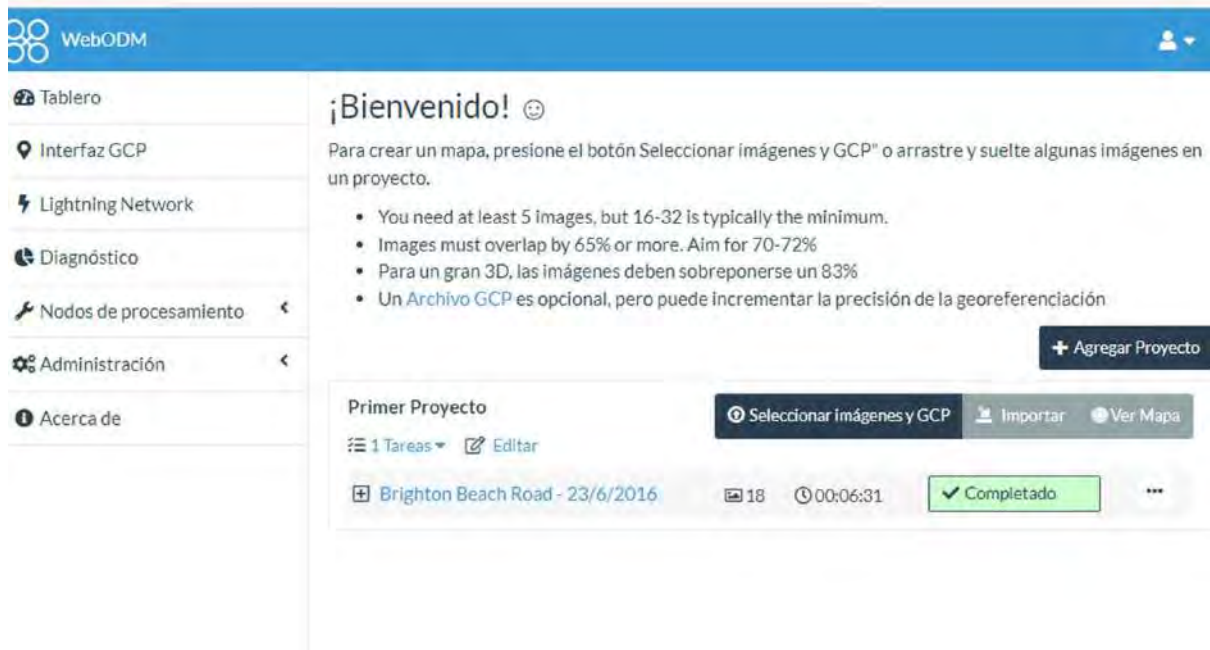


Figura 12 Datos de prueba completados en el software

Fuente Elaboración propia

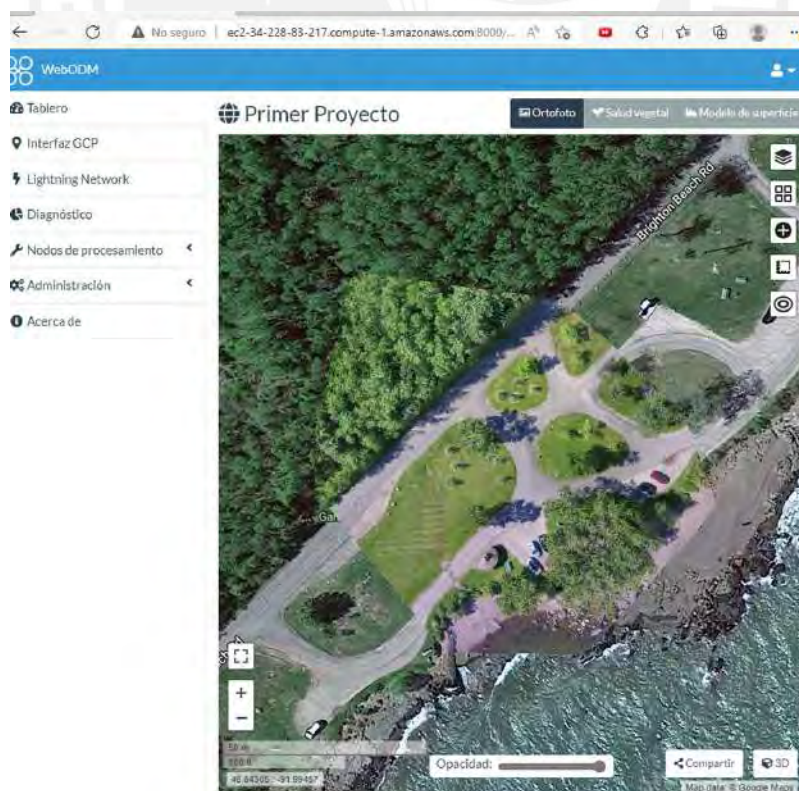


Figura 13 Ortofoto generada a partir de las fotos individuales en ODM

Fuente Elaboración propia

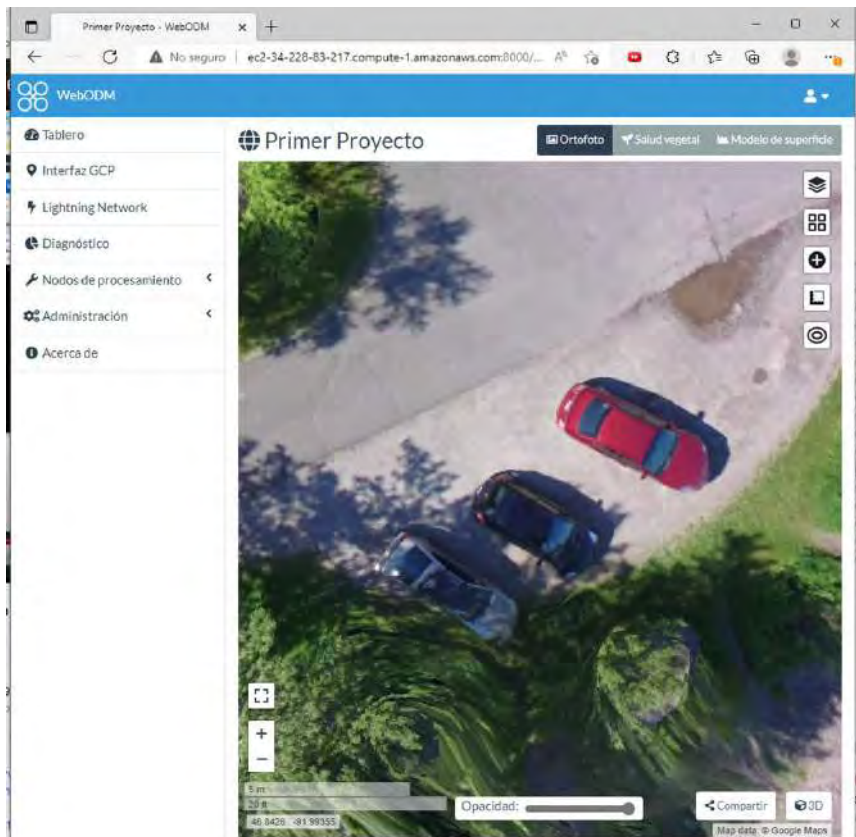


