



Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias

***REDISEÑO DE UN DRON DE ALA FIJA E IMPLEMENTACIÓN
DE CONTROL DE VUELO PARA APLICACIONES DE
VIGILANCIA AÉREA.***

Cristian Jakas

Trabajo final de Ingeniería Mecatrónica

Director
Carlos Gustavo Catuogno
Codirector
Juan Pablo Demichelis

Villa Mercedes, San Luis
Año 2025

DERECHO DE AUTOR

© 2025, Cristian Jakas.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, por su acompañamiento constante a lo largo de toda mi formación.

A mis padres, por haber sido siempre un pilar fundamental, brindándome los valores, el apoyo y la confianza necesarios para seguir adelante.

Y a mis amigos, por su compañía y por haber formado parte de este camino, tanto en lo académico como en lo personal.

A todos ellos, esta dedicación.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por su apoyo constante a lo largo de mi formación y por acompañarme en cada etapa de este proyecto.

A mis padres, por transmitirme con su ejemplo los valores del esfuerzo, la perseverancia y la responsabilidad.

Al Ing. Carlos Catuogno, director de este Trabajo Final, por su guía técnica, compromiso y colaboración en las pruebas de vuelo.

Al Ing. Juan Pablo Demichelis, codirector, por su disposición y valiosos aportes en las distintas etapas del trabajo.

Al Ing. Javier Pennacchioni, por su participación desinteresada como piloto de prueba.

Al Laboratorio de Tecnologías Apropriadas, por brindar el espacio, los recursos y el soporte técnico necesario.

A mis compañeros de estudio y amigos, por su acompañamiento durante la carrera y por compartir el trabajo diario.

Finalmente, a la Universidad Nacional de San Luis, por brindarme las herramientas y el entorno para desarrollarme profesionalmente.

RESUMEN

El presente Trabajo Final tiene como objetivo principal el rediseño e implementación de un dron de ala fija para aplicaciones de vigilancia aérea, utilizando tecnologías abiertas y métodos de fabricación accesibles. El proyecto se desarrolla como continuidad de la Práctica Profesional Supervisada (PPS) titulada *Construcción de un dron de ala fija para vigilancia aérea* [1], en la cual se construyó el prototipo inicial basado en el modelo de código abierto Titan Talon, optimizado para impresión 3D.

El trabajo se enfocó en la adaptación del diseño original mediante herramientas CAD, resolviendo limitaciones estructurales, de montaje y aerodinámicas. Se incorporaron refuerzos internos, ajustes en la distribución de componentes para optimizar el centro de gravedad, una nariz desmontable y un sistema de montaje electrónico basado en un riel interno. Además, se realizó la extensión de las alas y la reubicación de los servomotores para mejorar la eficiencia en vuelo.

En el sistema de control se utilizó el firmware INAV, permitiendo la implementación de modos de vuelo estabilizados y autónomos. Se configuraron y probaron exitosamente los modos ANGLE, LOITER, NAV ALTHOLD y la función AUTO TUNE para ajuste dinámico de parámetros PID. Las pruebas de vuelo se llevaron a cabo en el aeroclub de la ciudad de Villa Mercedes, obteniendo resultados satisfactorios tras ajustes en la motorización y en la estructura del fuselaje.

Finalmente, se presenta un análisis de costos detallado, con un enfoque en la reutilización y donación de componentes, permitiendo la construcción del sistema con un presupuesto reducido. La experiencia demuestra la viabilidad de desarrollar vehículos aéreos no tripulados funcionales y versátiles mediante el uso de tecnologías de bajo costo y recursos disponibles localmente.

Palabras claves — Dron de ala fija, impresión 3D, INAV, control de vuelo, rediseño estructural, vuelo autónomo, vehículo aéreo no tripulado, sistema FPV.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPITULO 1: Propuesta	13
1.1. Introducción.....	13
1.1.1. Presentación del trabajo.....	13
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo general.....	14
1.2.2. Objetivos específicos.....	14
1.3. Alcance y limitaciones	15
Alcance	15
Limitaciones.....	15
1.4. Justificación.....	16
1.5. Marco teórico.....	17
1.5.1. Vehículos aéreos no tripulados	17
1.5.2. Drones de ala fija.....	17
1.5.3. Fabricación mediante impresión 3D	19
1.5.4. Control de vuelo.....	19
1.5.5. Firmware INAV	20
1.5.6. Telemetría y monitoreo de vuelo	20
1.5.7. Regulación y normativa para UAVs en Argentina	20
1.6. Estado del arte	21
1.6.1. Drones de ala fija en aplicaciones civiles	21
1.6.2. Diseños de drones de código abierto.....	22
1.6.3. Uso de UAVs en vigilancia aérea	23
1.6.4. Desarrollos a nivel local.....	23
Proyecto Ojo de Halcón – UNSL.....	23
CAPITULO 2: Diseño del dron	25
2.1. Modelo original.....	25

2.2.	Justificación del rediseño	26
2.3.	Metodología de rediseño.....	27
2.4.	Modificaciones realizadas	27
2.4.1.	Nariz del dron	27
2.4.2.	Refuerzo de la raíz alar	28
2.4.3.	Extensión de las varillas de carbono en las alas.....	31
2.4.4.	Extensión de las alas.....	32
2.4.5.	Reposicionamiento de los servomotores	33
2.4.6.	Incremento de ángulo de apertura de la tapa superior	35
2.4.7.	Incorporación de un riel interno de montaje	37
2.4.8.	Diseño de soportes para los componentes electrónicos.....	37
2.5.	Descripción del diseño final	38
CAPÍTULO 3: Materiales y componentes electrónicos		39
3.1.	Material de impresión.....	39
3.2.	Componentes electrónicos principales	39
CAPÍTULO 4: Construcción del dron		41
4.1.	Fabricación de piezas	41
4.2.	Ensamblaje estructural.....	42
4.3.	Integración de la electrónica	42
CAPÍTULO 5: Configuración del controlador		44
5.1.	Configuración inicial	44
5.2.	Modos de vuelo	44
5.3.	Pantalla FPV	46
5.4.	Configuración de puertos	47
5.5.	Programación de vuelo	48
CAPÍTULO 6: Pruebas experimentales.....		49
6.1.	Prueba en tierra	49
6.1.1.	Adecuación del diseño y componentes.....	50

6.2.	Primera prueba de vuelo.....	51
6.2.1.	Adecuación del diseño	52
6.3.	Segunda prueba de vuelo	53
6.4.	Resultados experimentales.....	56
6.4.1.	Modos de vuelo	56
6.4.2.	Telemetría.....	56
	Primer vuelo:	57
	Segundo vuelo:.....	57
6.4.3.	Desempeño estructural en vuelo.....	58
6.4.4.	Video.....	59
CAPITULO 7: Recursos y Análisis de Costos.....		61
7.1.	Recursos humanos	61
7.2.	Recursos físicos.....	62
7.2.1.	Equipamiento informático y software.....	62
7.2.2.	Herramientas y dispositivos.....	62
7.3.	Recursos económicos.....	62
7.3.1.	Elementos estructurales	63
7.3.2.	Electrónica y potencia	63
7.3.3.	Materiales adicionales	64
7.3.4.	Resumen general	64
CAPITULO 8: Propuestas de mejoras		66
8.1.	Incorporación de cámara digital HD.....	66
8.2.	Sistemas de despegue y aterrizaje	66
8.3.	Sistema de liberación de carga útil	67
8.4.	Protección para componentes electrónicos	67
8.5.	Incorporación de sensores complementarios	67
CAPITULO 9: Conclusión.....		69
Glosario		70

Referencias Bibliográficas 71

Anexo A – Vistas del modelo 3D 72

Anexo B – Manual de armado del dron 75

Anexo C – Informe de Práctica Profesional Supervisada 78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuerza de sustentación generada por el perfil alar.....	18
Figura 2. Ejes de movimiento principales de una aeronave.	18
Figura 3. Ejes de movimiento principales de una aeronave.	22
Figura 4. Carlos Catuogno, fundador del Proyecto Ojo de Halcón, junto al prototipo LabTA-X03.....	24
Figura 5. Prototipo LabTA-X04.....	24
Figura 6. Diseño del Titan Talon original.....	25
Figura 7. Pieza en formato STL importada al software CAD.	26
Figura 8. Nariz original.	28
Figura 9. Nariz rediseñada.	28
Figura 10. Elemento del fuselaje original.	29
Figura 11. Elemento del fuselaje rediseñado.	29
Figura 12. Análisis de esfuerzos en el diseño original.	30
Figura 13. Análisis de esfuerzos del rediseño.....	30
Figura 14. Visualización de las varillas de carbono de 8 mm del diseño original.	31
Figura 15. Visualización de las varillas de carbono de 8 mm del rediseño.	32
Figura 16. Comparación del ala original (arriba) y el ala rediseñada (abajo).	33
Figura 17. Posición original de los servomotores.	34
Figura 18. Posición original de los servomotores.	34
Figura 19. Posición modificada de los servomotores.....	35
Figura 20. Posición modificada de los servomotores.....	35
Figura 21. Ángulo de apertura de la tapa original.	36
Figura 22. Ángulo de apertura de la tapa rediseñada.....	36
Figura 23. Soporte original de anclaje interno.....	37
Figura 24. Riel de montaje del rediseño.....	37
Figura 25. Visualización de los componentes electrónicos y sus elementos de anclaje.	38
Figura 26. Titan Talon rediseñado.	38

Figura 27. Impresión 3D del fuselaje.....	41
Figura 28. Titan Talon ensamblado.....	42
Figura 29. Fijación de los componentes electrónicos al fuselaje.	43
Figura 30. Esquema de conexión de los componentes electrónicos.	43
Figura 31. Configuración de los modos de vuelo.	45
Figura 32. Esquema de mandos del transmisor T10J.	46
Figura 33. OSD implementado en el dron.....	47
Figura 34. Configuración de puertos.	48
Figura 35. Pruebas en tierra del dron.....	49
Figura 36. Motor brushless SunnySky X2814 y hélice 11x7 pulgadas.	50
Figura 37. Comparación del dron luego de la extensión del fuselaje.	51
Figura 38. Daños en el fuselaje y tapa superior luego del aterrizaje del primer vuelo.	52
Figura 39. Comparación entre la primera versión del fuselaje y la versión mejorada.	53
Figura 40. Segunda prueba de vuelo.	54
Figura 41. Segunda prueba de vuelo.	54
Figura 42. Segunda prueba de vuelo.	55
Figura 43. Segunda prueba de vuelo.	55
Figura 44. Vista del registro de vuelo desde el software Mission Planner.....	57
Figura 45. Vista satelital del recorrido de vuelo.	58
Figura 46. Captura de la cámara FPV con el modo ANGLE activado.	59
Figura 47. Captura de la cámara FPV con el modo LOITER activado.	60
Figura 48. Captura de la cámara FPV en vuelo manual.	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes electrónicos	39
Tabla 2. Modos de vuelo	44
Tabla 3. Telemetría del primer vuelo.....	57
Tabla 4. Telemetría del segundo vuelo	57
Tabla 5. Estimación de horas de trabajo dedicadas.	61
Tabla 6. Software y equipamiento informático.	62
Tabla 7. Herramientas y dispositivos.	62
Tabla 8. Elementos estructurales.....	63
Tabla 9. Electrónica y potencia.	64
Tabla 10. Materiales adicionales.....	64

CAPITULO 1: Propuesta

1.1. Introducción

1.1.1. Presentación del trabajo

En las últimas décadas, el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV, por sus siglas en inglés: *Unmanned Aerial Vehicles*) se ha expandido de forma sostenida en aplicaciones civiles, comerciales y académicas. Particularmente, los drones de ala fija han demostrado ser una solución eficiente para tareas que requieren cobertura de grandes extensiones de terreno, como el monitoreo ambiental, la agricultura de precisión o la vigilancia aérea. Su capacidad para mantener el vuelo durante tiempos prolongados, junto con una mayor autonomía y menor consumo energético respecto a los multirrotores, los posiciona como una alternativa accesible y versátil. [2]

Este trabajo se enfoca en el desarrollo de un dron de ala fija operado por radiocontrol, con capacidad de vuelo en primera persona (FPV, por sus siglas en inglés: *First Person View*) y funciones de navegación autónoma. La plataforma fue diseñada a partir de un modelo de licencia libre, lo que permitió realizar un rediseño estructural adaptado a los recursos disponibles y optimizado para su fabricación mediante impresión 3D. La elección de tecnologías abiertas y componentes reutilizables responde a la necesidad de desarrollar soluciones de bajo costo, sin sacrificar funcionalidad ni desempeño.

La propuesta se articula como una continuación del proyecto realizado en la PPS, donde se concretó la construcción física del dron y la integración básica de su electrónica. En este Trabajo Final, se profundiza en el rediseño del modelo 3D de la aeronave, así como en la configuración del sistema de control de vuelo mediante el uso del firmware INAV, incluyendo la programación del piloto automático, la calibración de sensores y la implementación de una interfaz de monitoreo que permita visualizar parámetros críticos durante el vuelo en tiempo real.

El trabajo integra conocimientos adquiridos en distintas áreas de la Ingeniería Mecatrónica, como el diseño mecánico asistido por computadora, la manufactura aditiva, la integración de sensores y actuadores, y la configuración de sistemas de control. Como resultado, se desarrolló un dron funcional y estable, capaz de operar tanto en modo manual como en forma autónoma, con prestaciones adecuadas para tareas de vigilancia aérea.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Rediseñar e implementar un dron FPV de ala fija a radio control para aplicaciones de vigilancia aérea.

1.2.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir un dron FPV de ala fija basado en un modelo de licencia libre.
- Seleccionar sensores, actuadores y componentes electrónicos adecuados para el control y monitoreo del vuelo.
- Implementar un sistema de control automático utilizando el firmware INAV.
- Realizar pruebas de vuelo para validar el desempeño del dron y su sistema de control.
- Desarrollar un informe técnico detallado que documente el proceso de rediseño y resultados.

1.3. Alcance y limitaciones

Alcance

El presente trabajo abarca el rediseño, construcción, configuración y validación de un dron de ala fija operado por radiocontrol, con capacidad de vuelo FPV y navegación autónoma. El proyecto contempla:

- La adaptación y modificación de un modelo 3D de licencia libre para su fabricación mediante impresión 3D.
- La integración de componentes electrónicos tales como sensores, servomotores, módulo GPS, sistema de telemetría, transmisor de video y controlador de vuelo compatible con INAV.
- La implementación de un sistema de control de vuelo automático basado en firmware libre.
- El diseño de una interfaz de monitoreo para la visualización en tiempo real de parámetros del vuelo.
- La realización de pruebas de vuelo controladas para evaluar el comportamiento dinámico del sistema.

Limitaciones

El proyecto presenta ciertas restricciones que condicionan su desarrollo:

- El diseño no contempla la inclusión de sistemas avanzados de visión artificial o procesamiento de imágenes en tiempo real.
- Las pruebas de vuelo se realizaron únicamente en un entorno controlado (Aeroclub de Villa Mercedes), sin exponer la aeronave a condiciones climáticas adversas ni a terrenos complejos. Esta restricción se debió a la falta de licencia habilitante para la operación de drones en espacios públicos o no controlados.
- Se utilizaron sensores y componentes disponibles en el laboratorio, por lo que la elección de hardware estuvo condicionada por la disponibilidad de recursos.

- La autonomía y el alcance del sistema están limitados por la capacidad de la batería y la potencia de los sistemas de transmisión seleccionados.
- El dron no incorpora sistemas de evasión de obstáculos ni mecanismos de seguridad redundantes, más allá de la función de retorno automático al punto de origen (RTH, por sus siglas en inglés: Return To Home).

1.4. Justificación

El desarrollo de UAVs de bajo costo es una necesidad creciente en contextos donde se requieren soluciones tecnológicas accesibles para tareas de vigilancia, monitoreo ambiental y recolección de datos. Los drones de ala fija representan una opción especialmente eficiente en términos de autonomía y cobertura, siendo capaces de mantener el vuelo por tiempos prolongados con un consumo energético reducido. [3]

Este proyecto surge como respuesta a dicha necesidad, integrando principios de la Ingeniería Mecatrónica mediante el uso de tecnologías abiertas, impresión 3D, y sistemas de control programables. La elección de un diseño de código abierto no solo reduce costos, sino que permite adaptar la estructura y electrónica del dron a las condiciones reales del entorno y a los componentes disponibles.

Asimismo, el uso del firmware INAV ofrece una solución flexible y de alto rendimiento para implementar funciones de navegación autónoma sin requerir desarrollos desde cero, lo que permite concentrar esfuerzos en la integración, validación y puesta a punto del sistema. La implementación de este tipo de plataformas promueve el desarrollo de tecnologías propias, fomenta el aprendizaje práctico y contribuye al avance de soluciones aplicadas en el ámbito académico y profesional.

1.5. Marco teórico

1.5.1. Vehículos aéreos no tripulados

Los UAVs son plataformas aéreas capaces de volar sin la necesidad de un piloto a bordo. Su control puede ser remoto, automático o híbrido, y su aplicación abarca múltiples sectores como agricultura, vigilancia, mapeo, logística y defensa.

Existen diferentes tipos de UAVs según su configuración aerodinámica: multirrotores, alas fijas y de despegue y aterrizaje vertical (VTOL, por sus siglas en inglés: *Vertical Take-Off and Landing*). Los drones de ala fija, como el desarrollado en este trabajo, presentan una mayor eficiencia aerodinámica y mayor autonomía en comparación con los multirrotores, lo que los hace útiles en aplicaciones de cobertura de grandes áreas. [4]

1.5.2. Drones de ala fija

Los drones de ala fija se caracterizan por contar con superficies sustentadoras similares a las de una aeronave convencional. La sustentación se genera a partir del flujo de aire sobre el perfil alar, lo que les permite planear y consumir menos energía durante el vuelo horizontal. A diferencia de los multirrotores, requieren mayor espacio para las maniobras de despegue y aterrizaje, y no pueden mantenerse estáticos en el aire. Sin embargo, estas limitaciones se ven compensadas por su mayor eficiencia aerodinámica, especialmente en vuelos de larga duración.

El diseño de una aeronave de ala fija involucra múltiples factores: la elección adecuada del perfil alar, la configuración de cola, la distribución de masas, la rigidez estructural y la eficiencia aerodinámica general. El perfil alar (ver Figura 1) se compone del extradós (parte superior) y el intradós (parte inferior). Debido a su geometría, el flujo de aire es más rápido sobre el extradós, lo que genera una zona de baja presión en esa superficie. La diferencia de presión entre ambas caras del ala produce la fuerza de sustentación, permitiendo que la aeronave se mantenga en vuelo. La forma del perfil y su ángulo de ataque influyen directamente en la eficiencia, maniobrabilidad y estabilidad del sistema.

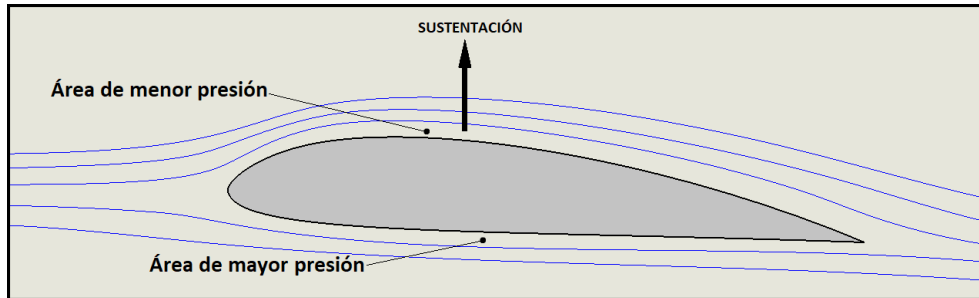


Figura 1. Fuerza de sustentación generada por el perfil alar.

Asimismo, el centro de gravedad (CG) debe estar correctamente ubicado para garantizar un vuelo estable. Una posición inadecuada del CG puede comprometer la estabilidad longitudinal, provocando comportamientos indeseados como pérdida de control, entrada en pérdida o dificultades durante las maniobras de despegue y aterrizaje.

Por otro lado, y tal como se muestra en la Figura 2, el movimiento de los alerones, junto con el elevador y el timón, permite controlar la aeronave en sus tres ejes principales: alabeo (eje longitudinal), cabeceo (eje transversal) y guiñada (eje vertical). Esta interacción entre superficies de control resulta esencial para realizar maniobras precisas y mantener la orientación deseada durante el vuelo.

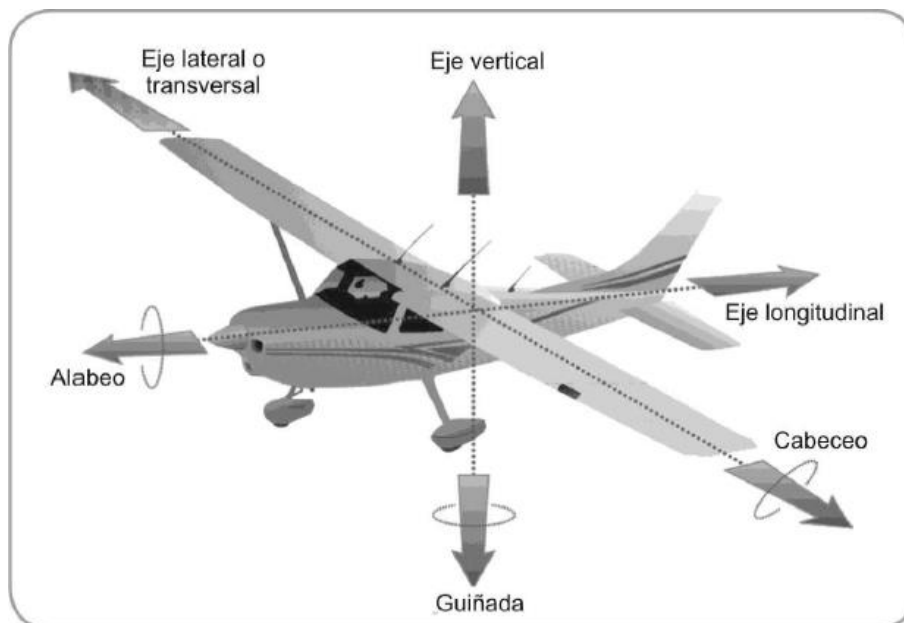


Figura 2. Ejes de movimiento principales de una aeronave.

Fuente: extraído de [5].