Figura 14 Calidad de ortofoto en RGB

Fuente Elaboración propia

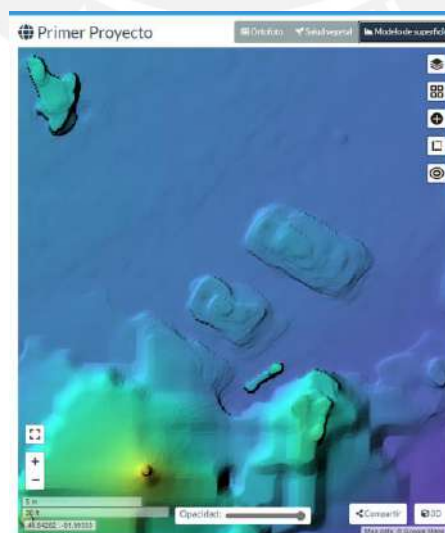


Figura 15 Modelo de la superficie de la ortofoto

Fuente Elaboración propia

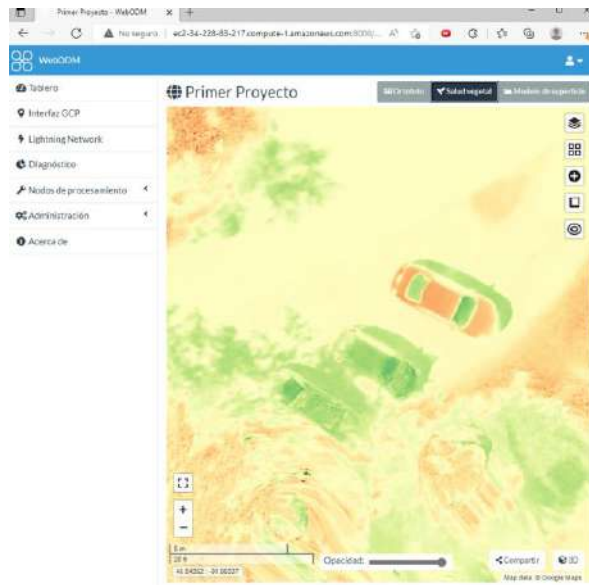
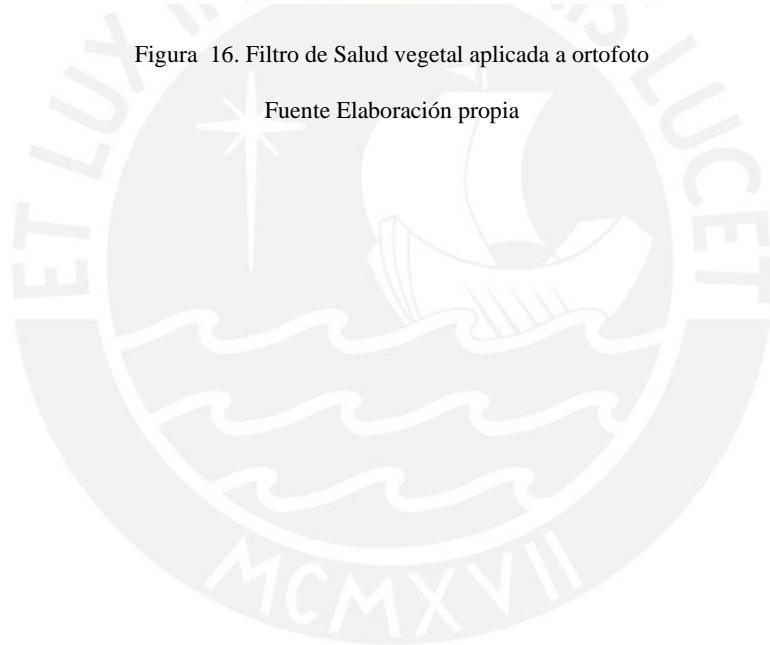


Figura 16. Filtro de Salud vegetal aplicada a ortofoto

Fuente Elaboración propia



Anexo D: Disposición de los componentes del dron



Figura 1. Disposición final de los componentes del dron

Fuente Elaboración propia



Figura 2. Disposición final de los componentes del dron

Fuente Elaboración propia

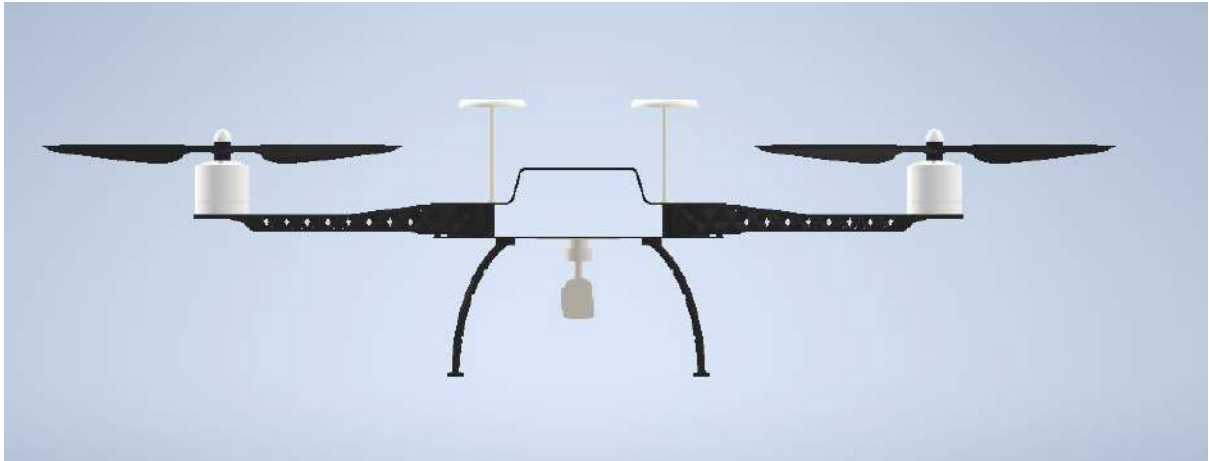


Figura 3. Disposición final de los componentes del dron

Fuente Elaboración propia



Figura 4. Disposición final de los componentes del dron

Fuente Elaboración propia

ANEXO E: Plan de vuelo y plan de cámara

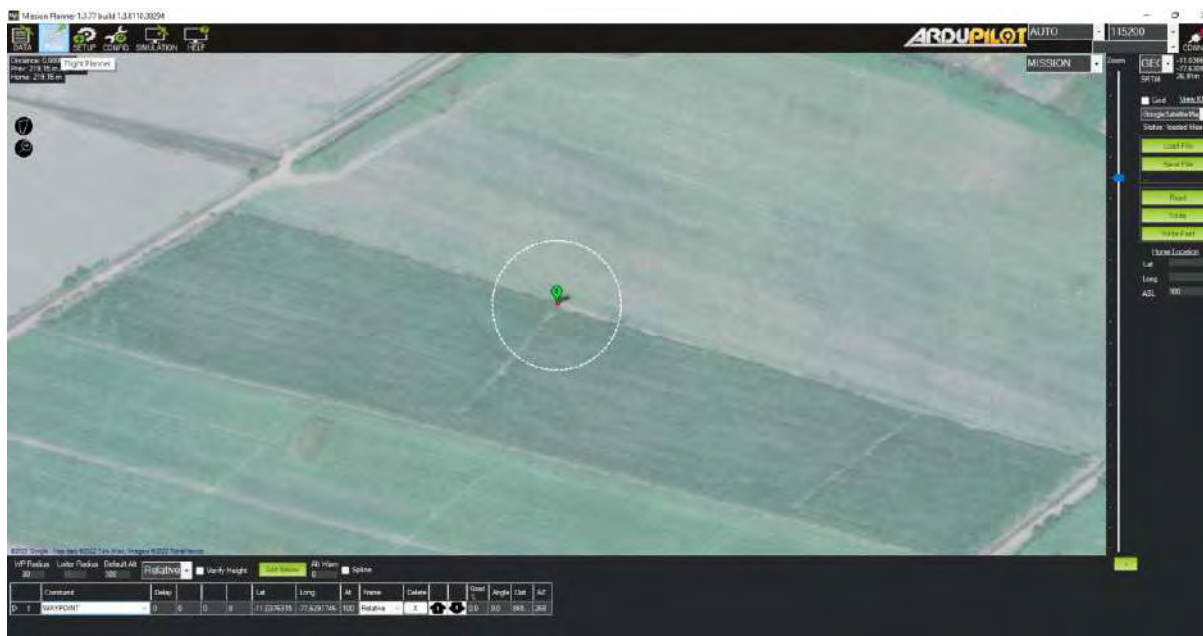


Figura 1. Creación de punto de partida

Fuente Elaboración propia



Figura 2. Creación de polígono
Fuente Elaboración propia

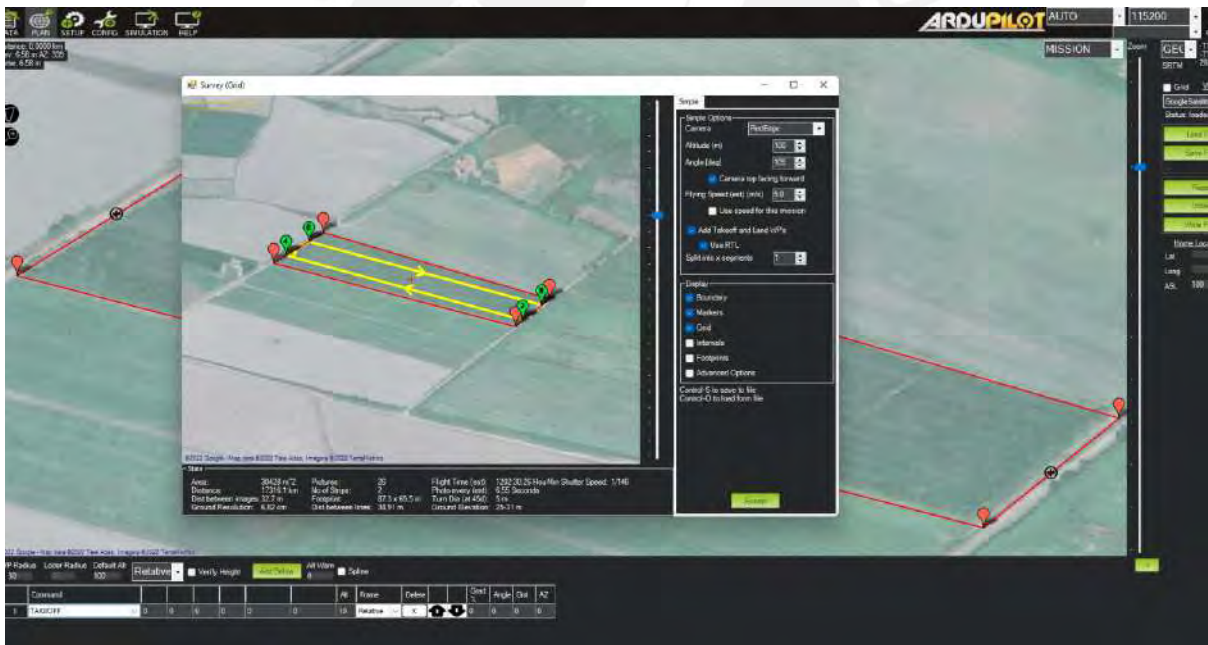


Figura 3. Creación automática de puntos intermedios
Fuente Elaboración propia



Figura 4. Cambio de parámetros para puntos de cámara
Fuente Elaboración propia

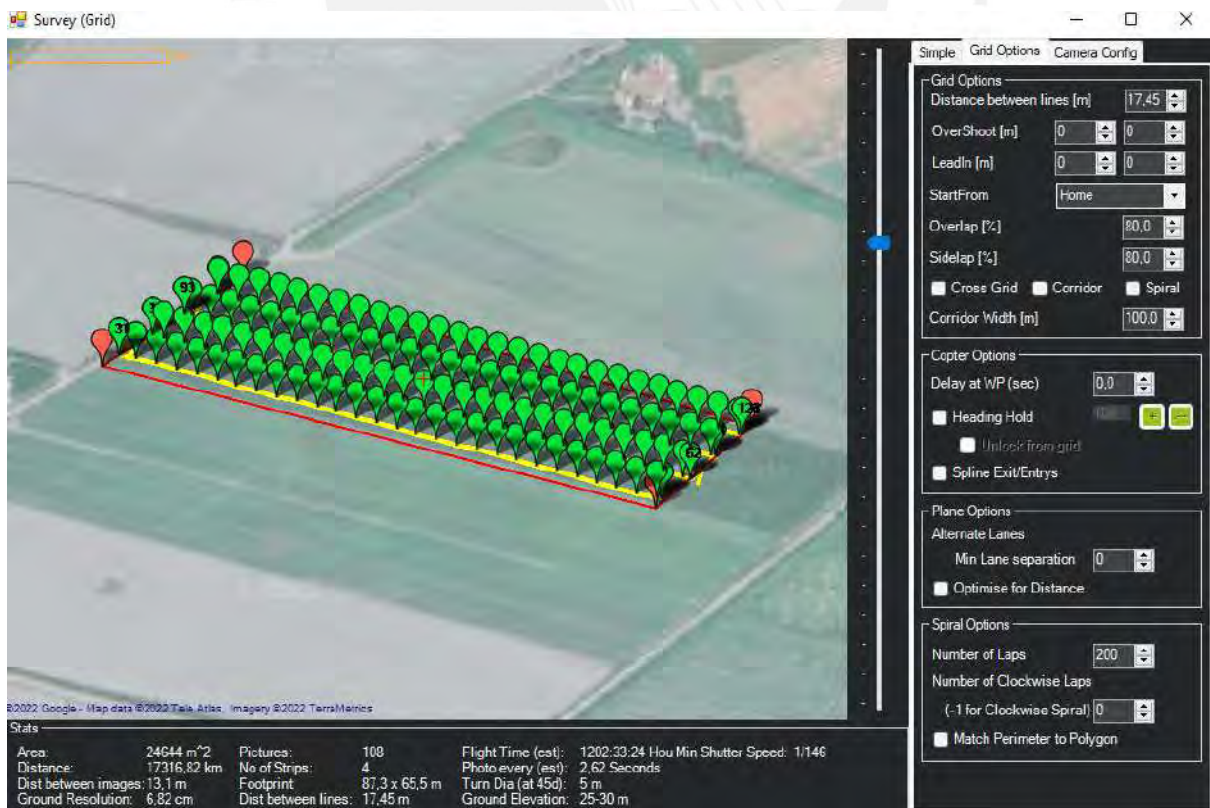


Figura 5. Cambio de parámetros en el Grid
Fuente Elaboración propia

ANEXO F: Código del algoritmo de procesamiento en la nube