1.5.3. Fabricación mediante impresión 3D

La fabricación aditiva o impresión 3D es una tecnología que permite la creación de objetos tridimensionales capa por capa a partir de modelos digitales. En el ámbito de la aeronáutica ligera y de los drones, esta técnica se ha vuelto popular por su bajo costo, rapidez en la iteración de diseños y la posibilidad de personalizar piezas estructurales, que serían difíciles o costosos de realizar por métodos tradicionales. Además, permite desarrollar estructuras modulares y fácilmente reparables, ya que las partes dañadas pueden ser reemplazadas individualmente sin necesidad de rehacer todo el conjunto.

Los materiales más comunes para drones impresos en 3D incluyen variaciones de PLA, PETG, ABS y nylon, elegidos según criterios de resistencia mecánica, peso y facilidad de impresión.

1.5.4. Control de vuelo

El control de vuelo en UAVs consiste en mantener la estabilidad y gobernar el movimiento de la aeronave mediante la actuación sobre sus superficies de control. En aeronaves de ala fija, este control se realiza modificando los momentos de cabeceo, rolido y guiñada, que corresponden a los tres ejes principales del cuerpo del dron.

Para lograr un vuelo seguro y estable, se implementan controladores automáticos basados en algoritmos como PID (Proporcional-Integral-Derivativo), los cuales calculan las salidas necesarias para minimizar el error entre el comportamiento deseado y el real. Estos algoritmos permiten estabilizar la aeronave frente a perturbaciones externas como ráfagas de viento, turbulencias o errores de pilotaje.

Además, los sistemas modernos de control integran sensores de navegación y orientación, como acelerómetros, giróscopos, magnetómetros, barómetros y receptores GPS, que permiten obtener en tiempo real la actitud, posición y altitud del dron. Todos estos sensores trabajan en conjunto a través de un software especializado de control de vuelo, que se encarga de interpretar las señales y ejecutar las correcciones necesarias para mantener la aeronave estable y operativa.

Uno de los firmwares más utilizados en este tipo de aplicaciones es INAV, desarrollado para drones de ala fija y multirrotores que requieren funciones avanzadas de navegación y vuelo asistido.

1.5.5.Firmware INAV

INAV [6] es un firmware de código abierto diseñado para controladores de vuelo, orientado a drones de ala fija y multirrotores que requieren funciones de navegación autónoma. Este firmware permite el uso de sensores GPS, barómetros y magnetómetros para habilitar modos de vuelo asistido y navegación automatizada.

Entre sus principales funciones se encuentran:

- Mantenimiento de altitud y posición (NAV ALTHOLD, LOITER).
- Estabilización automática (ANGLE).
- Retorno al punto de origen (NAV RTH).
- Sintonización automática de parámetros de control PID (AUTO TUNE).

1.5.6.Telemetría y monitoreo de vuelo

La telemetría es el sistema que permite enviar y recibir datos desde el dron hacia una estación en tierra, permitiendo al operador monitorear en tiempo real parámetros como altitud, velocidad, orientación, ubicación GPS y estado de la batería. Esto puede realizarse mediante módulos dedicados de radiofrecuencia o a través de sistemas de visualización en pantalla (OSD, por sus siglas en inglés: *On-Screen Display*) que superponen datos en la imagen de la cámara FPV.

1.5.7.Regulación y normativa para UAVs en Argentina

El uso de vehículos aéreos no tripulados está sujeto a regulaciones específicas que buscan garantizar la seguridad operativa, la privacidad de terceros y el orden en el espacio aéreo. En Argentina, la autoridad competente en materia de aviación civil es la Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC), organismo que regula la operación de aeronaves pilotadas a distancia mediante la Disposición 527/2015 [7], entre otras normativas.

Esta disposición clasifica a los UAVs en diferentes categorías según su peso y uso, y establece requisitos mínimos para su operación, tales como:

- Registro obligatorio de la aeronave.
- Licencia de operador para vuelos más allá del uso recreativo.
- Seguro de responsabilidad civil.
- Vuelos restringidos a espacios aéreos no controlados o previamente autorizados.
- Prohibición de volar sobre aglomeraciones de personas o infraestructuras críticas.

En el caso particular de este proyecto, las pruebas de vuelo se realizaron exclusivamente en el Aeroclub de Villa Mercedes, un entorno controlado y autorizado, ya que no se contaba con la licencia habilitante para operar UAVs en espacios aéreos públicos. Esta decisión fue adoptada en cumplimiento de las normativas vigentes y con el objetivo de garantizar condiciones de seguridad durante los ensayos.

1.6. Estado del arte

1.6.1. Drones de ala fija en aplicaciones civiles

En los últimos años, los drones de ala fija han adquirido gran relevancia en el ámbito civil gracias a su capacidad para realizar vuelos de largo alcance y duración con un consumo energético reducido [2]. Estas aeronaves son ideales para tareas que requieren cobertura aérea extensa, como:

- Vigilancia y monitoreo ambiental
- Agricultura de precisión
- Cartografía y fotogrametría
- Control de fronteras o perímetros rurales
- Misiones de búsqueda y rescate

El aumento en la accesibilidad de tecnologías de navegación, sensores, y firmware libre ha permitido que estos sistemas sean cada vez más utilizados por instituciones educativas, organismos públicos, empresas e incluso desarrolladores independientes.

Un ejemplo representativo de este tipo de aeronaves es el Aeromapper Talon [8], un dron de ala fija bimotor diseñado específicamente para fotografía aérea, mapeo y monitoreo de grandes superficies. Su diseño robusto, capacidad de carga útil y autonomía extendida lo posicionan como una referencia dentro de las soluciones comerciales orientadas a tareas de vigilancia y recolección de datos geoespaciales.



Figura 3. Ejes de movimiento principales de una aeronave.

Fuente: extraído de [8].

1.6.2. Diseños de drones de código abierto

En el ámbito académico y de desarrolladores independientes, ha surgido una comunidad activa que comparte modelos de drones de código abierto, accesibles para su descarga, modificación e impresión 3D. Plataformas como Thingiverse, RC Groups y GitHub han promovido el desarrollo colaborativo de diseños funcionales, probados y mejorados por la comunidad global.

Modelos como el Titan Talon, utilizado como base en este proyecto, son ejemplos representativos de esta tendencia. Se trata de diseños modulares, pensados para ser fabricados con impresoras 3D de bajo costo, lo que democratiza el acceso al desarrollo de aeronaves experimentales. No obstante, estos diseños suelen requerir ajustes o rediseños para adaptarse a las condiciones locales, a la disponibilidad de materiales o a nuevas funcionalidades requeridas por el usuario.

1.6.3. Uso de UAVs en vigilancia aérea

El uso de UAVs en tareas de vigilancia aérea ha cobrado relevancia en ámbitos como la seguridad perimetral, control de fronteras, monitoreo de incendios, vigilancia rural y búsqueda de personas. Estas aplicaciones se benefician particularmente de los drones de ala fija, ya que permiten recorrer grandes extensiones con menor consumo energético.

En este contexto, la capacidad de integrar cámaras FPV, sistemas de transmisión de video en tiempo real, y módulos de telemetría ha permitido que incluso soluciones de bajo costo resulten efectivas. No obstante, muchas soluciones comerciales siguen teniendo precios elevados o requerimientos técnicos complejos.

Los desarrollos con enfoque abierto y de bajo costo, como el abordado en este Trabajo Final, representan una alternativa viable y replicable para instituciones, comunidades rurales o proyectos académicos que buscan herramientas de vigilancia aérea personalizables y accesibles.

1.6.4. Desarrollos a nivel local

En Argentina, diversas instituciones académicas y científicas han impulsado el desarrollo de drones de ala fija, priorizando la utilización de tecnologías abiertas, energías renovables y soluciones de bajo costo adaptadas a las necesidades locales. Este enfoque ha permitido abordar problemáticas ambientales y sociales mediante herramientas tecnológicas accesibles y sostenibles.

Proyecto Ojo de Halcón – UNSL

El Laboratorio de Tecnologías Apropriadas (LabTA) de la Universidad Nacional de San Luis (UNSL), en colaboración con el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), impulsa el Proyecto Ojo de Halcón [9], una iniciativa orientada al desarrollo de drones de ala fija equipados con paneles solares, con el objetivo inicial de optimizar la eficiencia energética y extender la autonomía de vuelo. Con el tiempo, este enfoque evolucionó hacia una solución integral para tareas de reforestación inteligente y monitoreo ambiental, enfocada en la región crítica de la Cuenca del Morro.

El laboratorio ha desarrollado más de diez prototipos, entre los cuales se destacan dos modelos principales. El LabTA-X03 incorpora paneles solares integrados en las alas, lo que le

permite alcanzar una autonomía de vuelo superior a las 12 horas, y está equipado con cámaras e inteligencia artificial para mapear y analizar el terreno. [10]

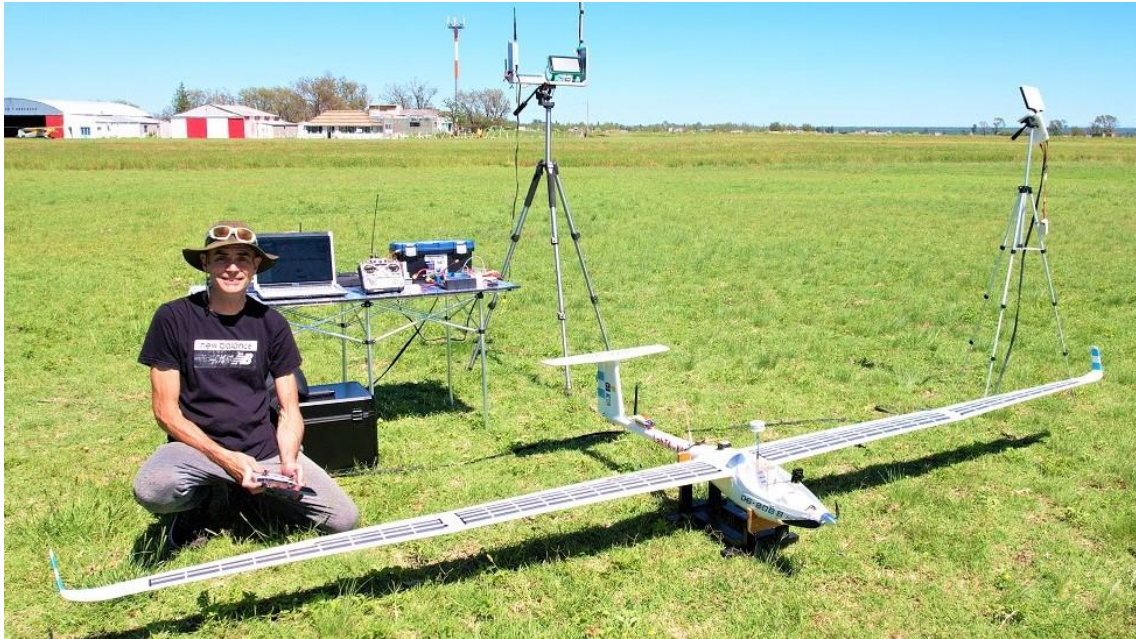


Figura 4. Carlos Catuogno, fundador del Proyecto Ojo de Halcón, junto al prototipo LabTA-X03.

Fuente: extraído de [10].

Por otro lado, el LabTA-X04 es un dron bimotor de ala fija diseñado para detectar áreas con déficit de vegetación y realizar una suelta inteligente de semillas, aplicando técnicas automatizadas de siembra selectiva. Este enfoque representa una alternativa eficiente, de bajo costo y con bajo impacto ambiental frente a los métodos tradicionales de reforestación, constituyendo así una herramienta tecnológica concreta para abordar problemáticas ambientales de escala regional.



Figura 5. Prototipo LabTA-X04.

Fuente: extraído de [10].

CAPITULO 2: Diseño del dron

2.1. Modelo original

El modelo base utilizado para este proyecto fue el Titan Talon [11], un diseño de licencia libre disponible en Thingiverse [12], una plataforma web donde se pueden encontrar y descargar gratuitamente una amplia variedad de diseños 3D. Se trata de una aeronave monomotor de ala alta con configuración recta y estabilizadores en forma de V. Este diseño cuenta con una estructura modular, lo que facilita tanto su impresión por partes como su ensamblaje posterior.

El modelo presenta una envergadura de 140 cm, una longitud de 84 cm y una altura total de 27 cm. Considerando únicamente las piezas impresas, el peso total de la aeronave asciende aproximadamente a 754 g, utilizando como material de impresión ácido poliláctico de baja densidad (LW-PLA, por sus siglas en inglés: *Light Weight Polylactic Acid*), en conjunto con los parámetros de impresión sugeridos por el autor del diseño original.

Sin embargo, y tal como se detalla en el Capítulo 3, para la fabricación del prototipo desarrollado en este proyecto se utilizó exclusivamente PLA convencional como material de impresión 3D, debido a limitaciones presupuestarias y a la disponibilidad técnica de equipos y materiales. Esta decisión implicó un aumento del peso estructural, pero se consideró aceptable dentro de los márgenes operativos previstos.

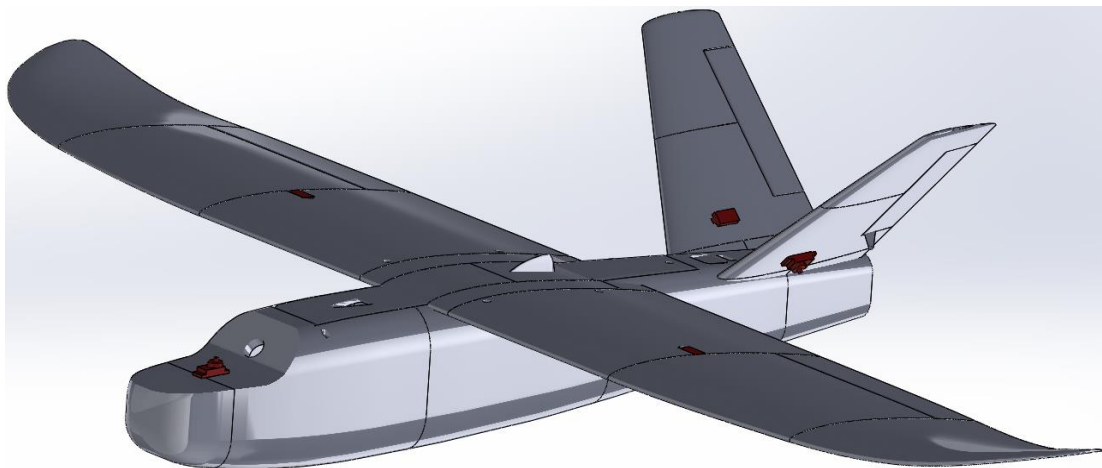


Figura 6. Diseño del Titan Talon original.

2.2. Justificación del rediseño

Durante la etapa inicial del proyecto, se identificaron diversas limitaciones en el diseño original que motivaron la necesidad de realizar un rediseño parcial y, en algunos casos, completo de ciertas secciones del dron. Uno de los principales inconvenientes fue el formato de los archivos originales, provistos en extensión STL. Este tipo de archivo, basado en mallas triangulares, es adecuado para la impresión 3D, pero no para su edición en software CAD paramétrico. Su estructura no permite modificar geometrías con facilidad, ya que carece de historial de operaciones y genera modelos de alta densidad poligonal. Esto derivó en problemas de rendimiento como bloqueos o lentitud en el sistema, dificultando un flujo de trabajo eficiente.

Por otra parte, el diseño original no contemplaba ciertas necesidades prácticas como la accesibilidad a los componentes internos, la optimización del centro de gravedad, la protección del cableado, la fijación segura de los módulos electrónicos ni la eficiencia aerodinámica en el posicionamiento de servomotores. Estas limitaciones estructurales, funcionales y operativas justificaron la realización de un rediseño integral desde cero, adaptado a los requerimientos del proyecto y a los componentes disponibles.

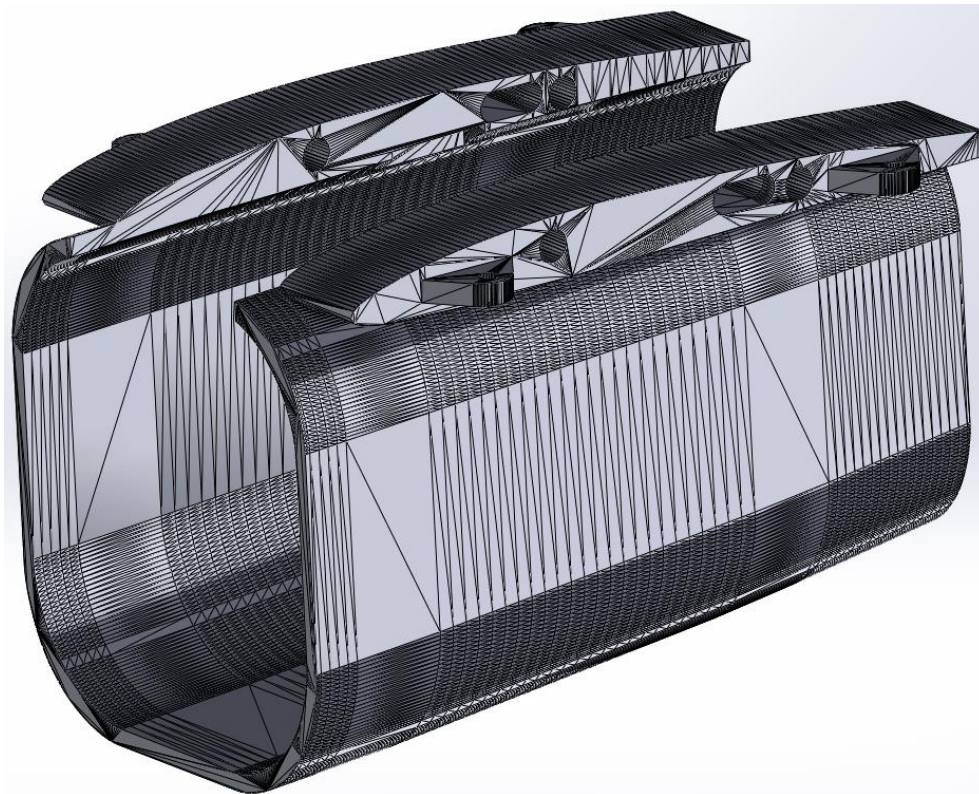


Figura 7. Pieza en formato STL importada al software CAD.

2.3. Metodología de rediseño

Para llevar a cabo el rediseño del dron, se utilizó el software de diseño asistido por computadora SolidWorks [13], el cual permitió modelar cada una de las piezas con precisión y adaptar la geometría en función de los requisitos mecánicos, aerodinámicos y de integración electrónica. Como punto de partida, se tomaron las medidas generales del modelo original y se emplearon como referencia para mantener las proporciones y la configuración básica de la aeronave.

El nuevo diseño se dividió en módulos impresos por separado, considerando las restricciones del volumen de impresión de las impresoras 3D disponibles y buscando facilitar tanto el ensamblado como el mantenimiento. Se introdujeron superficies redondeadas en zonas críticas para reducir concentraciones de tensiones, se optimizaron alojamientos para los diferentes módulos electrónicos y se diseñaron nuevas superficies desmontables para permitir un acceso más cómodo al interior del fuselaje.

Asimismo, se aplicaron principios de diseño funcional y aerodinámico, priorizando la simplicidad de montaje y la rigidez estructural. Cada modificación fue evaluada en función de su impacto en el desempeño del dron, permitiendo lograr una plataforma mejorada respecto al diseño base. Estas decisiones se fundamentaron en los requerimientos operativos del sistema y se validaron mediante simulaciones estructurales (sección 2.4) y pruebas de vuelo (Capítulo 6).

2.4. Modificaciones realizadas

2.4.1. Nariz del dron

Se diseñó una nueva versión de la nariz del dron que incorporó diversas mejoras funcionales y estéticas. Entre las principales modificaciones, se destaca que esta pieza es desmontable, ya que incluye ranuras que permiten atornillarla al fuselaje. Esta característica no solo facilita su instalación y remoción, sino que también permite un acceso más rápido y cómodo a los componentes internos del dron. Además, se optimizaron los espacios internos para mejorar la organización de los componentes electrónicos. También se rediseñó la ubicación de la cámara frontal, logrando un mejor ángulo de visión y una fijación más firme. Desde el punto de vista aerodinámico, la nueva geometría contribuyó a reducir la resistencia al avance, al mismo tiempo que ofreció una apariencia más estilizada y profesional.



Figura 8. Nariz original.



Figura 9. Nariz rediseñada.

2.4.2. Refuerzo de la raíz alar

Se realizó un redondeo en la unión entre el perfil alar y el fuselaje con el objetivo de eliminar los ángulos vivos, los cuales tienden a generar concentraciones de tensiones que pueden comprometer la integridad estructural del dron. Esta modificación permitió una distribución más uniforme de los esfuerzos mecánicos en esa zona crítica. (Ver Figuras 10 y 11).

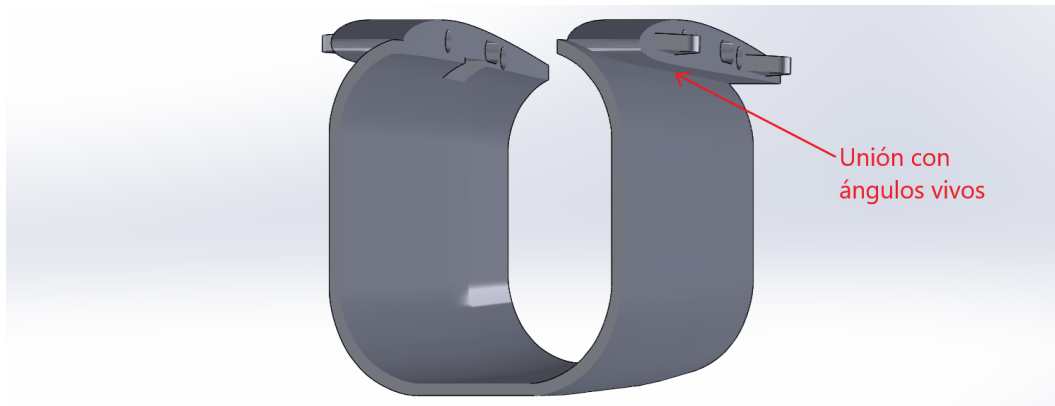


Figura 10. Elemento del fuselaje original.



Figura 11. Elemento del fuselaje rediseñado.