```
import os #importar sistema operativo para carpetas
from glob import glob
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import time
import numpy as np
from matplotlib.colors import ListedColormap
import earthpy as et
#%matplotlib inline
start=time.time()
import earthpy.spatial as es
import earthpy.plot as ep

arr_st, meta = es.stack(['band3.tif', 'band4.tif'], nodata=-9999)
ndvi = es.normalized_diff(arr_st[0], arr_st[1])

# Crear las clases y aplicar el NDVI
ndvi_class_bins = [-np.inf, 0, 0.11, 0.251, 0.41, np.inf]
ndvi_landsat_class = np.digitize(ndvi, ndvi_class_bins)

# Aplicar la mascara para los que no se consideran
ndvi_landsat_class = np.ma.masked_where(
    np.ma.getmask(ndvi), ndvi_landsat_class
)

(uniq, freq) = (np.unique(ndvi_landsat_class.data, return_counts=True))
ratio=freq[1]/sum(freq)
if ratio>0.10:
    print('Please check the ndvi map because it has low values')
else:
    print('No problem')
end=time.time()

titles = ["Calculo de NDVI"]
# Evitar bytescale
ep.plot_bands(ndvi, cmap="RdYIGn", cols=1, title=titles, vmin=-1, vmax=1)

# Mapa de color
colores = ["gray", "y", "yellowgreen", "g", "darkgreen"]
#usar la lista de mapa
```

```

nbr_cmap = ListedColormap(colores)

# Nombres de las clases
ndvi_cat_names = [
    "Sin vegetacion",
    "Muy poca vegetacion",
    "Poca vegetacion ",
    "Vegetacion moderada",
    "Alta Vegetation",
]

# las clases
classes = np.unique(ndvi_landsat_class)
#crear lista
classes = classes.tolist()
# The mask returns a value of none in the classes. remove that
classes = classes[0:5]

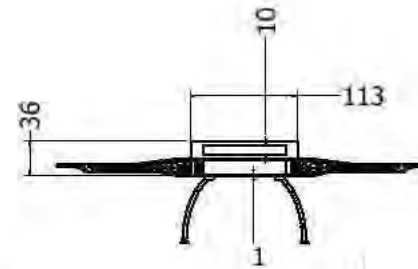
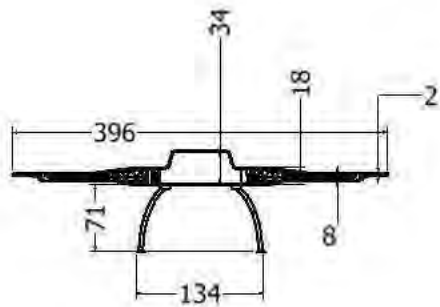
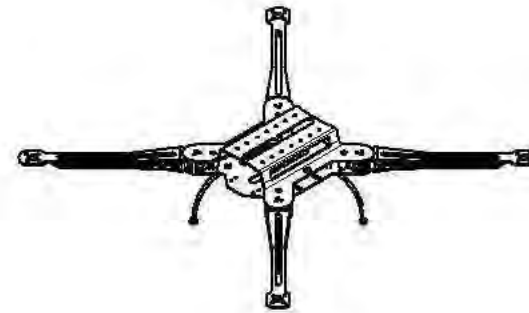
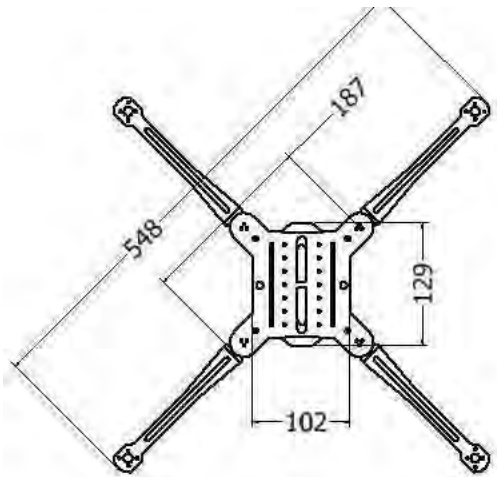
# Hacer el dibujo
fig, ax = plt.subplots(figsize=(15, 15))
#crear un eje con ax
im = ax.imshow(ndvi_landsat_class, cmap=nbr_cmap)

ep.draw_legend(im_ax=im, classes=classes, titles=ndvi_cat_names)
ax.set_title(
    "NDVI clasificado",
)
#axis off
ax.set_axis_off()

```

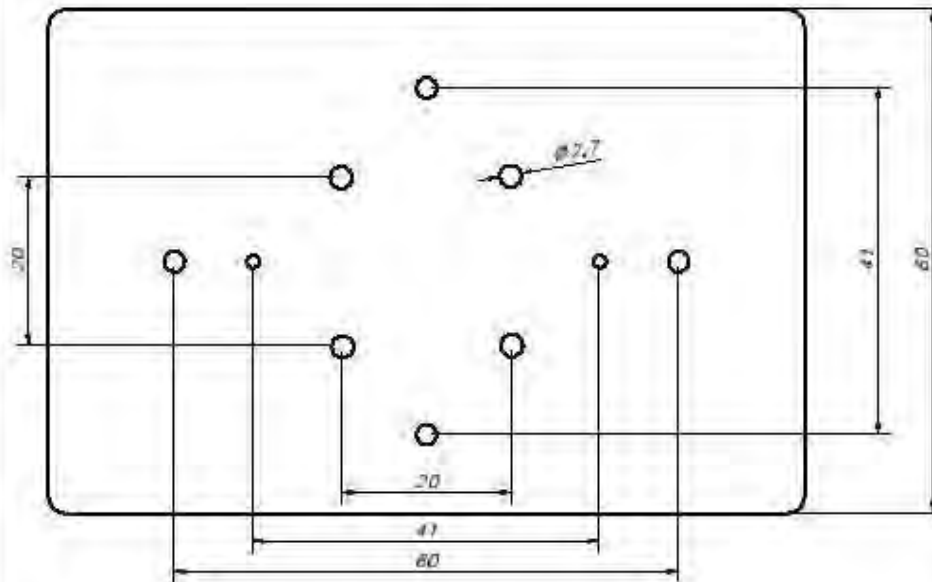
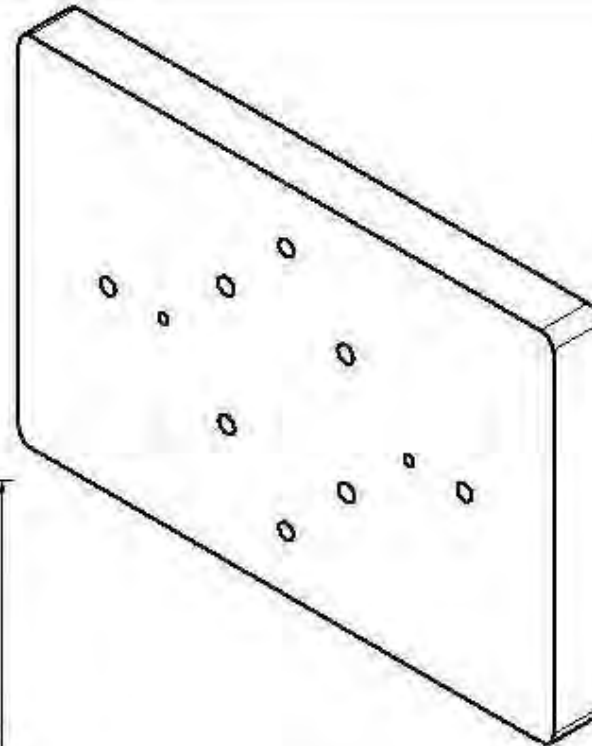
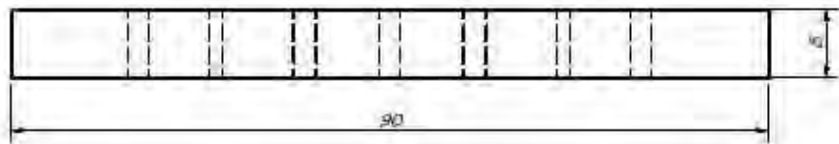