Para validar la mejora, se llevó a cabo un análisis de esfuerzos mediante el software SolidWorks, en el cual se simuló una maniobra de viraje cerrado con una carga aproximada de 3g. Para ello, se aplicó una fuerza de 70 N sobre cada ala, lo que permitió comparar el diseño original con el rediseñado. Los resultados evidenciaron una diferencia considerable en la distribución de tensiones, confirmando la efectividad del redondeo para reducir concentraciones de esfuerzos y mejorar el comportamiento estructural del conjunto.

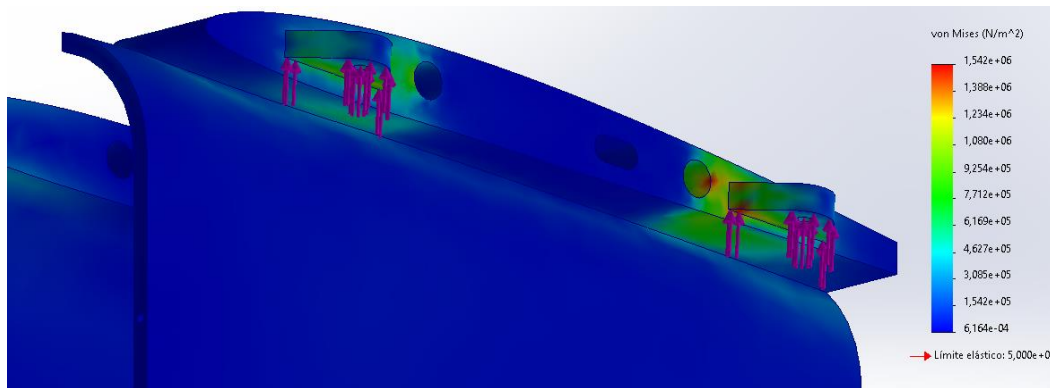


Figura 12. Análisis de esfuerzos en el diseño original.

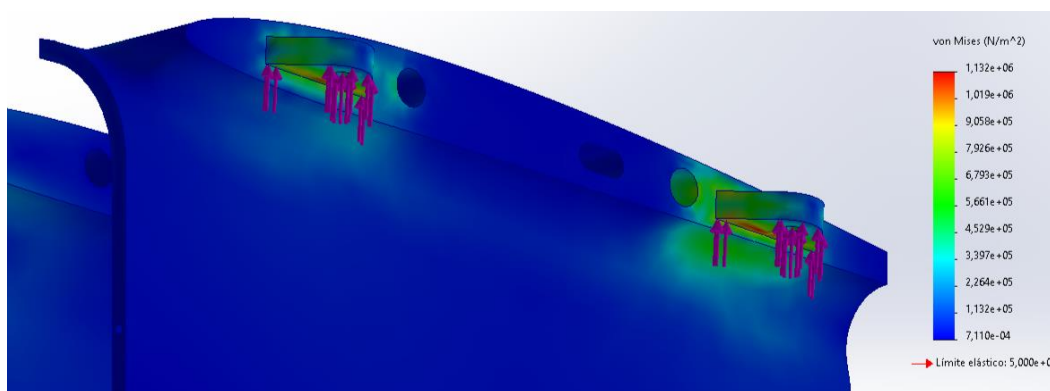


Figura 13. Análisis de esfuerzos del rediseño.

Tal como se observa en las Figuras 12 y 13, el modelo original presenta una tensión máxima de 1,54 MPa, mientras que el modelo rediseñado alcanza únicamente 1,13 MPa, lo que representa una reducción del 26,6 %. Esta diferencia evidencia la mejora estructural lograda mediante la eliminación de ángulos rectos y la implementación de geometrías redondeadas en la zona de unión entre el ala y el fuselaje.

Sin embargo, si bien para la simulación se seleccionó PLA como material, los resultados obtenidos no representan con total precisión el comportamiento real de las piezas impresas. Esto se debe a que no se consideran las características anisotrópicas y no homogéneas propias de la impresión 3D, donde las propiedades mecánicas varían en función de la orientación de las capas, el tipo de relleno y otros parámetros de impresión. No obstante, los resultados sirven como referencia válida para evidenciar la mejora estructural alcanzada con el rediseño.

2.4.3. Extensión de las varillas de carbono en las alas

El refuerzo estructural de las alas está conformado por dos varillas de fibra de carbono de 8 mm de diámetro. En el diseño original (ver Figura 14), estas varillas tienen una longitud de 50 cm, lo que permite reforzar únicamente una de las tres secciones principales que conforman cada ala. Considerando que las alas son responsables de soportar el peso total de la aeronave durante el vuelo, se consideró indispensable aumentar su capacidad estructural. Por ello, se decidió duplicar la longitud de las varillas, de modo que atravesasen dos de las tres piezas que integran cada ala, tal como se muestra en la Figura 15. Esta modificación permitió incrementar significativamente la rigidez y la resistencia del conjunto alar, contribuyendo a una estructura más robusta y confiable.

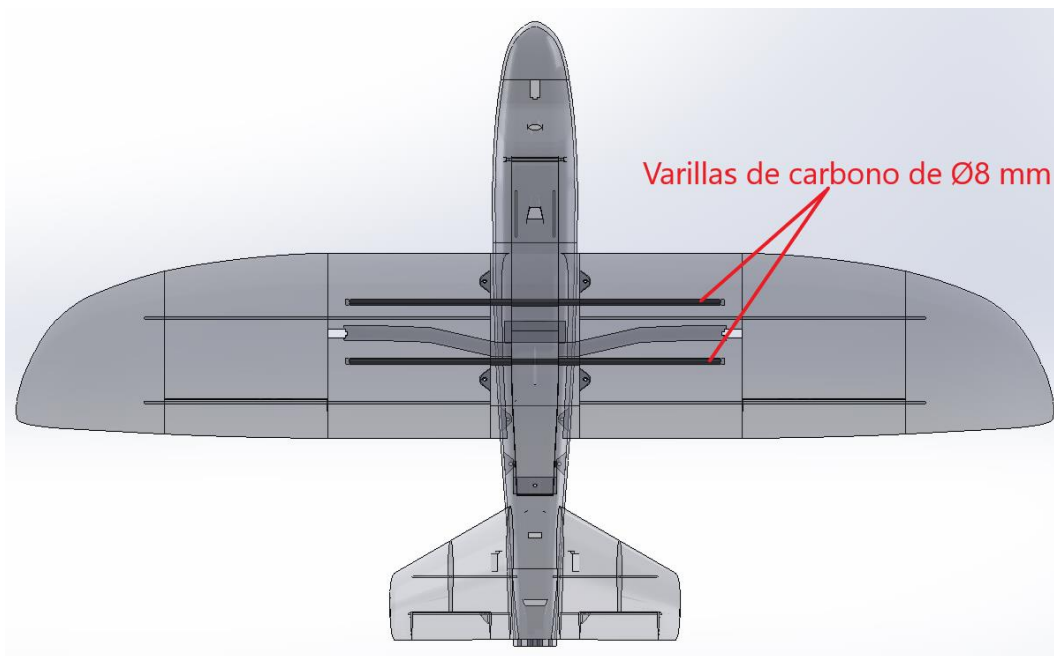


Figura 14. Visualización de las varillas de carbono de 8 mm del diseño original.

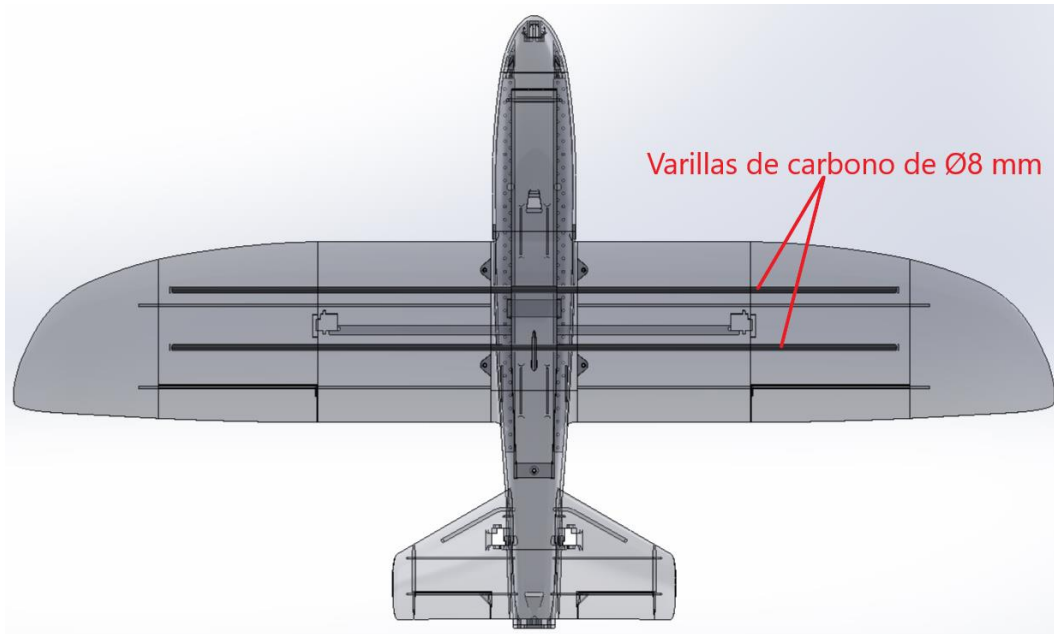


Figura 15. Visualización de las varillas de carbono de 8 mm del rediseño.

2.4.4. Extensión de las alas

Otra de las modificaciones implementadas en el diseño del dron fue la extensión de 20 mm en la longitud de cada ala. Esta decisión respondió a la necesidad de compensar el aumento de peso de la aeronave, generado principalmente por el uso de PLA convencional, un material de impresión más denso que el originalmente previsto, y por la extensión de las varillas de refuerzo de fibra de carbono de 8 mm de diámetro.

La modificación permitió incrementar la superficie alar en aproximadamente 100 cm², lo que se tradujo en un aumento de la sustentación generada durante el vuelo. Como resultado, se mejoró la eficiencia aerodinámica general y se amplió la capacidad de carga útil del sistema, sin comprometer la estabilidad ni la controlabilidad de la aeronave. Estas mejoras se evidenciaron claramente en el desempeño del prototipo durante las pruebas de vuelo.

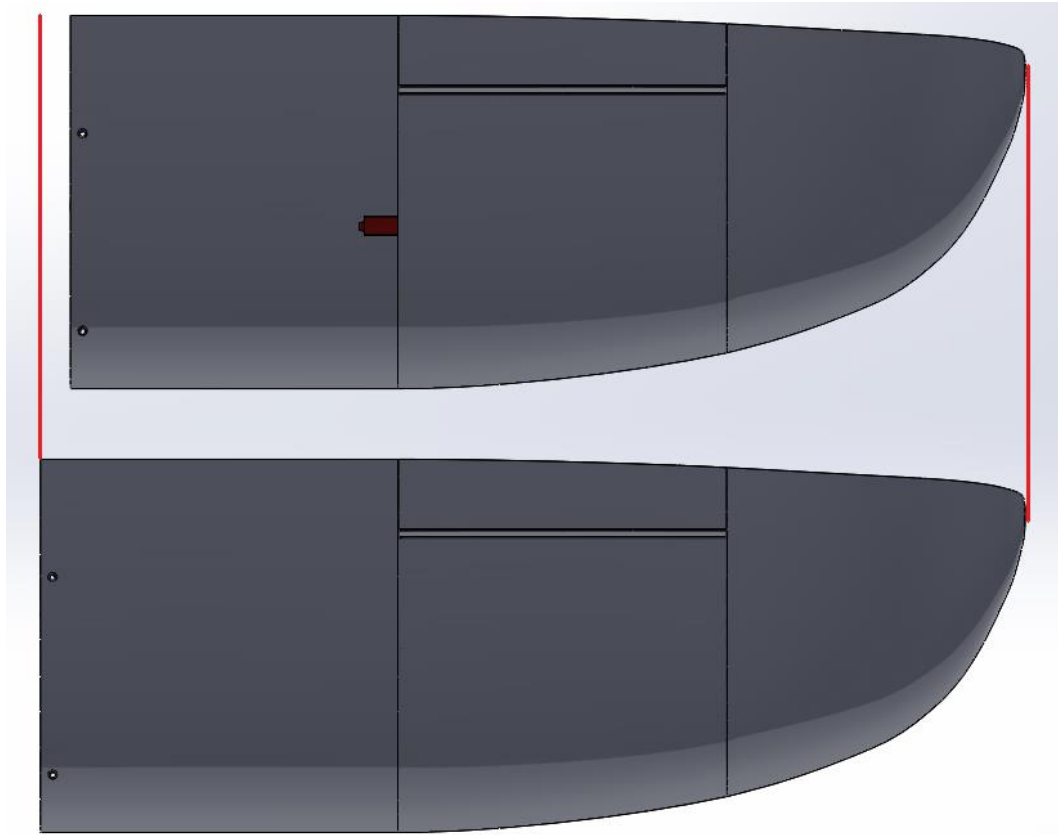


Figura 16. Comparación del ala original (arriba) y el ala rediseñada (abajo).

2.4.5.Reposicionamiento de los servomotores

La orientación de los servomotores en el diseño original del dron, tanto en las alas como en los estabilizadores en V, resultó poco eficiente desde el punto de vista aerodinámico. En particular, su disposición expuesta interfiere con el flujo de aire, generando resistencia innecesaria y afectando negativamente el rendimiento en vuelo. Además, en el caso de los estabilizadores en V, el diseño original no contempla ranuras internas para el alojamiento de los cables, lo que obliga a montarlos externamente, comprometiendo tanto la estética como la integridad del cableado ante condiciones adversas.

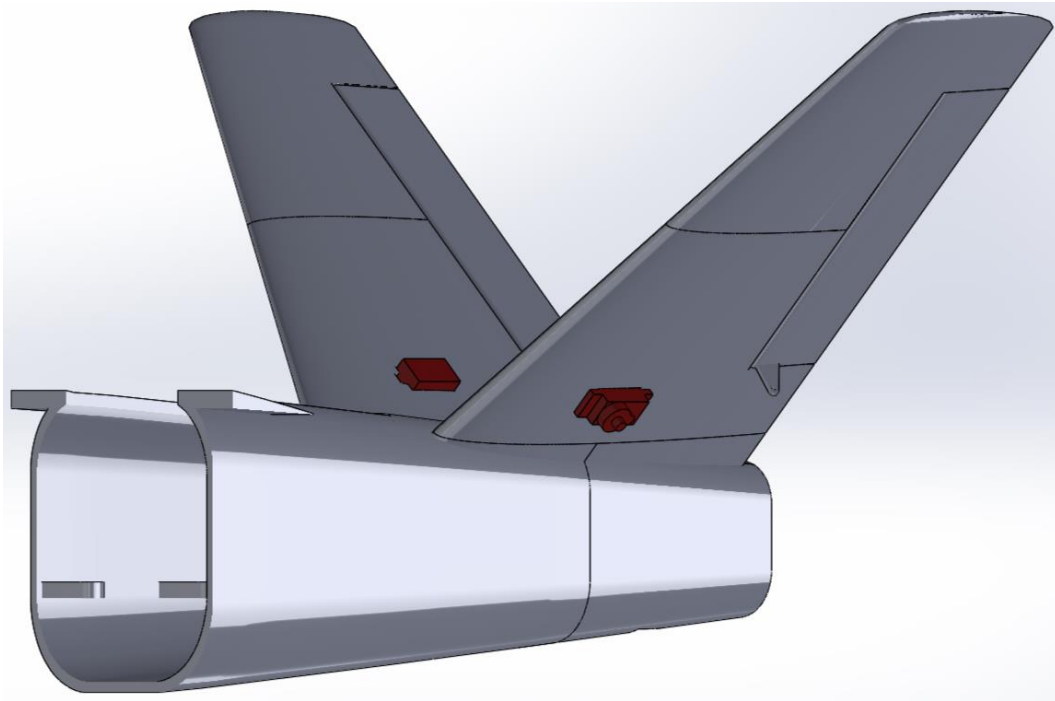


Figura 17. Posición original de los servomotores.

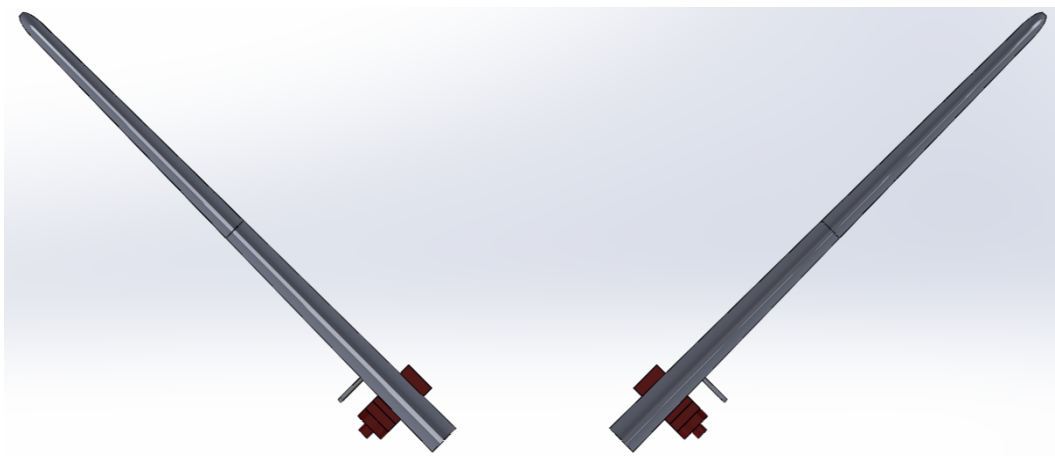


Figura 18. Posición original de los servomotores.

Frente a estas limitaciones, se optó por modificar la orientación de los servomotores y rediseñar su ubicación. Esta reubicación permitió alojar los servomotores de forma más eficiente dentro de los perfiles alares, y canalizar internamente los cables correspondientes a los servos de la cola en V. De este modo, se logró mejorar significativamente la aerodinámica del dron al reducir las interferencias con el flujo de aire. Simultáneamente, se optimizó la superficie alar útil y se obtuvo un acabado más limpio y profesional en el conjunto estructural de la aeronave.

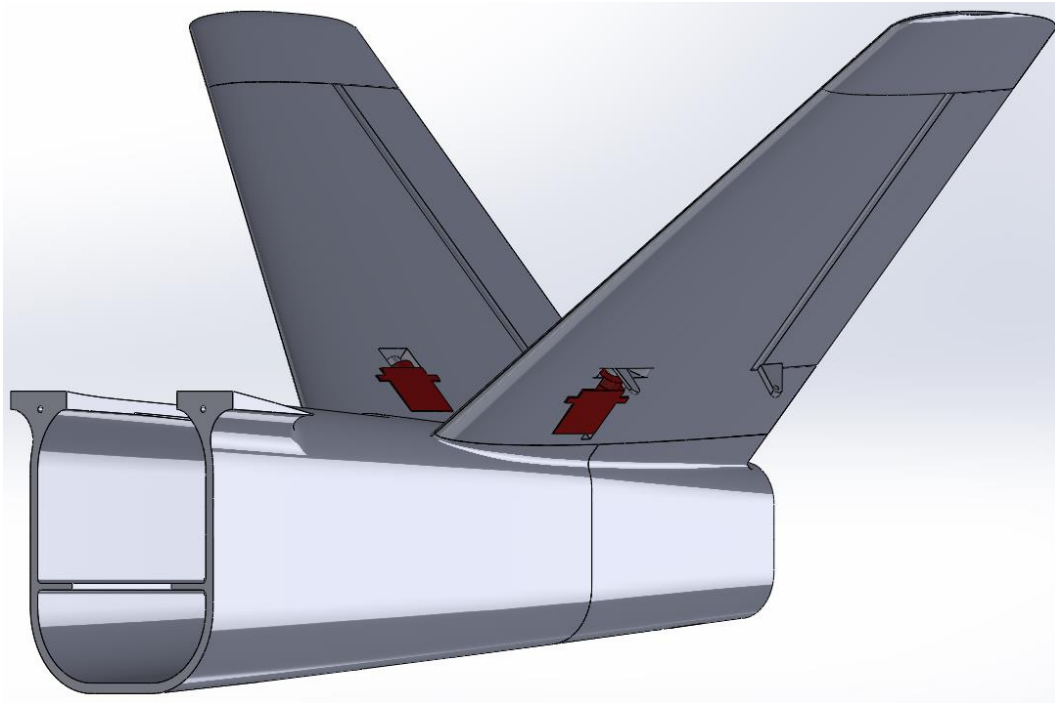


Figura 19. Posición modificada de los servomotores.

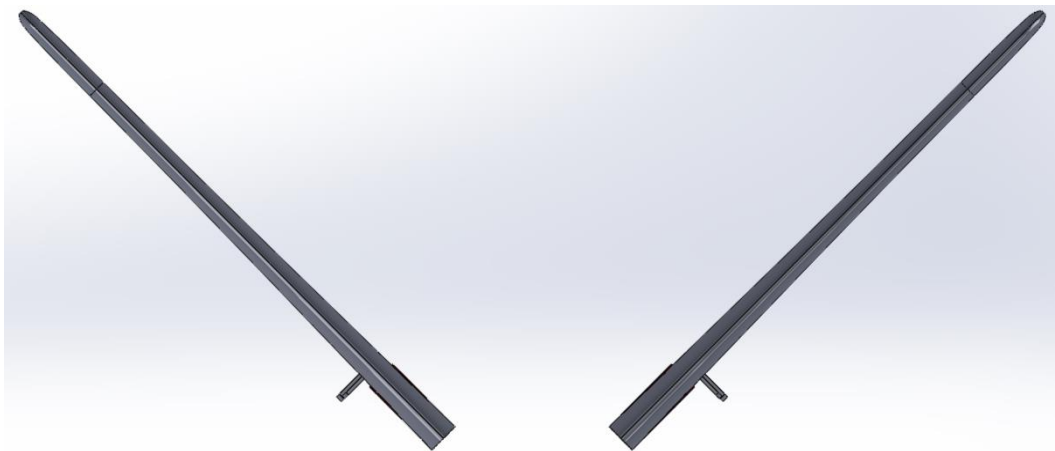


Figura 20. Posición modificada de los servomotores.