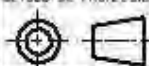
ANEXO G: Planos Mecánicos



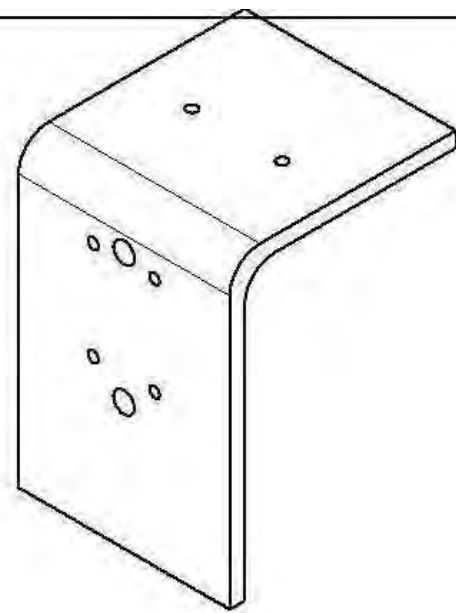
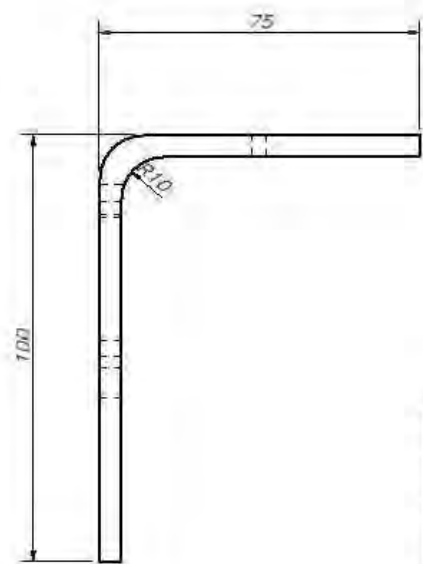
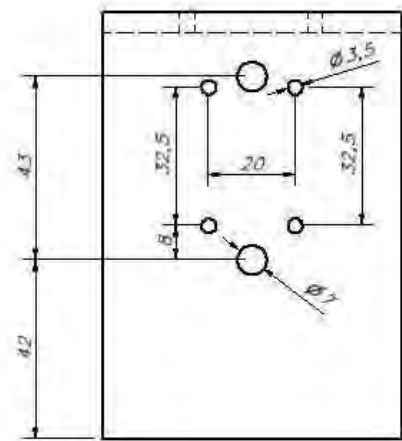
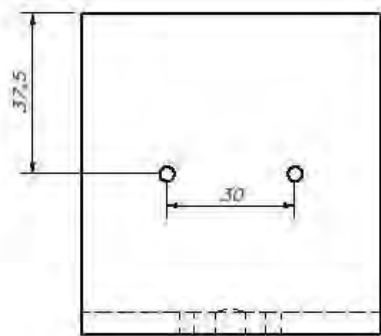
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
<i>PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ</i> <i>ING. MECATRONICA</i>					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		<i>FUSELAJE DE DRON</i>	ESCALA		
			<i>4:1</i>		
<i>20170407</i>		<i>MENDEZ CAM JOSEPH RAMSES</i>	FECHA: <i>2022.05.21</i>		
			LÁMINA: <i>4.1</i>		