2.4.6. Incremento de ángulo de apertura de la tapa superior

En el diseño original, la tapa superior del dron presenta un ángulo máximo de apertura de 66° , tal como se observa en la Figura 21. Esta limitación dificulta el acceso al interior de la aeronave, ya que es necesario sostener manualmente la tapa para evitar que se cierre por acción de la gravedad durante tareas de mantenimiento o ajuste.

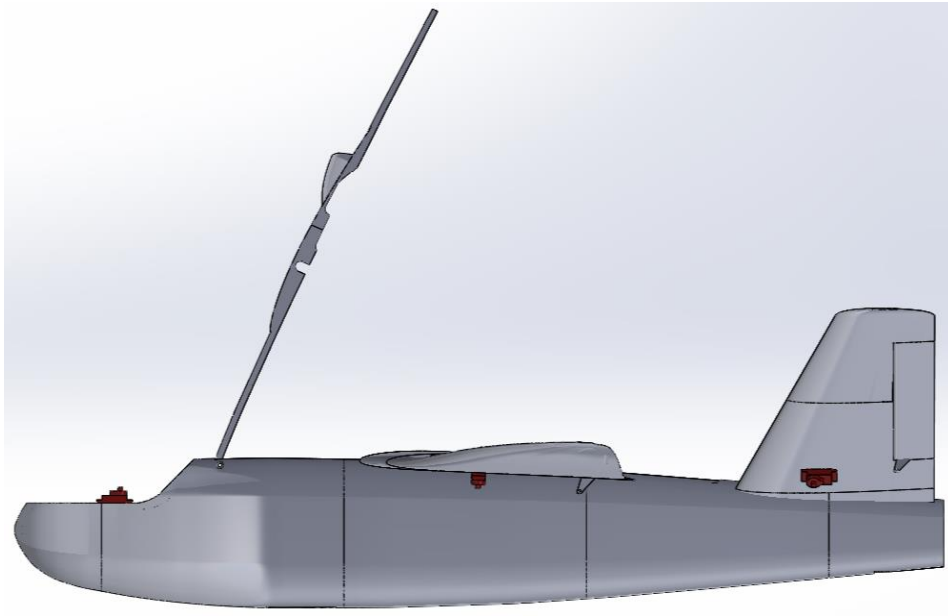


Figura 21. Ángulo de apertura de la tapa original.

Con el objetivo de mejorar la ergonomía operativa, se decidió incrementar el ángulo de apertura. El diseño rediseñado permite una apertura máxima de 106° , como se muestra en la Figura 22, lo que representa un aumento de 40° respecto al modelo original. Esta mejora facilita significativamente el acceso a los componentes internos, simplificando las tareas de inspección, ajuste y reparación.

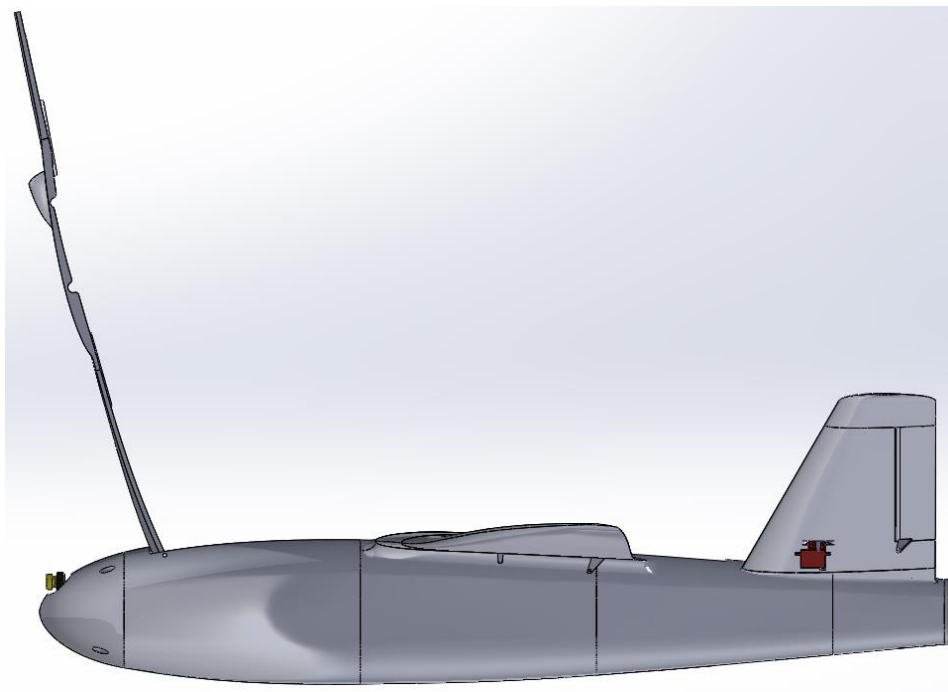


Figura 22. Ángulo de apertura de la tapa rediseñada.

2.4.7. Incorporación de un riel interno de montaje

Se diseñó un riel interno que recorre ambos lados del fuselaje con el objetivo de montar sobre él todos los componentes electrónicos de manera ordenada y ajustable. Esta configuración permite desplazar cada componente a lo largo del riel hasta alcanzar una distribución de masas que mantenga el centro de gravedad del dron en la posición óptima para el vuelo. Esta solución aporta flexibilidad en el montaje y facilita futuras modificaciones o ajustes en la configuración interna. (Ver Figura 24).

En contraste, el modelo original solo dispone de un soporte fijo compuesto por cuatro clavijas ubicadas en la sección trasera del fuselaje, lo cual limita considerablemente la capacidad de redistribuir los componentes y, en consecuencia, de corregir el centro de gravedad de manera eficiente. (Ver Figura 23).



Figura 23. Soporte original de anclaje interno.

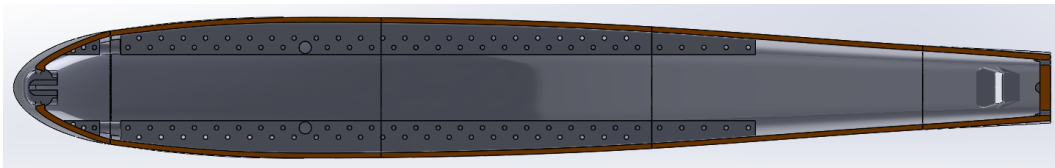


Figura 24. Riel de montaje del rediseño.

2.4.8. Diseño de soportes para los componentes electrónicos

Se diseñaron soportes exclusivos para los componentes electrónicos, los cuales se atornillan al riel de montaje del fuselaje. Estos soportes fueron diseñados a medida para alojar cada uno de los siguientes componentes electrónicos: placa controladora, GPS, transmisor de video, transmisor de telemetría, receptor de radio control (RC) y cámara FPV.

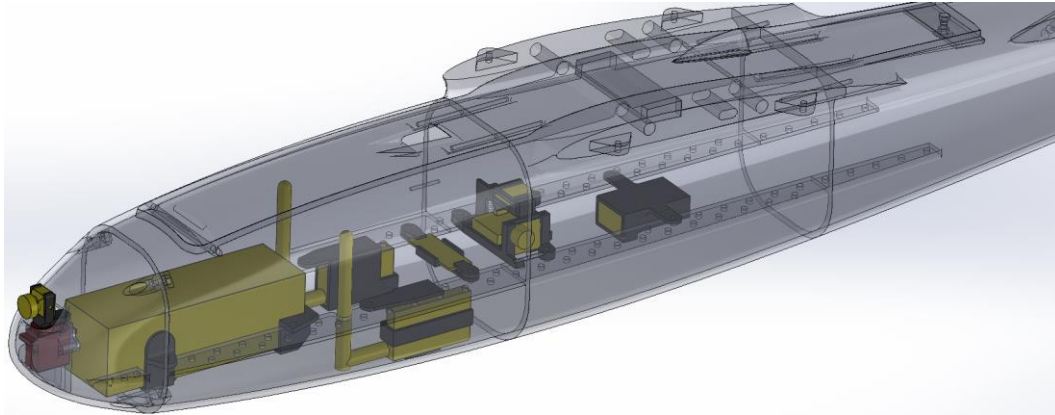


Figura 25. Visualización de los componentes electrónicos y sus elementos de anclaje.

2.5. Descripción del diseño final

El diseño final conserva las características fundamentales del modelo original: una aeronave monomotor de ala alta desmontable con cola en V, con configuración alar recta y estructura modular, optimizada para su fabricación mediante impresión 3D. Este nuevo modelo presenta una envergadura de 144 cm, una longitud de 85 cm y una altura de 27 cm.

Las modificaciones implementadas permitieron mejorar la resistencia y la rigidez estructural, tal como se evidencia en el análisis de esfuerzos realizado (sección 2.4.2) y en los resultados obtenidos durante las pruebas de vuelo (Capítulo 6). Además, y como se detalla en este mismo capítulo, se optimizaron aspectos vinculados con la aerodinámica, la estética y la facilidad de uso práctico de la aeronave.

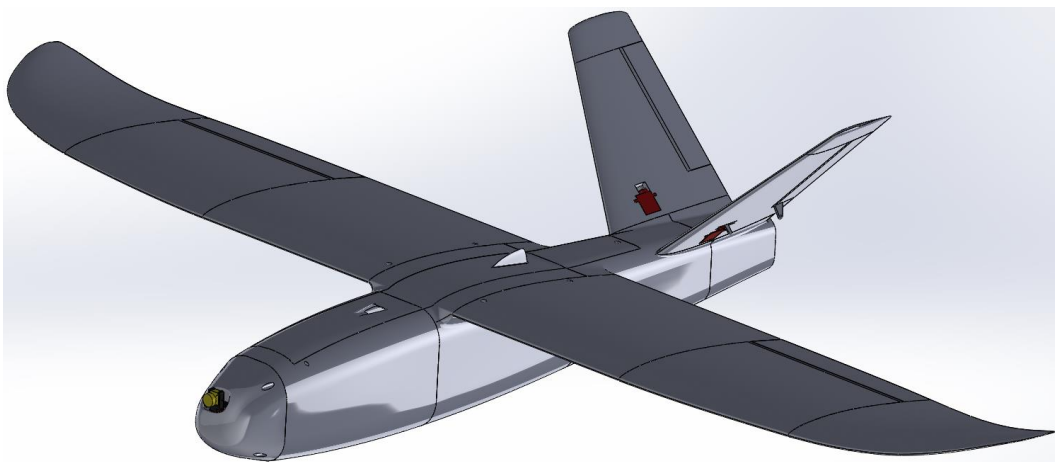


Figura 26. Titan Talon rediseñado.

CAPÍTULO 3: Materiales y componentes electrónicos

La selección y descripción detallada de los materiales y componentes electrónicos utilizados en este proyecto fueron abordadas previamente en el informe correspondiente a la Práctica Profesional Supervisada, donde se especificaron las características técnicas junto con los criterios de elección. En este capítulo se presenta una síntesis de los elementos principales, con el fin de contextualizar el rediseño estructural y la implementación del sistema de control abordado en este Trabajo Final. Para mayor profundidad técnica, se recomienda consultar el informe de la PPS [1].

3.1. Material de impresión

Las piezas estructurales del dron fueron fabricadas mediante impresión 3D utilizando PLA, un material ampliamente utilizado en fabricación aditiva por su buena resistencia mecánica, facilidad de impresión y bajo costo. Si bien en el diseño original se sugiere el uso de LW-PLA por su menor peso, este material fue descartado por varias razones: presenta un costo significativamente más elevado, es más difícil de imprimir debido a su sensibilidad a la temperatura y velocidad, y posee una resistencia mecánica inferior al PLA convencional. Esta última característica reduce considerablemente la capacidad de la estructura para soportar impactos o aterrizajes poco suaves, lo cual es de vital importancia en etapas de prueba.

En función de estos factores, se optó por PLA común como una alternativa más robusta y accesible, adecuada para prototipos funcionales y ensayos en condiciones reales.

3.2. Componentes electrónicos principales

A continuación, se listan los componentes electrónicos integrados al dron:

Tabla 1. Componentes electrónicos.

Tipo de componente	Especificación del modelo	Función principal
Controlador de vuelo	ATOMRC F405 INAV MINI (STM32F405)	Ejecuta el firmware INAV y gestiona el control de vuelo autónomo y manual
Transmisor RC	Futaba T10J	Transmite las señales al receptor Futaba R3008SB
Receptor RC	Futaba R3008SB	Recibe las señales del transmisor Futaba T10J

Módulo GPS	Walksnail WS-M181	Proporciona posicionamiento y velocidad al sistema de navegación
Telemetría	SiK Telemetry V3 (433 MHz)	Envía datos de vuelo en tiempo real a la estación en tierra
Cámara FPV	Caddx Turbo EOS V2	Captura la imagen frontal para navegación en primera persona (FPV)
Transmisor de video (VTx)	TS832	Transmite la señal de video desde la cámara al receptor del piloto
Motor brushless	AERO 2217/6T 1500 KV	Proporciona la propulsión del dron
Regulador de voltaje	XL7015	Regula la tensión para alimentar el transmisor de video
ESC (Controlador de velocidad)	MAG-8 Tower Pro 70A	Regula la potencia suministrada al motor brushless
Servomotores	MG90S (metálicos)	Controlan las superficies móviles (alergones, cola en V) y el eje de la cámara

La integración de estos componentes fue realizada de manera modular, facilitando su mantenimiento y permitiendo reconfigurar el sistema según las necesidades del proyecto.

CAPÍTULO 4: Construcción del dron

La construcción física del dron fue desarrollada durante la PPS, y se encuentra documentada detalladamente en el informe correspondiente. En este capítulo se presenta un resumen de las etapas principales del proceso constructivo.

4.1. Fabricación de piezas

Las piezas del dron fueron impresas en 3D mediante el uso de las impresoras Creality Ender 3 y Ender 3 V2. Todas las piezas estructurales fueron impresas por separado y orientadas para minimizar el uso de soportes. El software de laminado utilizado fue PrusaSlicer [14], con parámetros definidos en base a recomendaciones del fabricante y pruebas previas de impresión.

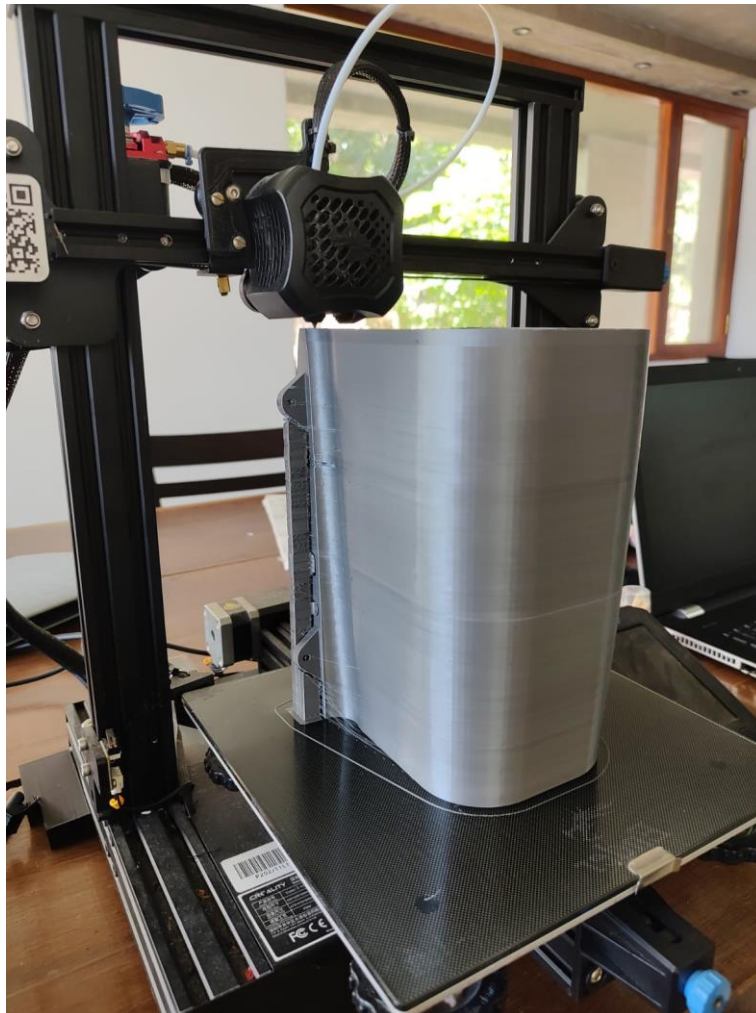


Figura 27. Impresión 3D del fuselaje.

4.2. Ensamblaje estructural

El ensamblaje del fuselaje se llevó a cabo uniendo las distintas secciones impresas mediante adhesivo cianoacrilato, asegurando una unión firme y precisa entre las partes. Para reforzar las zonas estructuralmente más exigidas, se incorporaron varillas de fibra de carbono: de 8 mm y 3 mm de diámetro en las alas, y de 2 mm en los estabilizadores en V. Finalmente, se integró la nariz desmontable, fijándola al fuselaje mediante tornillos, y se colocó la tapa superior, completando así la estructura principal del dron.



Figura 28. Titan Talon ensamblado.

4.3. Integración de la electrónica

Los componentes electrónicos fueron montados sobre el riel central del fuselaje, permitiendo su ajuste en función del centro de gravedad requerido. Se realizaron las conexiones entre módulos, la soldadura de terminales, y la fijación mediante tornillos y elementos impresos en 3D a medida. Se verificó la conectividad de cada sistema (alimentación, control, transmisión de video y telemetría) antes de pasar a la etapa de configuración y pruebas.

El sistema electrónico está centralizado en la placa controladora ATOMRC F405 NAVI MINI, la cual actúa como unidad principal de procesamiento y control. En ella se conectan todos los sensores, actuadores y módulos auxiliares del dron. El esquema general de conexiones se muestra en la Figura 30.

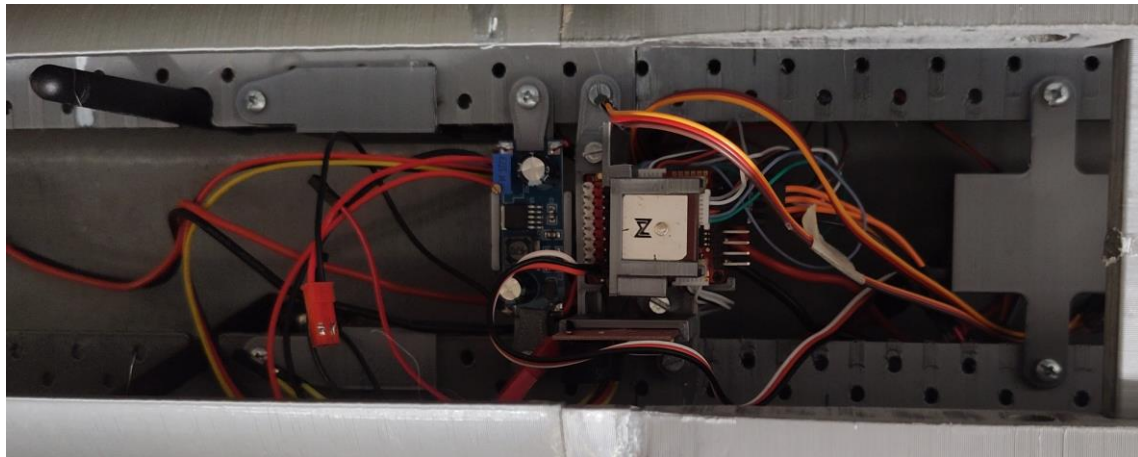


Figura 29. Fijación de los componentes electrónicos al fuselaje.

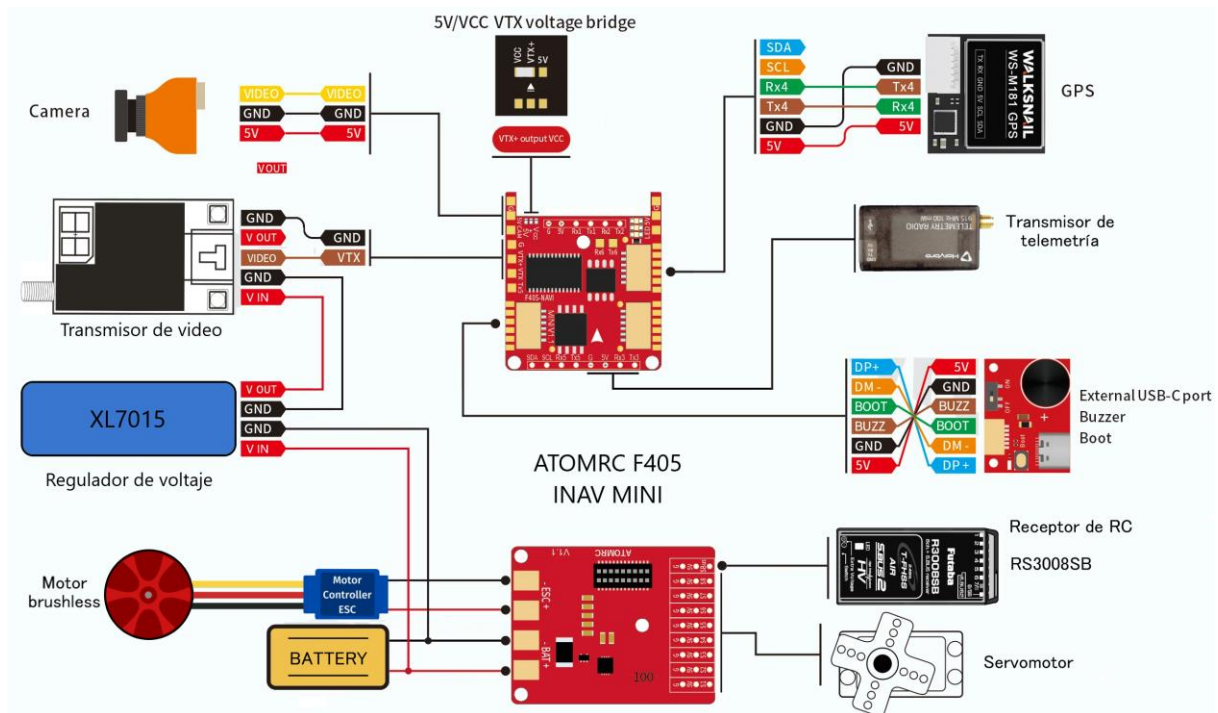


Figura 30. Esquema de conexión de los componentes electrónicos.

CAPÍTULO 5: Configuración del controlador

Para la configuración del controlador ATOMRC F405 NAVI MINI se utilizó el software *INAV Configurator*. Luego de conectar la placa controladora a la computadora, se realizaron los siguientes ajustes:

5.1. Configuración inicial

Este proceso se realizó en el marco de la PPS, y consistió en enlazar el transmisor Futaba T10J y el receptor R3008SB siguiendo los procedimientos indicados en el manual del fabricante. A continuación, se procedió a instalar el firmware INAV en el controlador de vuelo, y se llevaron a cabo las configuraciones iniciales necesarias para el funcionamiento del sistema. Estas incluyeron la selección del tipo de aeronave, la asignación de los servomotores a sus respectivas superficies de control, y la calibración de los ejes principales (alerón, elevador y timón).

5.2. Modos de vuelo

Los modos de vuelo son funciones de vuelo programables que puede realizar el dron. Las funciones utilizadas fueron las siguientes:

Tabla 2. Modos de vuelo.

Modos de vuelo	Descripción
ARM	Habilita el sistema de propulsión, permitiendo el funcionamiento del motor. Debe activarse manualmente antes del despegue y desactivarse tras el aterrizaje.
MANUAL	Brinda control total al piloto sobre todas las superficies de mando, sin intervención del controlador de vuelo.
ANGLE	Modo estabilizado. El controlador mantiene el horizonte y limita la inclinación en roll y pitch. Vuelo recto y nivelado.
LOITER	Mantiene automáticamente la posición y altitud, realizando una trayectoria circular sobre el punto de referencia.
NAV ALTHOLD	Mantiene constante la altitud, mientras el piloto conserva el control sobre dirección y velocidad.
NAV RTH (Return To Home)	Inicia una secuencia automática de retorno al punto de despegue.
AUTO TUNE	Ajusta automáticamente los parámetros PID durante el vuelo, optimizando el comportamiento del sistema.

Para establecer estos modos de vuelo se dirigió a la pestaña “Modos”, y se habilitó cada una de las funciones anteriormente nombradas mediante la asignación del canal correspondiente al interruptor del joystick transmisor, tal como se muestra en la Figura 31. El esquema de mandos se observa en la Figura 32.

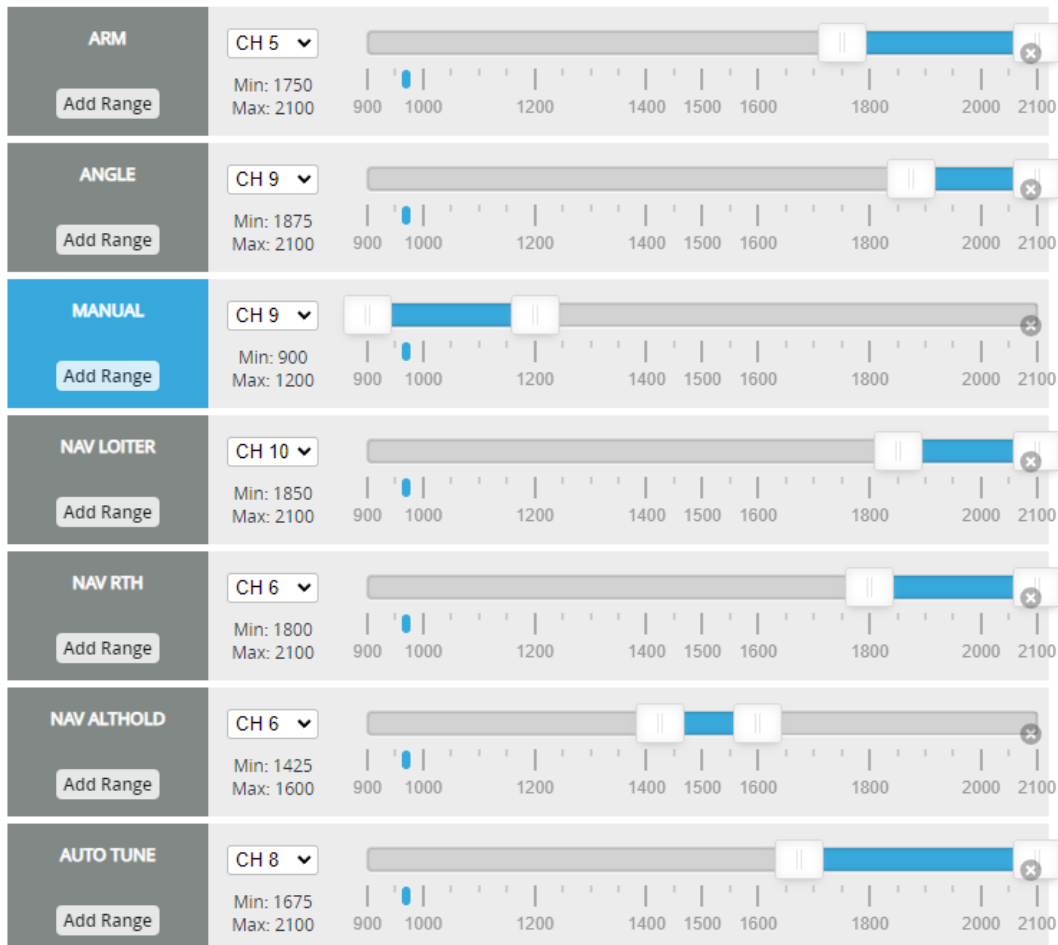


Figura 31. Configuración de los modos de vuelo.

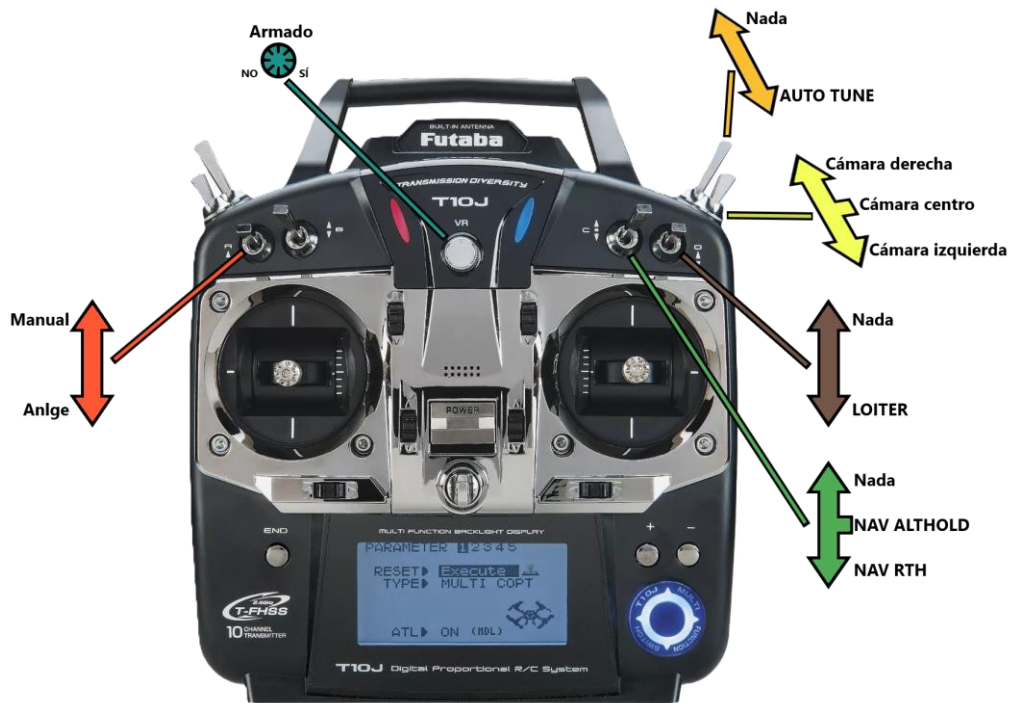


Figura 32. Esquema de mandos del transmisor T10J.

5.3. Pantalla FPV

La configuración de la pantalla se realizó en la pestaña OSD. En ese apartado se seleccionaron los datos y referencias necesarios para que el piloto pueda volar de manera segura el dron. La información elegida es la siguiente:

- Potencia de la señal.
- Porcentaje de batería [%].
- Voltaje de la batería [V].
- Velocidad del dron [km/h].
- Altura [m].
- Modo de vuelo.
- Horizonte artificial.
- Barras verticales.

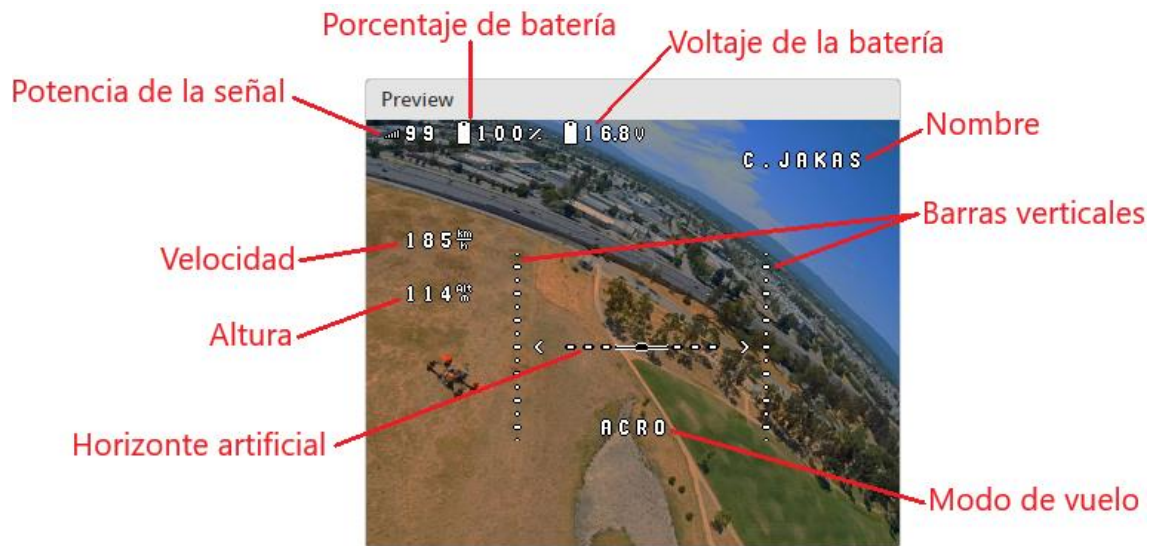


Figura 33. OSD implementado en el dron.

5.4. Configuración de puertos

Los puertos de comunicación del controlador de vuelo deben configurarse correctamente para permitir la interacción con los distintos dispositivos conectados. Estos puertos se conocen como receptor-transmisor asíncrono universal (UART, por sus siglas en inglés:), y cada uno cumple una función específica dentro del sistema. La asignación adecuada de cada UART es fundamental para asegurar el correcto intercambio de datos entre la controladora de vuelo y los módulos periféricos, como el GPS, el sistema de telemetría o el receptor de radio control.

En el controlador utilizado para este proyecto se configuraron tres UARTs, asignados de la siguiente manera:

- UART2 – Conectado al receptor de radio control. Se activó la opción Serial RX para habilitar la recepción de señales desde el transmisor.
- UART3 – Asignado al módulo de telemetría, permitiendo el envío de datos de vuelo en tiempo real hacia la estación de control en tierra.
- UART4 – Utilizado para la conexión del módulo GPS, encargado de proporcionar información de posicionamiento a la controladora de vuelo.

Esta configuración asegura que cada subsistema funcione correctamente y que los datos críticos para el vuelo autónomo o asistido puedan ser procesados y monitoreados sin interrupciones.

Identifier	Data	Telemetry	RX	Sensors	Peripherals
UART1	<input type="checkbox"/> MSP 115200 ▼	Disabled ▼ AUTO ▼	<input type="checkbox"/> Serial RX	Disabled ▼ 115200 ▼	Disabled ▼ 115200 ▼
UART2	<input type="checkbox"/> MSP 115200 ▼	Disabled ▼ AUTO ▼	<input checked="" type="checkbox"/> Serial RX	Disabled ▼ 115200 ▼	Disabled ▼ 115200 ▼
UART3	<input type="checkbox"/> MSP 57600 ▼	MAVLink ▼ AUTO ▼	<input type="checkbox"/> Serial RX	Disabled ▼ 115200 ▼	Disabled ▼ 115200 ▼
UART4	<input type="checkbox"/> MSP 115200 ▼	Disabled ▼ AUTO ▼	<input type="checkbox"/> Serial RX	GPS ▼ 115200 ▼	Disabled ▼ 115200 ▼

Figura 34. Configuración de puertos.

5.5. Programación de vuelo

Aunque no fue implementada durante este proyecto, el firmware INAV, a través de su interfaz gráfica INAV Configurator, permite programar vuelos autónomos mediante la definición de una secuencia de puntos de referencia o waypoints. Esta funcionalidad resulta especialmente útil en misiones repetitivas o de vigilancia prolongada, ya que no requiere intervención directa del piloto durante el vuelo.

La programación se realiza desde la pestaña *Mission Control*, donde se pueden establecer parámetros como altitud, velocidad de crucero, puntos de giro, acciones específicas y retorno automático al punto de partida. Esta capacidad convierte al sistema en una herramienta versátil y escalable para futuras aplicaciones de mapeo, patrullaje o recolección de datos georreferenciados.

CAPÍTULO 6: Pruebas experimentales

6.1. Prueba en tierra

Una vez finalizada la configuración del controlador de vuelo, se procedió a realizar una prueba en tierra en el Aeroclub de la ciudad de Villa Mercedes. El objetivo fue verificar el funcionamiento integral de los sistemas del dron antes de autorizar el primer vuelo.

Para ello, se conectó una batería LiPo de tres celdas y se comprobó el correcto funcionamiento de los siguientes subsistemas: motor principal, servomotores, sistema de transmisión de video y módulo de telemetría. Todos los componentes respondieron adecuadamente a los comandos enviados desde la estación de control.

Posteriormente, se verificó el centro de gravedad de la aeronave. Durante esta revisión se detectó que el CG se encontraba desplazado hacia la parte posterior del fuselaje, fuera del rango óptimo. Para corregir esta condición, se adicionaron contrapesos (plomadas) en la sección delantera del fuselaje, logrando restablecer el equilibrio necesario para el vuelo.



Figura 35. Pruebas en tierra del dron.

A continuación, se procedió a pesar la aeronave completamente ensamblada, obteniéndose un peso total de 2,4 kg. Tras analizar este valor, se decidió no avanzar con la prueba de vuelo debido a que el peso resultante superaba la estimación inicial de

aproximadamente 1,7 kg, y el empuje del sistema propulsor (motor-hélice) no resultaba suficiente para garantizar un despegue seguro.

La relación empuje-peso (T/W, por sus siglas en inglés: *Thrust-Weight*) medida en esta configuración fue:

$$\frac{T}{W} = \frac{1,2 \text{ kg}}{2,45 \text{ kg}} = 0,49 \quad (1)$$

Si bien una relación T/W de 0,49 puede considerarse aceptable en aviones pequeños con tren de aterrizaje, en este caso se trata de un dron de lanzamiento manual, el cual requiere alcanzar velocidad en un tiempo reducido. Para este tipo de aeronaves, se recomienda una relación empuje-peso no inferior a 0,7, motivo por el cual se determinó que debía realizarse una adecuación en el sistema propulsor.

6.1.1. Adecuación del diseño y componentes

Como resultado de la prueba en tierra, se concluyó que era necesario reemplazar el motor por uno de mayor potencia. En función de las nuevas exigencias, se seleccionó el modelo SunnySky X2814 de 900 KV, acompañado por una hélice de 11x7 pulgadas, los cuales logran un empuje máximo de hasta 2020 gramos.



Figura 36. Motor brushless SunnySky X2814 y hélice 11x7 pulgadas.

El nuevo motor posee un peso de 108 g, lo que representa un aumento del 63 % respecto al motor original. Para compensar esta variación y mantener el centro de gravedad en la posición

deseada, se rediseñó la sección delantera del fuselaje. En particular, se extendió la segunda pieza del fuselaje en 30 mm, permitiendo el reacomodamiento de los componentes electrónicos y logrando un balance adecuado de masas.

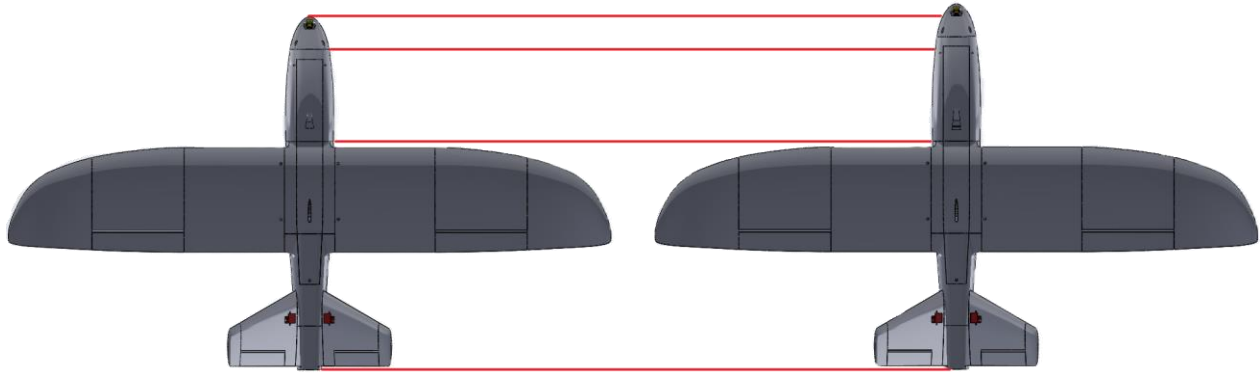


Figura 37. Comparación del dron luego de la extensión del fuselaje.

6.2. Primera prueba de vuelo

Luego de implementar las modificaciones estructurales y de motorización descritas en la sección anterior, se procedió a realizar la primera prueba de vuelo en el Aeroclub de la ciudad de Villa Mercedes. Para esta instancia, se utilizó una batería LiPo de 4 celdas y 7200 mAh, lo que resultó en un peso total de la aeronave de 2580 g. Con esta configuración, la relación empuje-peso fue:

$$\frac{T}{W} = \frac{2,02 \text{ kg}}{2,58 \text{ kg}} = 0,78 \quad (2)$$

Este valor se consideró adecuado para garantizar un despegue seguro mediante lanzamiento manual, cumpliendo con el criterio mínimo recomendado para este tipo de aeronaves ($T/W \geq 0,7$). En función de ello, se autorizó la realización del primer vuelo.

El objetivo principal de esta prueba fue verificar el comportamiento general de la aeronave en condiciones reales, por lo que se trató de un vuelo preliminar sin recolección de datos mediante telemetría ni grabación desde la cámara FPV. Además, no se activaron los modos de vuelo asistido; toda la operación se realizó en modo manual, bajo el control directo del piloto.

Durante el vuelo, el dron respondió de forma estable a las órdenes de control. Sin embargo, el aterrizaje resultó más brusco de lo esperado, debido a la ausencia de modos

automáticos de estabilización. Esto ocasionó daños en dos piezas del fuselaje y el desprendimiento de uno de los estabilizadores en V, lo cual puso en evidencia la necesidad de reforzar esa zona o implementar mejoras en la estrategia de aterrizaje para futuras pruebas.



Figura 38. Daños en el fuselaje y tapa superior luego del aterrizaje del primer vuelo.

6.2.1. Adecuación del diseño

El fuerte impacto producido durante el aterrizaje en la primera prueba de vuelo evidenció una debilidad estructural en el diseño del fuselaje, específicamente en el primer tramo, en la zona donde comienza la tapa superior. El corte recto existente en esa sección funcionó como un punto de concentración de tensiones, lo que provocó la rotura de la pieza en dicha área.

Este comportamiento confirmó la presencia de una geometría susceptible a la acumulación localizada de esfuerzos bajo cargas de impacto. Para solucionar esta deficiencia, se decidió modificar el diseño del fuselaje incorporando un redondeo en lugar del ángulo recto, con el objetivo de suavizar la transición entre superficies y reducir los máximos esfuerzos en esa región crítica. Esto puede observarse en la Figura 39.

Esta corrección fue implementada en el modelo 3D del fuselaje y la tapa superior antes de proceder con la reimpresión de la pieza dañada y su posterior reinstalación en la aeronave.

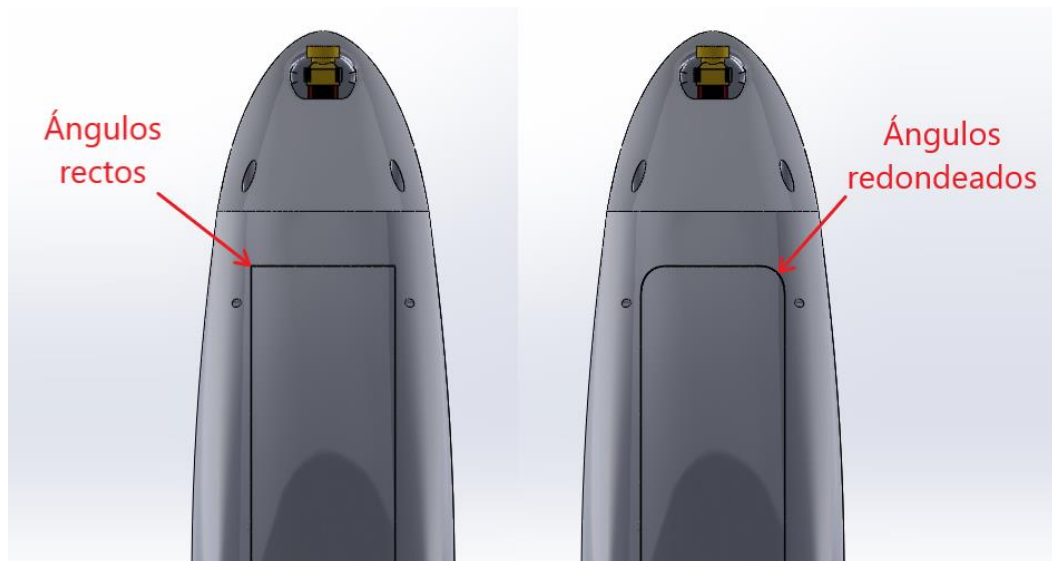


Figura 39. Comparación entre la primera versión del fuselaje y la versión mejorada.