E DTA
 NOMIN. E DTA
 ALUMNO E DTA
 GRUPO



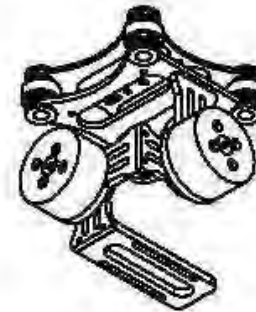
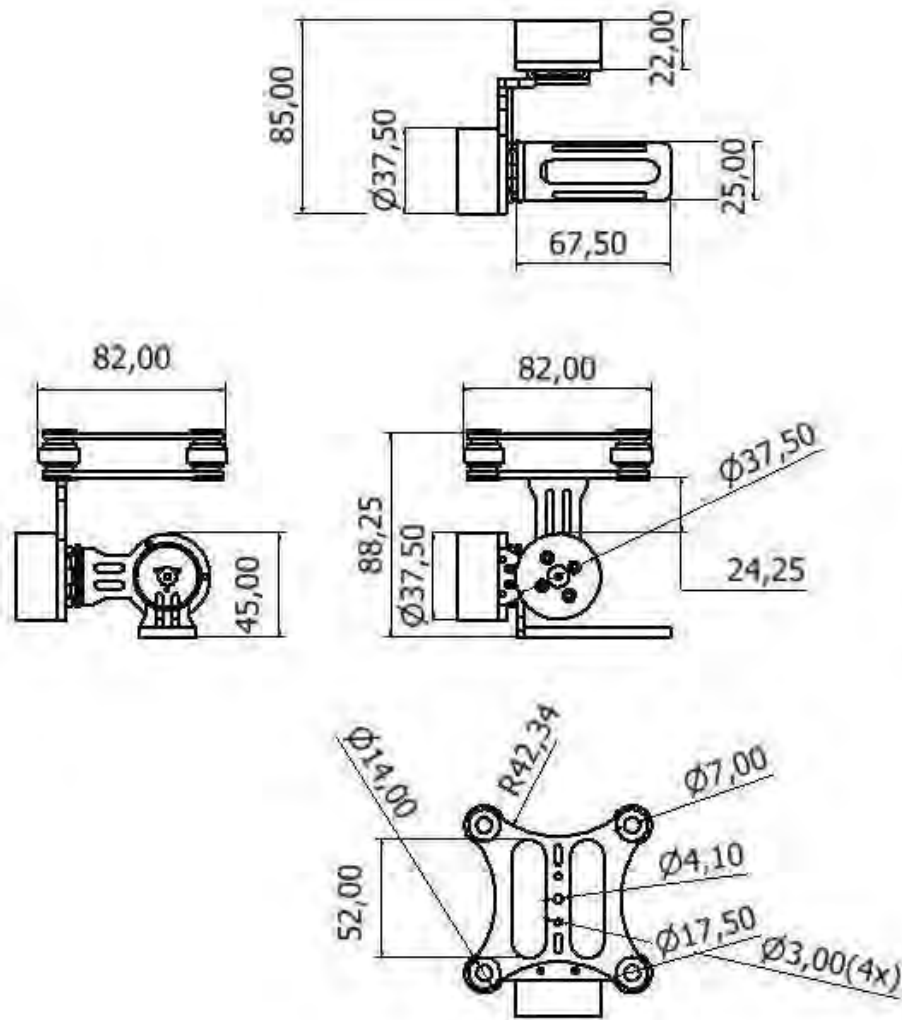
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRONICA				
MÉTODO DE PROYECCIÓN		ADAPTADOR CAMARA MULTIESPECTRAL		ESCALA
				2:1
20170407		MENDOZA CAM JOSEPH RAMSES		FECHA: 2022.05.21
				LAMINA: 45

C. DISEÑO	C. DISEÑO	C. DISEÑO
BOGARDI	SAEYUSA	GRIMALI



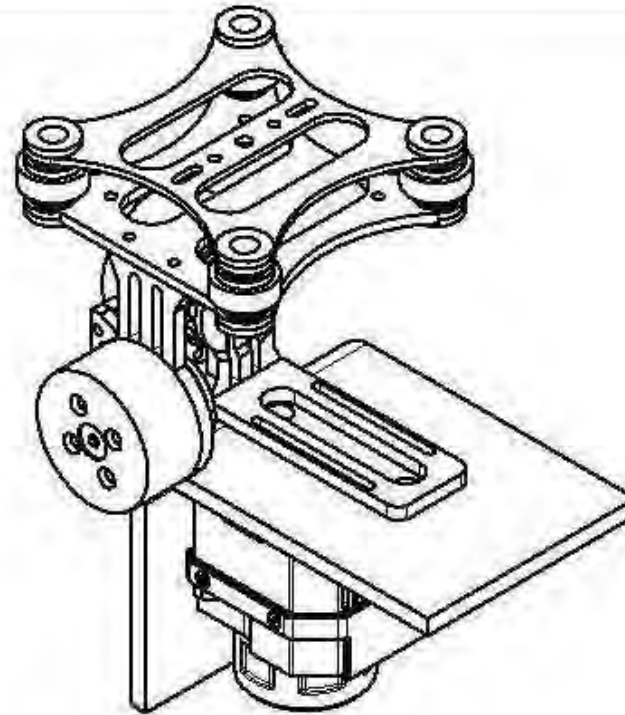
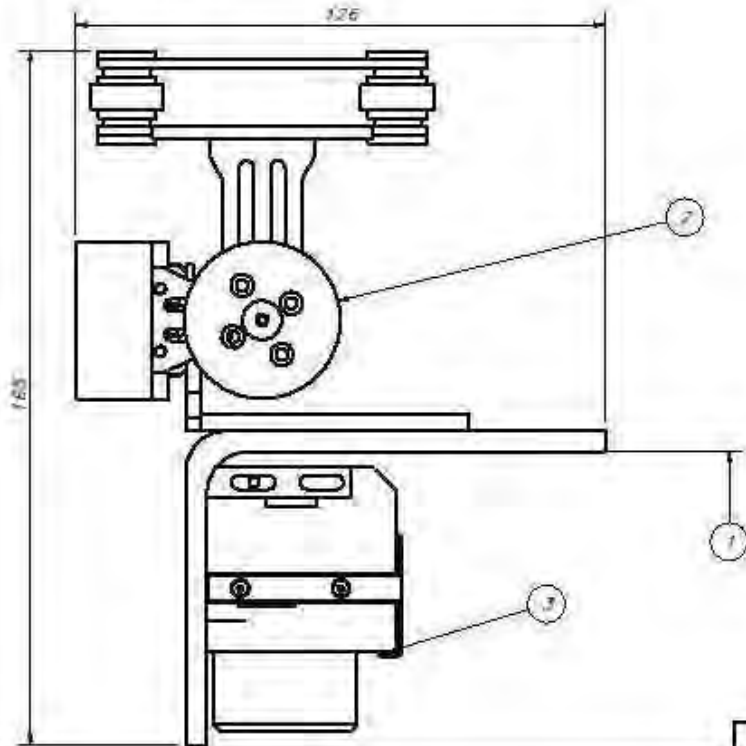
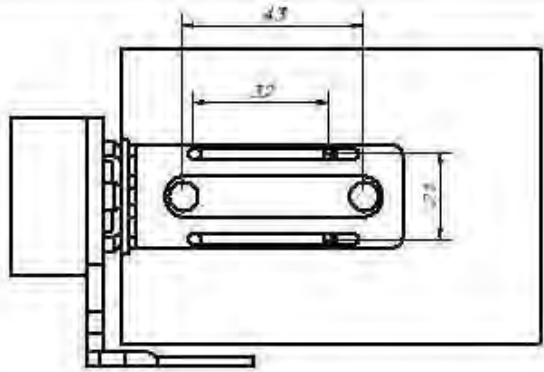
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRONICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		ADAPTADOR GIMBAL CAM. TERMICA	ESCALA		
			1:1		
20170407		MENDEZ CAM JOSEPH RAMSES	FECHA: 2022.05.21		
			LÁMINA: 43		