6.3. Segunda prueba de vuelo

La segunda prueba de vuelo se realizó el día sábado 10 de mayo en el Aeroclub de la ciudad de Villa Mercedes. Aunque ya se contaba con una nueva pieza impresa para reemplazar la sección del fuselaje dañada durante la primera prueba, se decidió no instalarla. En su lugar, se procedió a reparar la pieza original utilizando adhesivo cianoacrilato, dado que el daño era superficial y reparable con bajo esfuerzo. Esta decisión se basó, además, en que aún no se había logrado realizar un aterrizaje suave y existía el riesgo de que la nueva pieza también se viera comprometida.

Durante esta jornada se realizaron dos vuelos consecutivos. En el primero, el objetivo fue verificar el funcionamiento de los modos de vuelo asistidos, por lo que se activaron los siguientes modos del sistema de control: ANGLE (estabilizado), LOITER (mantenimiento de posición), NAV ALTHOLD (mantención de altitud).

Además, se utilizó la función AUTO TUNE del firmware INAV para ajustar dinámicamente los parámetros del controlador PID durante el vuelo. El comportamiento de la aeronave fue estable en todos los modos, y el aterrizaje asistido por el sistema de control resultó exitoso, sin daños estructurales.

Dado el buen desempeño observado en el primer vuelo, se procedió a realizar un segundo vuelo experimental, en el cual se capturaron datos de telemetría y se evaluó el

comportamiento del sistema de control de cámara durante el vuelo. En ambos vuelos se registró video desde la cámara FPV, aunque la calidad final no fue satisfactoria debido a una conexión deficiente en el cableado de video, lo que generó interferencias y pérdidas parciales en la imagen.

A continuación, se presentan imágenes capturadas durante la segunda prueba de vuelo del dron.



Figura 40. Segunda prueba de vuelo.



Figura 41. Segunda prueba de vuelo.



Figura 42. Segunda prueba de vuelo.



Figura 43. Segunda prueba de vuelo.

6.4. Resultados experimentales

6.4.1. Modos de vuelo

Durante las pruebas experimentales se evaluaron diversos modos de vuelo del sistema de control, incluyendo ANGLE, LOITER y NAV ALTHOLD, así como la función AUTO TUNE destinada al ajuste automático de los parámetros PID. Todas estas funciones operaron correctamente, sin presentar inconvenientes, y demostraron un comportamiento estable y consistente en distintas fases del vuelo. La función de autoajuste permitió mejorar la respuesta dinámica de la aeronave, optimizando su maniobrabilidad.

La única función no evaluada en esta etapa fue NAV RTH la cual está diseñada para retornar automáticamente al punto de origen en caso de pérdida de señal o de alcance visual. Esta función es de gran utilidad en vuelos de largo recorrido o ante situaciones imprevistas, y se contempla su validación en futuras pruebas.

6.4.2. Telemetría

Los datos de telemetría del dron pueden obtenerse mediante dos métodos complementarios. Por un lado, los parámetros más relevantes del vuelo se visualizan en tiempo real a través de la pantalla OSD, integrada en la señal de video transmitida al piloto durante el vuelo FPV. Al finalizar cada vuelo, el sistema presenta además un resumen en pantalla con los valores registrados.

Por otro lado, es posible capturar y visualizar la telemetría de forma más completa mediante el uso del módulo de telemetría junto con el software *Mission Planner* [15], que permite monitorear en tiempo real el estado de la aeronave desde una computadora. Esta herramienta no solo ofrece una visualización más detallada durante el vuelo, sino que también genera un archivo de registro que almacena todos los datos recolectados, permitiendo su análisis posterior en cualquier instante de la misión.

A continuación, se presentan los principales datos de telemetría correspondientes a los vuelos realizados durante la segunda prueba. En el primer vuelo, la información fue obtenida únicamente a través de la pantalla OSD, mientras que en el segundo vuelo se utilizaron ambos métodos: pantalla OSD y datos recolectados por el software *Mission Planner*.

Primer vuelo:

Tabla 3. Telemetría del primer vuelo.

Parámetro	Valor
Tiempo de vuelo	6 min 55 s
Distancia total recorrida	7,47 km
Distancia máxima desde el origen	476 m
Altura máxima alcanzada	112 m
Velocidad máxima	133 km/h
Fuerza G máxima registrada	9,73 G

Segundo vuelo:

Tabla 4. Telemetría del segundo vuelo.

Parámetro	Valor
Tiempo de vuelo	10 min 11 s
Distancia total recorrida	9,79 km
Distancia máxima desde el origen	356 m
Altura máxima alcanzada	80 m
Velocidad máxima	127 km/h
Fuerza G máxima registrada	7,37 G
Voltaje de la batería	15,72 V
Batería remanente al finalizar	70 %

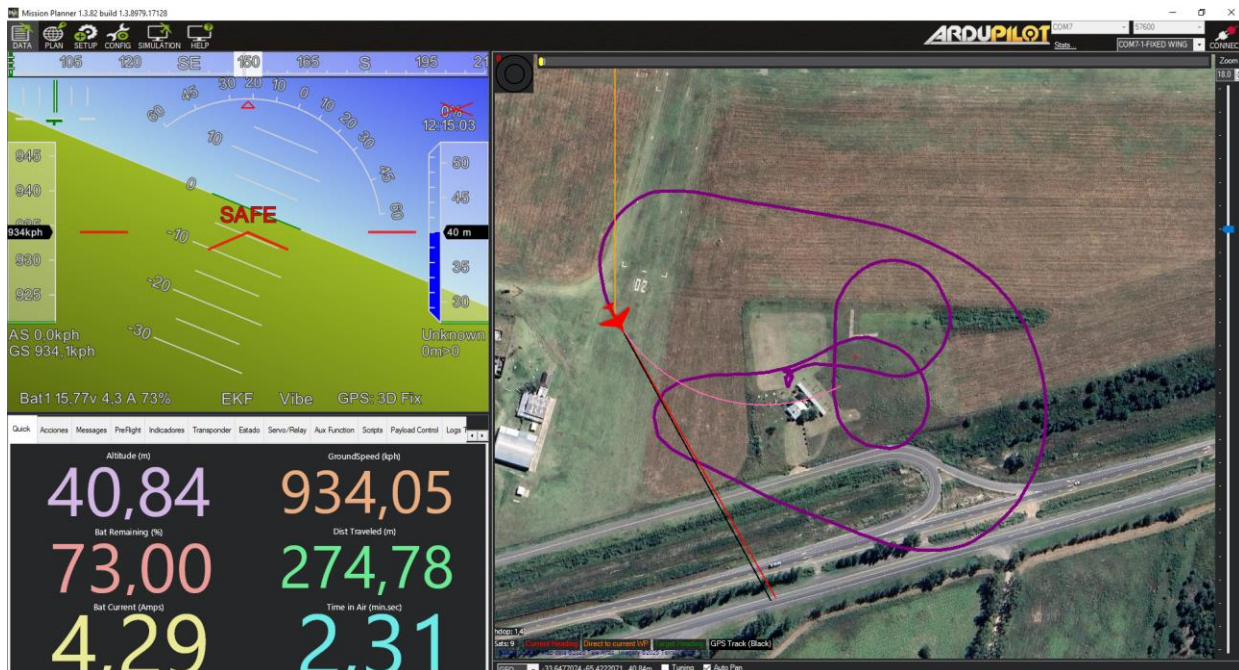


Figura 44. Vista del registro de vuelo desde el software Mission Planner.



Figura 45. Vista satelital del recorrido de vuelo.

6.4.3. Desempeño estructural en vuelo

Uno de los principales objetivos del rediseño del dron fue mejorar la rigidez estructural general, especialmente en las alas, mediante la extensión de las varillas de carbono y la aplicación de mejoras geométricas en las uniones con el fuselaje. Los resultados de la segunda prueba de vuelo validan la efectividad de estas modificaciones.

Durante el primer vuelo experimental, se alcanzó una velocidad máxima de 133 km/h y una fuerza G máxima de 9,73, valores que implican condiciones de carga considerables sobre la estructura del ala y el fuselaje. Pese a estas exigencias, no se observaron daños estructurales, deformaciones ni signos de fatiga en las uniones críticas del diseño, lo cual confirma la resistencia del conjunto ante maniobras de alta aceleración.

Este desempeño demuestra que las decisiones tomadas durante el proceso de rediseño fueron acertadas y efectivas. Asimismo, estas pruebas permiten validar experimentalmente los análisis realizados previamente mediante simulación estructural, reforzando la confiabilidad del diseño en condiciones reales de vuelo.

6.4.4. Video

La grabación del video proveniente de la cámara frontal del dron presentó inconvenientes durante el vuelo debido a una mala conexión entre los pines de los cables de la cámara y los de la placa controladora. Las vibraciones y movimientos propios del vuelo generaban ruido en la señal e incluso la pérdida total del OSD y del video en ciertos momentos.

Este problema fue corregido posteriormente mediante el reemplazo de los pines de conexión por otros de mayor calidad, lo que permitió mejorar la estabilidad de la señal y eliminar las interrupciones.

No obstante, a pesar de estas fallas, se lograron obtener fragmentos de video con buena calidad, en los que se puede apreciar la imagen transmitida durante el vuelo, tal como se muestra a continuación.



Figura 46. Captura de la cámara FPV con el modo ANGLE activado.



Figura 47. Captura de la cámara FPV con el modo LOITER activado.



Figura 48. Captura de la cámara FPV en vuelo manual.

CAPITULO 7: Recursos y Análisis de Costos

Con el objetivo de evaluar la factibilidad técnica, económica y material del proyecto, este capítulo presenta un desglose detallado de los recursos humanos, físicos y económicos utilizados para el diseño, construcción y validación del dron de ala fija. Esta información no solo permite dimensionar el alcance del trabajo, sino también establecer criterios realistas para la posible replicación del proyecto en entornos similares.

7.1. Recursos humanos

El proyecto fue desarrollado de forma individual por el alumno, con el acompañamiento académico de un director y un codirector. A continuación, se presenta la estimación de horas dedicadas a cada etapa:

Tabla 5. Estimación de horas de trabajo dedicadas.

Actividad	Horas estimadas
Investigación y marco teórico	30 h
Rediseño CAD del modelo	80 h
Simulación estructural	5 h
Impresión 3D de componentes	200 h
Ensamblado del dron	40 h
Instalación y conexión electrónica	20 h
Configuración del firmware INAV	25 h
Pruebas en tierra y ajuste de CG	20 h
Pruebas de vuelo	15 h
Análisis de datos y telemetría	15 h
Redacción del informe y defensa	50 h
Total	500 h

Cantidad de horas de trabajo estimadas para el director y codirector:

- Ing. Carlos Catuogno (director): 25 h
- Ing. Juan P. Demichelis (codirector): 20 h

7.2. Recursos físicos

Los recursos físicos empleados fueron una combinación de elementos propios del LabTA y del alumno. Se utilizaron notebooks, impresora 3D, estación de soldado, herramientas de mano y multímetro, junto con softwares como SolidWorks, PrusaSlicer, INAV Configurator y Mission Planner. Además, se utilizó el Aeroclub de Villa Mercedes para realizar las pruebas de vuelo en un entorno controlado.

7.2.1. Equipamiento informático y software

Tabla 6. Software y equipamiento informático.

Recurso	Descripción / Uso
Notebook personal	Diseño CAD, simulación, configuración y monitoreo (INAV, Mission Planner), documentación
SolidWorks 2023	Modelado y simulación de esfuerzos
PrusaSlicer	Generación de G-code para impresión 3D
INAV Configurator	Configuración del controlador de vuelo
Mission Planner	Visualización y análisis de telemetría
Office	Redacción

7.2.2. Herramientas y dispositivos

Tabla 7. Herramientas y dispositivos.

Elemento	Función
Impresora 3D Ender 3	Fabricación de piezas estructurales
Estación de soldado	Montaje de conexiones electrónicas
Herramientas de mano	Ajustes mecánicos y ensamblado
Multímetro	Verificación de señales y tensiones
Espacio de trabajo (LabTA)	Montaje y pruebas funcionales
Aeroclub de Villa Mercedes	Pruebas de vuelo en entorno controlado

7.3. Recursos económicos

Para estimar el costo total del prototipo desarrollado, se elaboró una lista de materiales que incluye los elementos estructurales, electrónicos y materiales adicionales utilizados durante

la construcción del dron. En la tabla correspondiente se indican la cantidad, el costo unitario y total de cada componente, junto con su procedencia, especificando si fue adquirido por el alumno, donado por el laboratorio o recuperado de otros proyectos como reciclado.

Los precios considerados corresponden a mayo de 2025, con una cotización del dólar oficial a \$1150. La suma total del proyecto asciende a \$1.574.163, lo que equivale a U\$D 1370. A continuación, se resumen los elementos por categoría.

7.3.1.Elementos estructurales

Los elementos estructurales incluyen el material de impresión PLA, adhesivos, varillas de refuerzo, alambre, precintos y tornillería. Estos elementos fueron mayoritariamente adquiridos, con excepción del alambre de acero, que fue reciclado.

Tabla 8. Elementos estructurales.

Componente	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Procedencia
Filamento 3D PLA x1 kg	2	\$22.000	\$44.000	Adquirido
Pegamento cianoacrilato x20 g	1	\$7.980	\$7.980	Adquirido
Acelerador de curado en aerosol	1	\$28.906	\$28.906	Adquirido
Varilla de carbono Ø8mm x1m	2	\$33.822	\$67.644	Adquirido
Varilla de carbono Ø3mm x1m	2	\$11.668	\$23.336	Adquirido
Varilla de carbono Ø2mm x1m	1	\$8.714	\$8.714	Adquirido
Alambre de acero Ø1mm x 1m	1	\$200	\$200	Reciclado
Precintos 100x2,4mm x100 unidades	1	\$3.000	\$3.000	Adquirido
Tuercas y tornillos M3	35	\$75	\$2.625	Adquirido
Costo total de los componentes estructurales			\$186.405	

7.3.2.Electrónica y potencia

Los componentes electrónicos y de potencia incluyen el controlador de vuelo, el sistema de radio control, sensores, módulos de transmisión, motores, batería y elementos de conversión y regulación. La mayoría de estos componentes fueron donados, principalmente por el LabTA, lo que representó un ahorro significativo en el costo final.

Tabla 9. Electrónica y potencia.

Componente	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Procedencia
Controlador ATOMRC F405 INAV MINI	1	\$ 35.650	\$ 35.650	Donado
Transmisor RC Futaba T10J	1	\$ 494.489	\$ 494.489	Donado
Receptor RC Futaba R3008SB	1	\$ 80.489	\$ 80.489	Donado
Servomotor MG90s	5	\$ 5.605	\$ 28.025	Adquirido
Cámara CaddxFPV EOS V2	1	\$ 37.820	\$ 37.820	Adquirido
Transmisor de video TS832	1	\$ 63.110	\$ 63.110	Donado
Radio Telemetría SiK V3 433 MHz	2	\$ 72.439	\$ 144.877	Donado
GPS Walksnail WS-M181	1	\$ 19.550	\$ 19.550	Donado
Convertidor XL7015 CC-CC 80 V	1	\$ 4.900	\$ 4.900	Donado
Controlador de velocidad MAG 8 70A	1	\$ 15.571	\$ 15.571	Donado
Batería LiPo 4S 7200 mAh	1	\$ 414.570	\$ 414.570	Donado
Motor brushless SunnySky X2814 900 KV	1	\$ 34.489	\$ 34.489	Donado
Hélice 11x7	1	\$ 4.220	\$ 4.220	Donado
Costo total de los componentes electrónicos y de potencia			\$1.377.759	

7.3.3. Materiales adicionales

En esta categoría se incluyen elementos complementarios para el ensamblaje, protección y terminación del dron:

Tabla 10. Materiales adicionales.

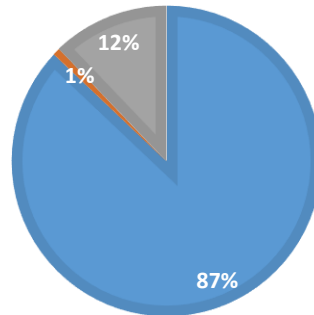
Componente	Cantidad	Costo unitario	Costo total	Procedencia
Lija P180	1	\$ 1.000	\$ 1.000	Adquirido
Cables electrónica	1	\$ 2.480	\$ 2.480	Reciclado
Cable termocontraíble	1	\$ 3.800	\$ 3.800	Adquirido
Burlete gomaespuma 10mm x 10mm	1	\$ 3.200	\$ 3.200	Adquirido
Madera 75cm x 25cm x18mm	1	\$ 2.000	\$ 2.000	Reciclado
Costo total de los elementos			\$ 12.480	

7.3.4. Resumen general

A continuación, se presenta la distribución del costo total según la procedencia de los materiales y su clasificación:

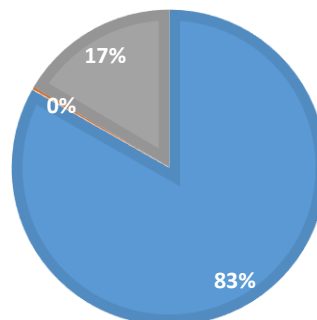
COSTO TOTAL EN RELACIÓN A LA CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS

■ Electrónica y potencia ■ Materiales adicionales ■ Elementos estructurales



COSTO TOTAL EN RELACIÓN AL ORIGEN DE LOS ELEMENTOS

■ Donado ■ Reciclado ■ Adquirido



Este análisis muestra que una gran parte del equipamiento fue aportada por el LabTA, representando en su mayoría los componentes correspondientes a la electrónica y propulsión del dron. Esta disponibilidad de recursos permitió reducir considerablemente el gasto directo del alumno, haciendo viable la construcción del prototipo sin comprometer la funcionalidad ni la calidad del sistema desarrollado.

CAPITULO 8: Propuestas de mejoras

A partir de la experiencia adquirida durante el desarrollo, configuración y prueba del prototipo, se identificaron una serie de oportunidades para futuras mejoras que podrían incrementar la funcionalidad, la robustez y la versatilidad del sistema. Las siguientes propuestas buscan orientar el trabajo futuro, ya sea en un contexto académico, experimental o de aplicación real.

8.1. Incorporación de cámara digital HD

El sistema actual de video se basa en una cámara FPV básica, adecuada únicamente para la navegación en primera persona, pero limitada en cuanto a resolución, ángulo de visión y estabilidad de imagen. Una mejora significativa consiste en reemplazarla por una cámara digital HD, con capacidad de almacenamiento local, estabilización electrónica de imagen y lente gran angular. Esta incorporación permitiría capturar imágenes y videos de alta calidad durante el vuelo, ampliando notablemente la utilidad del sistema para tareas de vigilancia aérea, monitoreo ambiental, inspección de infraestructuras o mapeo geográfico, al tiempo que mejora la experiencia del piloto en operaciones FPV.

Además, gracias al diseño del dron que incluye una nariz desmontable, resulta sencillo reemplazar esta sección por otra especialmente diseñada para alojar cámaras o sensores de mayor tamaño o distinta forma. Esta característica facilita la adaptación del dron a diferentes configuraciones sin comprometer la integridad de las piezas existentes ni modificar el conjunto estructural general.

8.2. Sistemas de despegue y aterrizaje

Actualmente, el dron depende del lanzamiento manual y aterrizaje sin ruedas, lo que puede provocar impactos bruscos que afecten a la estructura, especialmente durante vuelos de prueba o en terrenos irregulares. Una mejora significativa sería la incorporación de un tren de aterrizaje liviano, ya sea fijo o retráctil, que permita maniobras más controladas y reduzca el riesgo de daños estructurales. Esta solución sería útil en superficies como césped, tierra compacta o pistas pavimentadas. No obstante, se debe considerar que el tren de aterrizaje incrementa el peso total del dron y podría comprometer la capacidad de carga útil.

Otra alternativa viable es el uso de una catapulta de despegue, diseñada para drones de ala fija sin tren. Este dispositivo permite lanzar la aeronave con mayor velocidad y precisión, garantizando un ángulo de salida más estable y evitando errores humanos en el lanzamiento convencional. Además, reduce el riesgo de accidentes con la hélice durante la fase de lanzamiento, mejorando la seguridad del operador. Existen diseños de catapultas mecánicas simples, fácilmente replicables mediante resortes o bandas elásticas, lo que mantiene la filosofía de bajo costo del proyecto.

8.3. Sistema de liberación de carga útil

Una mejora funcional interesante es el desarrollo de un mecanismo de liberación de carga útil controlado remotamente, activado por el operador mediante el transmisor o programado desde el firmware INAV. Esta función ampliaría el campo de aplicación del dron, habilitando misiones como entrega de objetos, liberación de sensores ambientales o siembra localizada de semillas.

El sistema podría integrarse al fuselaje y alimentarse desde la batería principal, utilizando un canal auxiliar del transmisor. Esta mejora refuerza la modularidad del dron y lo adapta a nuevos entornos de uso.

8.4. Protección para componentes electrónicos

Durante las pruebas se observó que los componentes electrónicos internos están expuestos a polvo, humedad e impactos accidentales. Si bien el diseño incluye una tapa superior y fijaciones estructurales, sería conveniente incorporar un sistema de carcasa protectora o encapsulado modular, fabricado mediante impresión 3D.

Esto mejoraría la resistencia mecánica y ambiental del conjunto electrónico, protegiendo conectores, placas y cables ante vibraciones o salpicaduras. Además, permitiría volar en condiciones de alta humedad o lluvia ligera, siempre que las demás variables climáticas sean adecuadas.

8.5. Incorporación de sensores complementarios

Una mejora relevante para tareas de monitoreo ambiental o prevención de incendios es la incorporación de sensores adicionales, como una cámara térmica o infrarroja. Este tipo de

sensor permitiría detectar focos de calor en zonas rurales o forestales, habilitando funciones avanzadas de patrullaje, detección de incendios o vigilancia nocturna. Su integración podría realizarse mediante un módulo dedicado, sincronizado con la telemetría del sistema o con almacenamiento de datos local.

CAPITULO 9: Conclusión

El presente trabajo tuvo como objetivo principal el rediseño de un dron de ala fija e implementación de control de vuelo para aplicaciones de vigilancia aérea, tomando como punto de partida un modelo de licencia libre y adaptándolo a los requerimientos y recursos disponibles. El desarrollo implicó una fuerte integración de conocimientos en diseño mecánico, electrónica embarcada, fabricación aditiva y sistemas de control automático, lo que permitió consolidar un sistema funcional y replicable.

A lo largo del proceso se identificaron y resolvieron múltiples desafíos técnicos. En primer lugar, el rediseño estructural del dron permitió superar limitaciones del modelo original, mejorando la rigidez, la aerodinámica, la organización interna y la adaptabilidad a diferentes configuraciones de hardware. Este trabajo fue validado tanto mediante simulaciones por elementos finitos como a través de pruebas experimentales en tierra y en vuelo, obteniendo resultados que confirman mejoras en la resistencia estructural y en la funcionalidad general del sistema.

Por otro lado, la incorporación del firmware INAV y su configuración a través del controlador de vuelo permitió implementar múltiples modos de operación asistida y autónoma, ampliando las posibilidades de uso del dron para tareas de vigilancia, monitoreo o inspección. Las pruebas de vuelo demostraron un comportamiento estable y confiable, y permitieron obtener datos de telemetría útiles para el análisis posterior.

Asimismo, el enfoque adoptado, basado en el uso de herramientas y tecnologías de código abierto, demostró ser efectivo tanto desde el punto de vista técnico como económico. Esto permitió desarrollar un sistema versátil y de bajo costo, fácilmente reproducible en contextos educativos, experimentales o de innovación aplicada.

Finalmente, se identificaron diversas oportunidades de mejora que podrían abordarse en futuros desarrollos, tales como la incorporación de sensores avanzados, sistemas de liberación de carga útil, cámaras de mayor resolución y tren de aterrizaje. Estas mejoras permitirían ampliar el campo de aplicación del dron y adaptarlo a misiones más exigentes.

Este proyecto alcanzó los objetivos propuestos, demostrando la viabilidad de desarrollar un dron de ala fija funcional y optimizado a partir de recursos accesibles, y sentando las bases para futuros trabajos en el área de vehículos aéreos no tripulados dentro del ámbito de la ingeniería mecatrónica.

Glosario

ANAC	Administración Nacional de Aviación Civil. Organismo argentino encargado de regular la actividad aeronáutica civil, incluyendo la operación de vehículos aéreos no tripulados.
CG	Centro de Gravedad. Punto teórico donde se concentra la masa total del dron. Su ubicación adecuada es fundamental para garantizar la estabilidad en vuelo.
ESC	Controlador electrónico de velocidad, del inglés <i>Electronic Speed Controller</i> . Dispositivo electrónico que regula la velocidad del motor según las señales enviadas desde el controlador de vuelo.
FPV	Vista en primera persona, del inglés <i>First Person View</i> . Sistema de vuelo en el que el piloto controla el dron a través de una imagen en tiempo real transmitida por una cámara a bordo.
INAV	Firmware de código abierto para controladores de vuelo, orientado a drones que requieren funciones de navegación autónoma y vuelo asistido.
LW-PLA	Ácido poliláctico ligero, del inglés <i>Lightweight Polylactic Acid</i> . Tipo de filamento derivado del PLA utilizado en impresión 3D que se caracteriza por su baja densidad.
OSD	Visualización en pantalla, del inglés <i>On-Screen Display</i> . Sistema que superpone información de telemetría directamente sobre la imagen de video transmitida al piloto. Permite al operador monitorear datos clave en tiempo real durante el vuelo FPV.
PID	Proporcional-Integral-Derivativo. Algoritmo de control que calcula el error entre el valor deseado y el valor actual, ajustando las salidas del sistema para reducirlo.
PLA	Ácido poliláctico, del inglés <i>Polylactic Acid</i> . Material termoplástico biodegradable ampliamente utilizado en impresión 3D por su facilidad de uso y rigidez estructural.
UAV	Vehículo aéreo no tripulado, del inglés <i>Unmanned Aerial Vehicle</i> . Plataforma aérea operada sin piloto a bordo, utilizada para múltiples fines como vigilancia, agricultura, cartografía, entre otros.
UART	Receptor-transmisor asíncrono universal, del inglés <i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i> . Puerto de comunicación serie utilizado para la conexión entre el controlador de vuelo y dispositivos como GPS, telemetría o receptores RC.

Referencias Bibliográficas

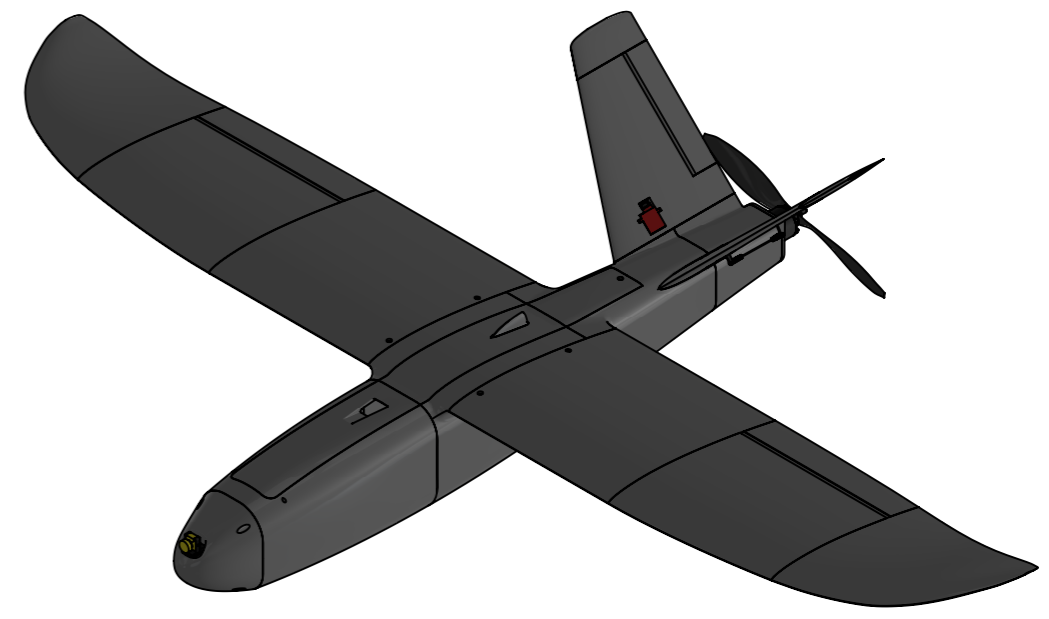
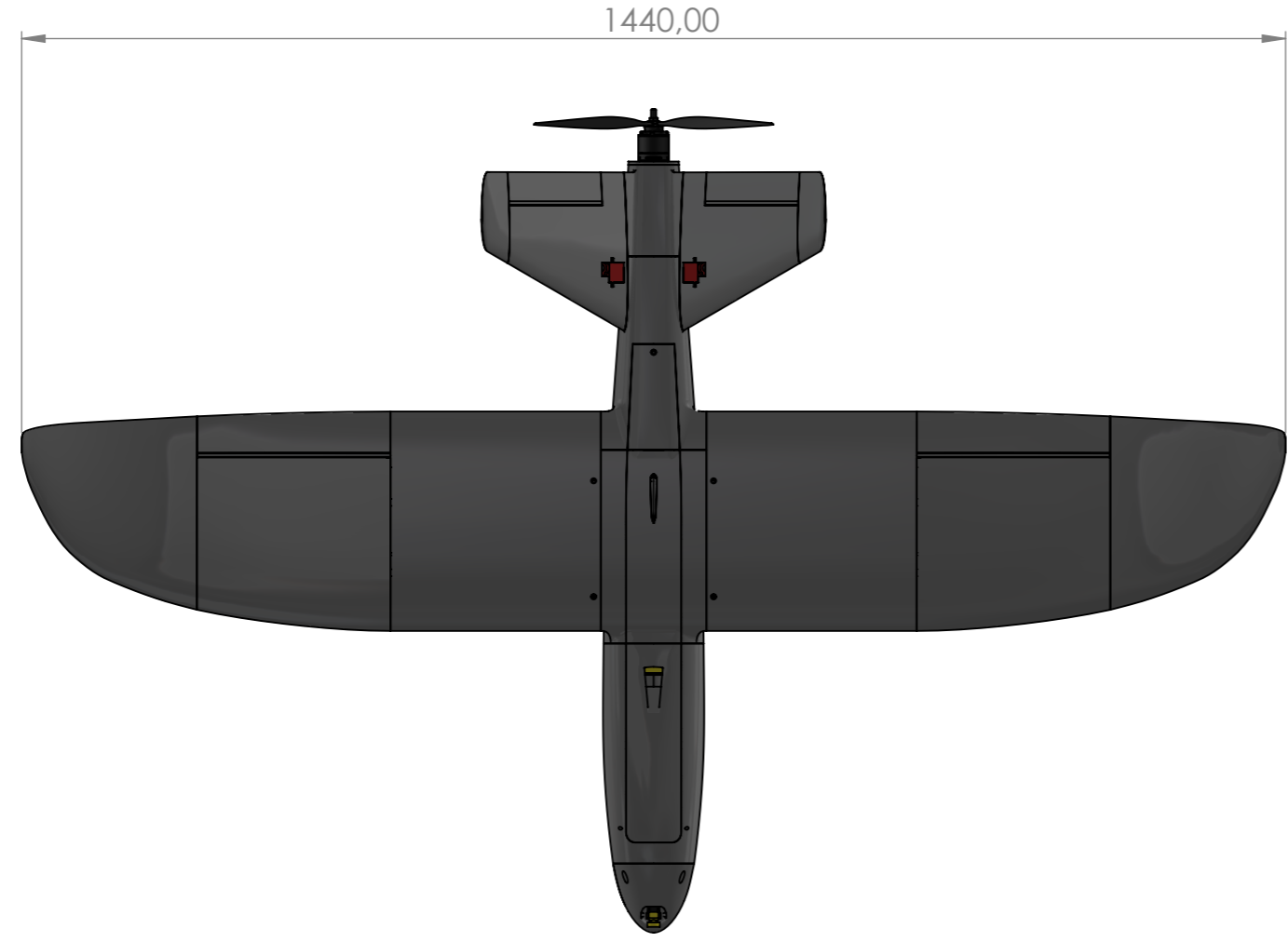
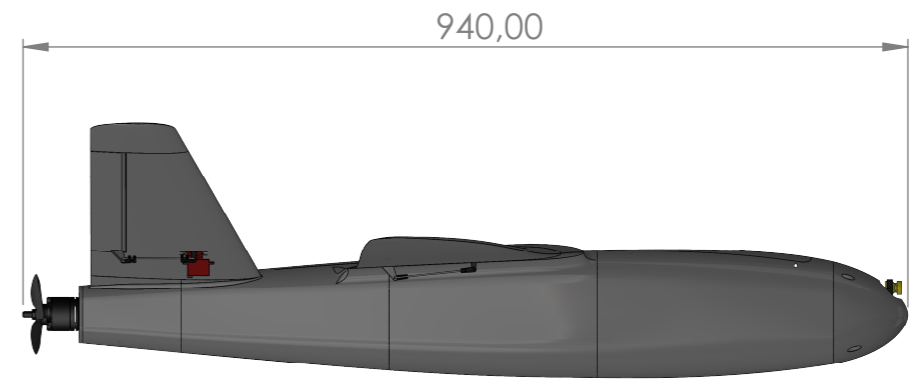
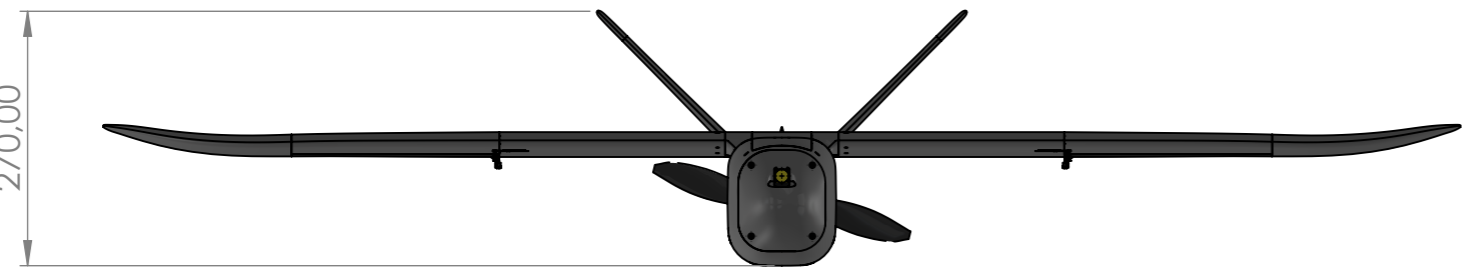
- [1] C. Jakas, «Construcción de un dron de ala fija para vigilancia aérea,» Villa Mercedes, 2025.
- [2] Drone Pilot Ground School, «Drones de ala fija: una guía completa para pilotos de drones,» 12 2024. [En línea]. Available: <https://www.dronepilotgroundschool.com/fixed-wing-drones/>.
- [3] UMILES, «Drones de Ala Fija: Qué son, características y usos en 2023,» 05 2023. [En línea]. Available: <https://umilesgroup.com/dron-ala-fija/>.
- [4] R. Austin, Unmanned aircraft systems, Wiley, 2010.
- [5] Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC), «Teoría y análisis de las respuestas. Disponible,» [En línea]. Available: https://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/pers_aeron/examenes/ppa/teor-a-y-analisis-de-respuestas-ppa.pdf.
- [6] «iNAV,» [En línea]. Available: <https://github.com/iNavFlight/inav>.
- [7] Administración Nacional de Aviación Civil (ANAC), «Disposición 527/2015: Reglamentación para la operación de aeronaves pilotadas a distancia,» [En línea]. Available: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-527-2015-249159/texto>.
- [8] Aeromao, «Aeromapper Talon,» [En línea]. Available: <https://aeromao.com/products/aeromapper-talon/>.
- [9] L. Nadia, «Investigadores argentinos desarrollan un dron para reforestación inteligente,» Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.pagina12.com.ar/529292-investigadores-argentinos-desarrollan-un-dron-para-reforesta>.
- [10] Tecnología humanizada, «Proyecto Drone Ojo de Halcón,» 06 2023. [En línea]. Available: <https://humanizationoftechnology.com/proyecto-drone-ojo-de-halcon/revista/2023/volumen-3-2023/06/2023/>.
- [11] Thingiverse, «Titan Talon,» [En línea]. Available: <https://www.thingiverse.com/thing:5555063>.
- [12] «Thingiverse,» [En línea]. Available: <https://www.thingiverse.com/>.
- [13] «SolidWorks,» [En línea]. Available: <https://www.solidworks.com/es>.
- [14] Prusa Slicer, [En línea]. Available: https://www.prusa3d.com/es/pagina/prusaslicer_424/.
- [15] Ardupilot, «Mission Planner,» [En línea]. Available: <https://ardupilot.org/planner/>.

Anexo A – Vistas del modelo 3D

A continuación, se presentan las vistas fundamentales y las dimensiones finales del dron, desarrolladas mediante el software SolidWorks. Dado que las piezas fueron diseñadas específicamente para impresión 3D y no para procesos de mecanizado convencional, no se incluyen planos acotados individuales. Asimismo, se detallan los principales componentes estructurales impresos en 3D que conforman la aeronave.

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

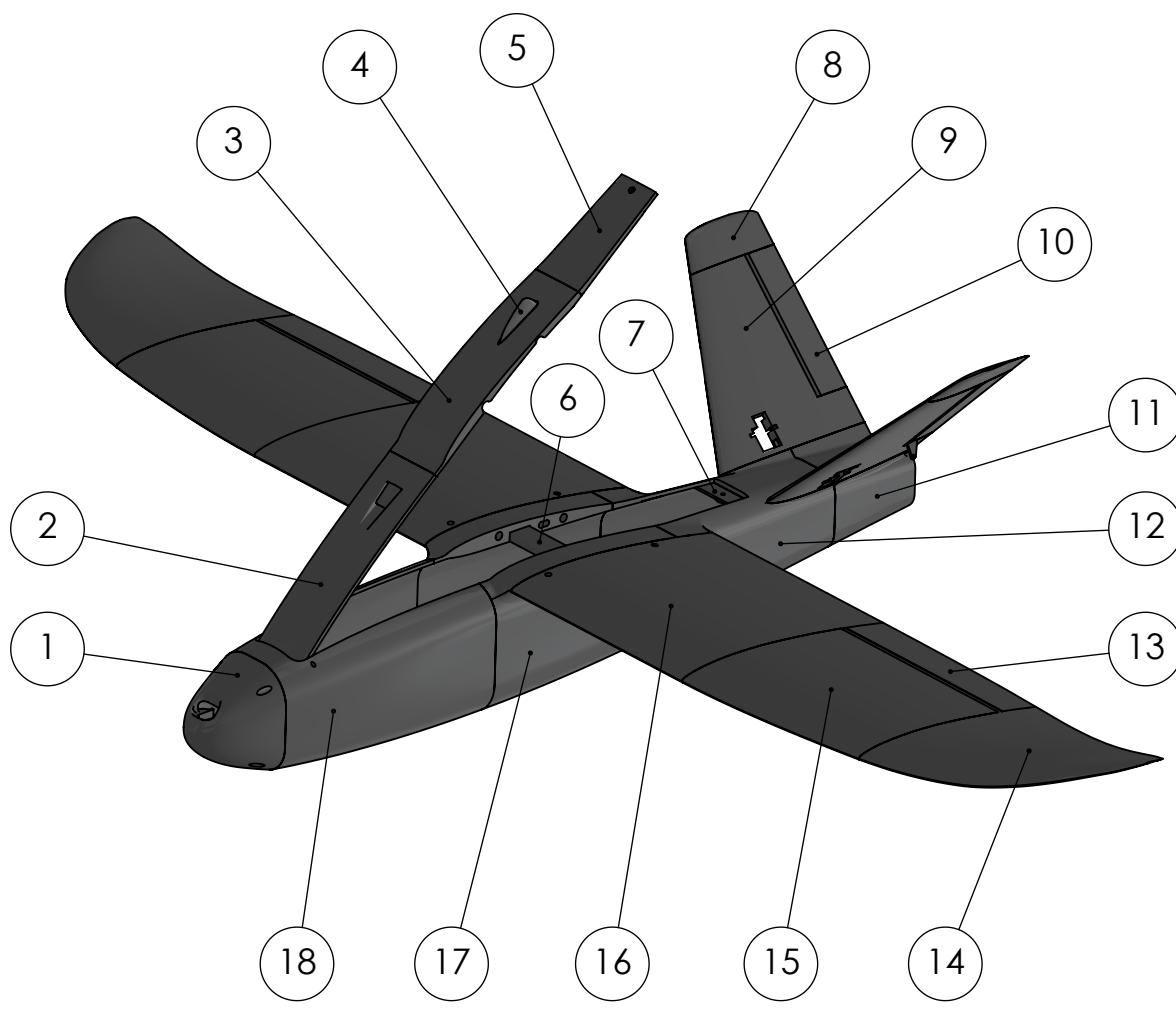


Especificaciones técnicas:

Parámetro	Valor
Envergadura	144 cm
Longitud	94 cm
Altura	27 cm
Peso total al despegue	2580 g
Velocidad máxima registrada	133 km/h
Altura máxima registrada	112 m
Fuerza G máxima registrada	9,73 G
Batería	LiPo 4S 7200 mAh
Autonomía estimada	60 min

DIBUJÓ	JAKAS, CRISTIAN	UNSL FICA	TÍTULO: REDISEÑO DE UN DRON DE ALA FIJA E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL DE VUELO PARA APLICACIONES DE VIGILANCIA AÉREA			
CARRERA	ING. MECATRÓNICA					
FECHA	04/06/2025					
MATERIA:	PROYECTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA	MATERIAL:	PLÁSTICO PLA	PIEZA:	ENSAMBLE COMPLETO	A3
PESO:		ESCALA: 1:8		HOJA 1 DE 2		

8 7 6 5 4 3 2 1



Número	Nombre
1	Fuse 1 [Nariz]
2	Tapa 1
3	Tapa 2
4	Aleta
5	Tapa 3
6	Soporte transversal
7	Soporte tapa
8	Cola V 2
9	Cola V 1

Número	Nombre
10	Alerón Cola V
11	Fuse 5
12	Fuse 4
13	Alerón
14	Ala 3
15	Ala 2
16	Ala 1
17	Fuse 3
18	Fuse 4

ESTUDIANTE: JAKAS, CRISTIAN
 CARRERA: ING. MECATRÓNICA
 FECHA: 04/06/2025
 MATERIA: PROYECTO DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

UNSL FICA
 MATERIAL: PLÁSTICO PLA
 PESO:

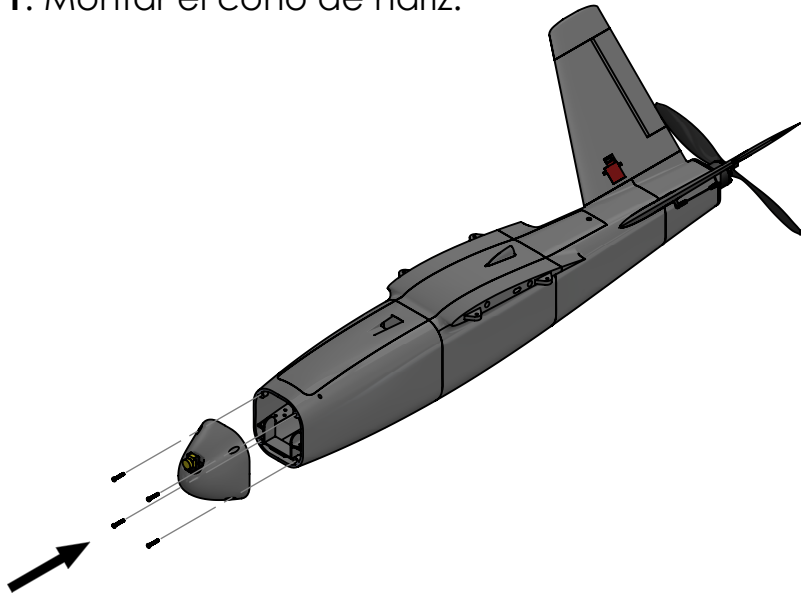
TÍTULO: REDISEÑO DE UN DRON DE ALA FIJA E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL DE VUELO PARA APLICACIONES DE VIGILANCIA AÉREA
PIEZAS IMPRESAS EN 3D
 ESCALA: 1:7
 HOJA 2 DE 2

A4

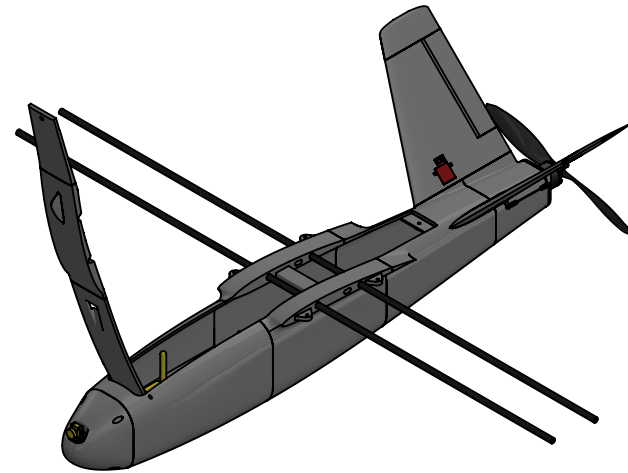
Anexo B – Manual de armado del dron

En el presente anexo se detalla el manual de armado del dron. Se incluye el montaje del cono de nariz, las alas y las conexiones internas correspondientes, con el objetivo de guiar el ensamblaje correcto del sistema completo.