CGM NOMINAL	CGM MAXIMA	CGM MINIMA



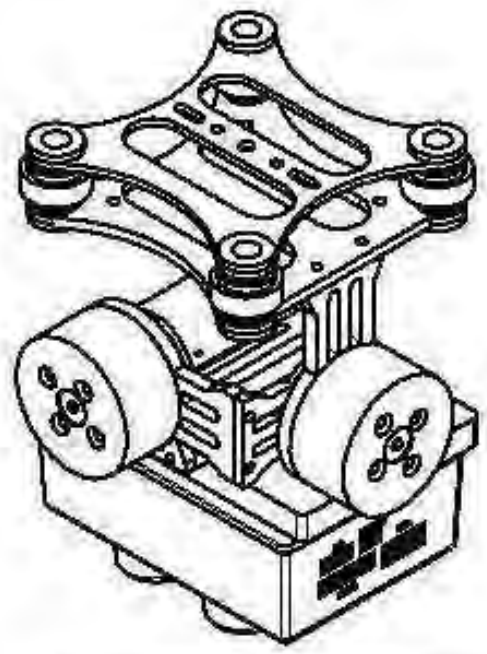
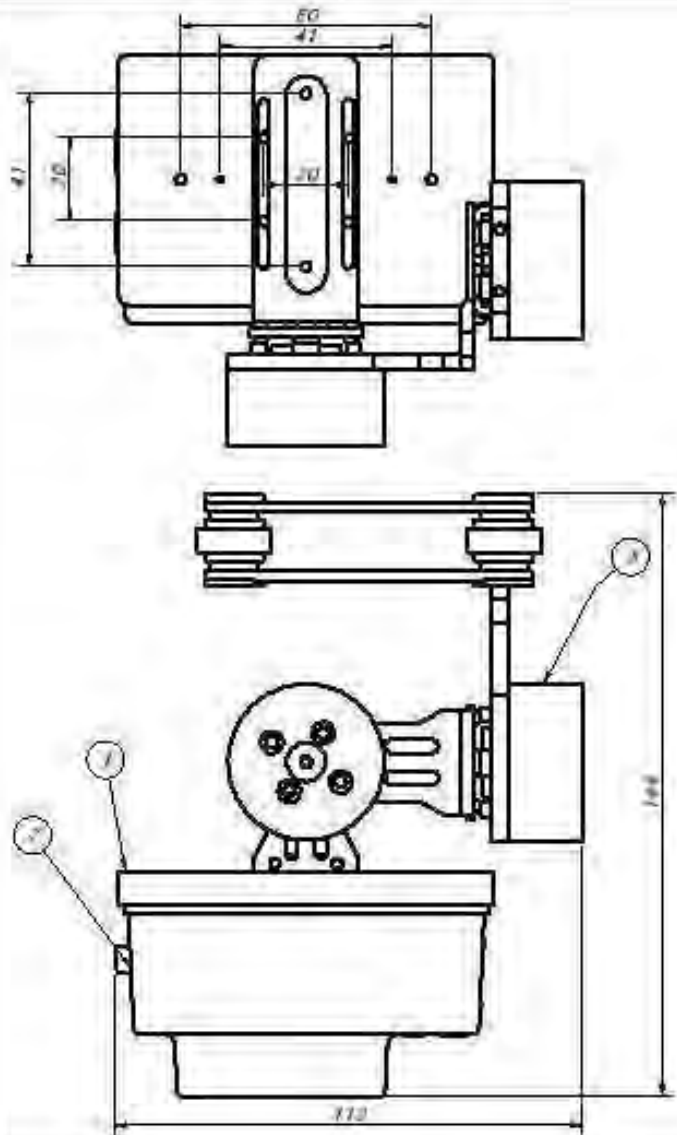
POS.	CANT.	DESCRIPCIÓN	NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING.MECATRONICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN					ESCALA
		FUSELAJE DE DRON			4:1
20170407		MENDEZ CAM JOSEPH RAMSES			FECHA: 2022.05.21
					LÁMINA: A.3

ESTD ACOMPAÑ.	ESTD MÁXIMA	ESTD MÍNIMA
------------------	----------------	----------------



PARTS LIST					
1	1	TR cam pro c		Plastico	
2	1	Gimbal		Metal	
1	1	soporte camera termica gimbal		Plastico	
POS.	CANT.	DESCRIPCION	UNIDAD	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU ING. MECATRONICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN			ENSAMBLE GIMBAL CAM. TERMICA		ESCALA
					1:1
20170407		MENDEZ CAM JOSEPH RAMSES		FECHA: 2022.05.21	
				LÁMINA: A3	

CODI VICARIO	CODI MAYOR	CODI MAYOR
-----------------	---------------	---------------



PARTS LIST				
1	1	Género		Genérico
2	1	Alcance Pinesse-8		Genérico
3	1	Alto parlante conector multiespectral		Realco
PES	UNID	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	ALTERNAS
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ ING. MECATRONICA				
MUNDO DE PROYECCIÓN		ENSAMBLE GIMBAL Y CAMARA		ESCALA
		MULTIESPECTRAL		1:1
20170407		MENDOZA CAM. JOSEPH RAMSES		FECHA: 2022.05.23
				CADENA: 4.7

PROF. DORADO	PROF. GARCIA	PROF. GARCIA
--------------	--------------	--------------