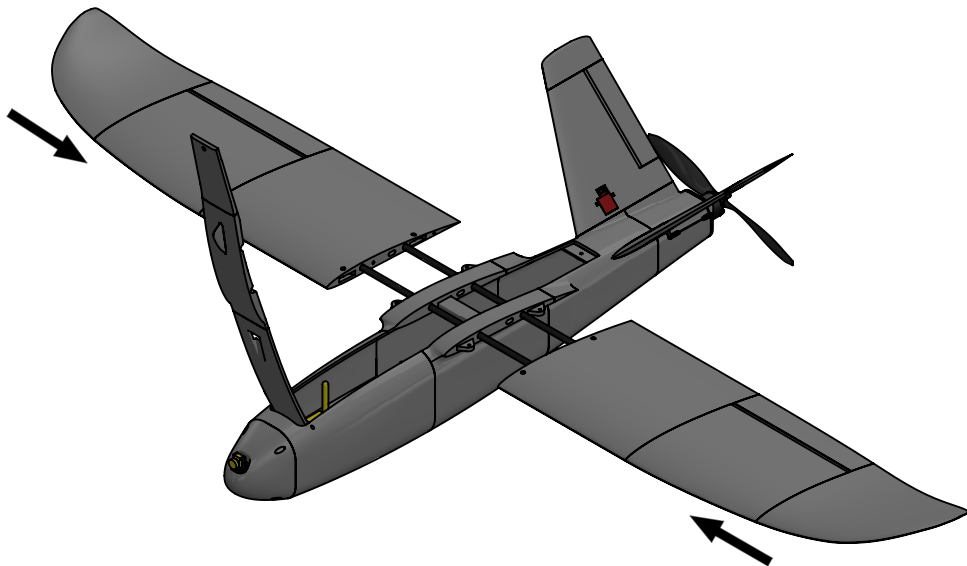
Paso 1: Montar el cono de nariz.



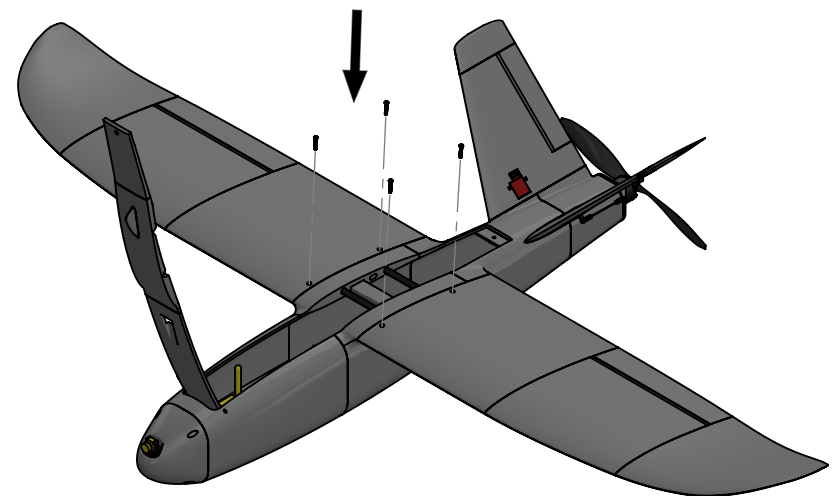
Paso 2: Abrir la tapa superior y colocar las varillas de fibra de carbono en los agujeros correspondientes.



Paso 3: Colocar las alas hasta unir los perfiles alares.



Paso 4: Colocar los tornillos para fijar las alas.



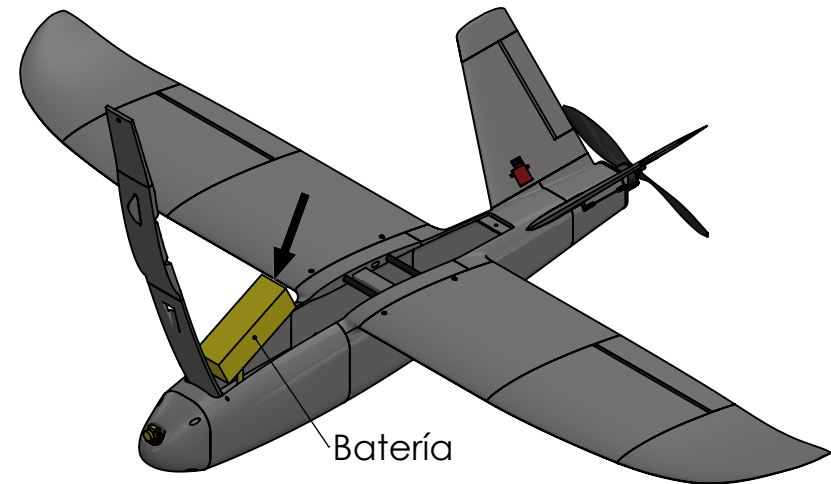
Paso 5: Conectar los pines de los servomotores de las alas y de la cámara, tal como se indica en la siguiente tabla:

Servomotor	Pin de conexión
Ala izquierda	3
Ala derecha	4
Estabilizador V izquierda	5
Estabilizador V derecha	6
Cámara FPV	7

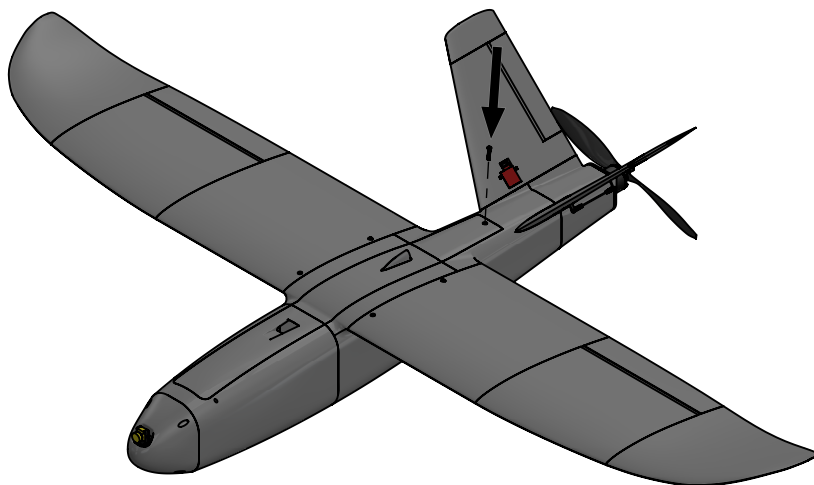
Posteriormente, se deben conectar los pines de alimentación y señal de la cámara.

Nota: el orden de numeración de los pines es de derecha a izquierda.

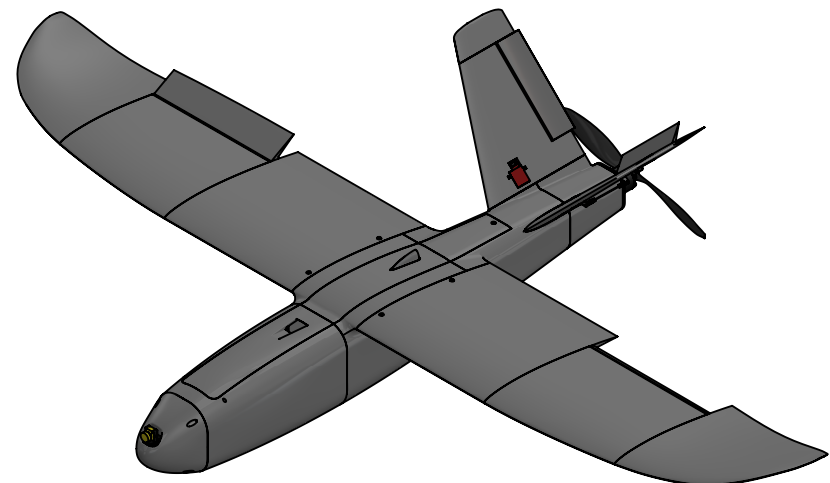
Paso 6: Colocar la batería en su lugar y asegurarla con la cinta velcro. Luego conectar los pines con la placa controladora.



Paso 7: Cerrar y atornillar la tapa superior.



Paso 8: Verificar el correcto funcionamiento de las superficies de control desde el joystick transmisor.



Anexo C – Informe de Práctica Profesional Supervisada

A continuación, se incluye el informe completo correspondiente a la Práctica Profesional Supervisada, el cual forma parte del presente Trabajo Final.



Universidad Nacional de San Luis
Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias

Construcción de un dron de ala fija para vigilancia aérea.

Jakas, Cristian

Práctica Profesional Supervisada de Ingeniería Mecatrónica

Docente guía:
Ing. Catuogno, Carlos Gustavo– FICA - UNSL

Supervisor técnico:
Ing. Demichelis, Juan Pablo– FICA – UNSL

Villa Mercedes, San Luis

Año 2025



Contenido

Contenido

Capítulo 1: Introducción	82
1.1. Fundamentación	82
1.2. Lugar de trabajo	82
1.3. Objetivos	83
1.3.1. Objetivo general:	83
1.3.2. Objetivos específicos:	83
Capítulo 2: Diseño y selección de componentes	84
2.1. Diseño del dron	84
2.2. Componentes estructurales	85
2.2.1. Filamento de impresión 3D	85
2.2.2. Varillas de fibra de carbono	85
2.2.3. Servomotores	86
2.2.4. Otros materiales	86
2.3. Componentes electrónicos	86
2.3.1. Controlador de vuelo.	86
2.3.2. Módulo GPS.	87
2.3.3. Transmisor RC.	88
2.3.4. Transmisor RC.	88
2.3.5. Cámara de video.	89
2.3.6. Transmisor de telemetría.	90
2.3.7. Transmisor de video.	90
2.3.8. Controlador de velocidad electrónico (ESC).	91
2.3.9. Regulador 12V.	92
2.3.10. Motor brushless + hélice 200mm.	92
Capítulo 3: Construcción y ensamble	94
3.1. Máquinas, materiales y herramientas.	94
3.1.1. Impresoras 3D.	94
3.1.2. Pegamento.	94
3.1.4. Estación de soldado.	95
3.1.3. Otros elementos.	95



3.2. Generación de G-code.....	95
3.3. Fabricación de las piezas. (incluir ender3)	95
3.4. Adecuación de las piezas.....	97
3.5. Montaje del fuselaje.....	97
3.6. Montaje de la cola en V.....	98
3.7. Montaje de las alas.	99
3.8. Montaje de la tapa superior y piezas adicionales.	100
3.9. Colocación de los servomotores.	101
3.10. Conexión y fijación de los componentes electrónicos.....	102
3.11. Fijación del motor.	104
3.12. Soporte y transportador.....	104
Capítulo 4. Configuración de la electrónica	106
4.1. Enlazar radiocontrol y receptor.....	106
4.2. Configuración mediante INAV Configurator.	107
4.2.1. Instalación del firmware.....	107
4.2.2. Configuración del joystick	107
4.3. Calibración de los ejes y pruebas de movimiento.....	108
Capítulo 5. Conclusión	110
Capítulo 6. Referencias.....	111



Capítulo 1: Introducción

Esta Práctica Profesional Supervisada (PPS) se orientó a construir, ensamblar e instalar todos los componentes de un dron de vista en primera persona (FPV del inglés *First Person View*) de ala fija, utilizando impresión 3D y tecnologías de control a distancia. Forma parte del desarrollo del Trabajo Final titulado “Rediseño de un dron de ala fija e implementación de control de vuelo para aplicaciones de vigilancia aérea”.

1.1. Fundamentación

La construcción de drones FPV de ala fija ha crecido en popularidad debido a sus aplicaciones en diversas áreas como la exploración, el monitoreo y la recreación. Esta práctica profesionalizante permitió aplicar los conocimientos adquiridos en la Ingeniería Mecatrónica, particularmente en el uso de tecnologías de fabricación aditiva (impresión 3D) y la integración de sistemas de control y electrónica. A través de este proyecto, se desarrollaron habilidades prácticas en el ensamblaje de piezas impresas en 3D, la instalación de sistemas electrónicos y la programación de controladores de vuelo. La elección de un dron de diseño libre facilitó el acceso a tecnologías innovadoras y fomentó la creatividad al hacer modificaciones según los recursos disponibles. Este proyecto está orientado a poner en funcionamiento un sistema aéreo no tripulado, desde la impresión de las piezas hasta las pruebas finales de vuelo, alineado con la creciente demanda de soluciones tecnológicas accesibles y de bajo costo.

1.2. Lugar de trabajo

El lugar de trabajo elegido fue el Laboratorio de Tecnologías Apropriadas (LabTA) de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de San Luis. Este laboratorio se destaca por su diversidad de aplicaciones entre las que se encuentra el desarrollo y construcción de drones de ala fija aplicados a diferentes ámbitos.



Figura 1. Logo del Laboratorio de Tecnologías Apropriadas.



1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general:

- Construir, ensamblar e instalar todos los componentes de un dron FPV de ala fija, utilizando impresión 3D y tecnologías de control a distancia.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Adquirir los materiales para la impresión 3D de las piezas y para la construcción del dron.
- Generar los G-code de las piezas del dron utilizando software de corte (slicer).
- Imprimir en 3D todas las partes del dron.
- Realizar el ensamblaje del fuselaje y las alas del dron.
- Instalar y conectar los componentes electrónicos (controlador de vuelo, motor, servos, sensores) junto con las superficies de control.
- Instalar y configurar el firmware INAV en el controlador de vuelo.
- Desarrollar un informe técnico detallado que documente el proceso de construcción y resultados.

Capítulo 2: Diseño y selección de componentes

2.1. Diseño del dron

Es un diseño modular de alas desmontables optimizado para la impresión 3D con impresoras convencionales. La aeronave no tripulada es del tipo monomotor de ala fija con cola en V, como se muestra en la Figura 3. Presenta una envergadura de 144 cm y un largo de 85 cm. Se trata de un rediseño mejorado del modelo de licencia libre Titan Talon. [1]

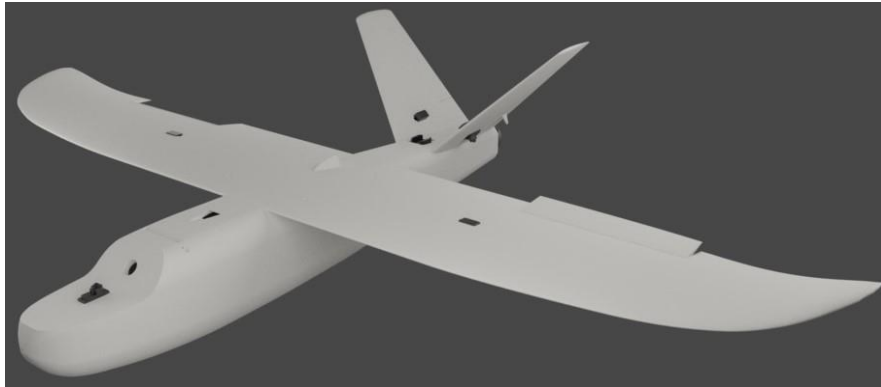


Figura 2. Titan Talon original.

Dispone de cinco compartimentos para servomotores: cuatro destinados al control de las superficies aerodinámicas y uno para la cámara de video, ubicada en la parte delantera del fuselaje.

El motor de propulsión se monta en la parte posterior del fuselaje, asegurado con tornillos.

Los demás componentes se instalan en el interior del fuselaje, fijados a un riel que recorre toda la estructura.

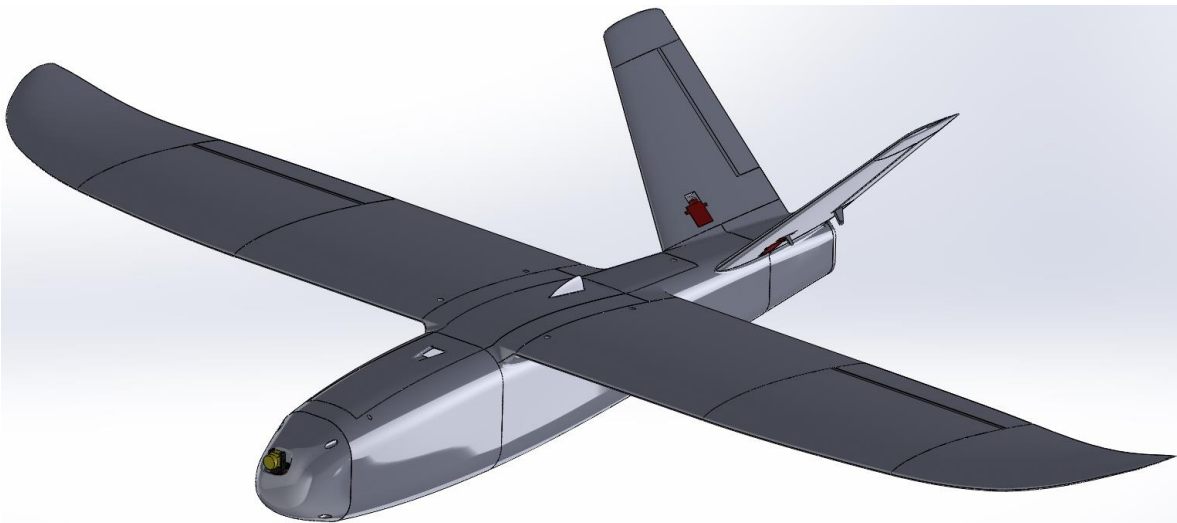


Figura 3. Modelo 3D del dron rediseñado.

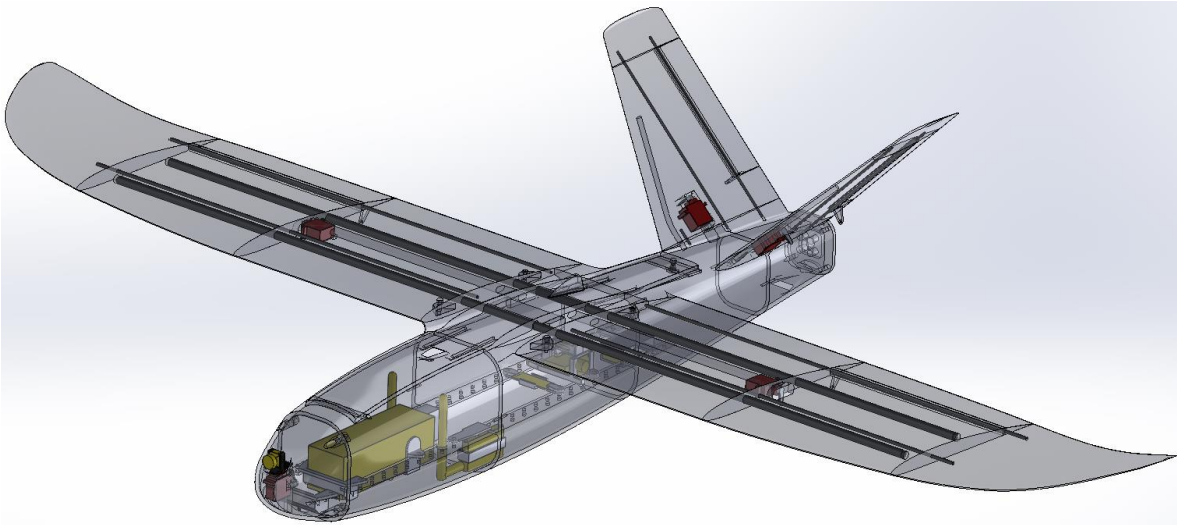


Figura 4. Componentes internos del dron.

2.2. Componentes estructurales.

Los siguientes materiales y componentes son necesarios para la construcción física del dron, excluyendo la parte electrónica (placa controladora INAV, GPS, transmisor de telemetría, etc.).

2.2.1. Filamento de impresión 3D

Para la fabricación de todas las piezas del dron se utilizó filamento PLA de la marca Grilon3. Este material fue seleccionado por su facilidad de impresión, buena resistencia mecánica y la variedad de colores disponibles, además de la calidad garantizada por la marca.



Figura 5. Filamento 3D utilizado.

2.2.2. Varillas de fibra de carbono

Se emplearon varillas de fibra de carbono para mejorar la rigidez y resistencia estructural de las alas y la cola en V. Se usaron tres diámetros diferentes: 8 mm, 3 mm y 2 mm.

Varillas de Ø8 mm: Proveen rigidez a la estructura y permiten unir las alas con el fuselaje. Se utilizaron dos varillas de 1 metro de largo cada una.



Varillas de $\varnothing 3$ mm: Funcionan como miembros estructurales de las alas y como pivote para los alerones horizontales.

Varillas de $\varnothing 2$ mm: Aportan rigidez y sostienen los alerones de la cola en V.



Figura 6. Varillas de fibra de carbono.

2.2.3. Servomotores

Se seleccionaron servomotores MG90S, ampliamente utilizados en aeromodelismo, debido a su buena relación calidad-precio. Estos servomotores cuentan con engranajes metálicos, lo que les otorga mayor durabilidad, y un torque máximo de 2 kg/cm. En este proyecto, se encargan de accionar las superficies de control y la cámara.



Figura 7. Servomotores utilizados.

2.2.4. Otros materiales

Alambre de $\varnothing 1$ mm: Utilizado para conectar las superficies de control con los servomotores.

Precintos: Empleados para fijar el alambre y otros componentes.

2.3. Componentes electrónicos

Los siguientes componentes electrónicos fueron elegidos no solo por cumplir con los requerimientos técnicos del proyecto, sino también porque estaban disponibles en el LabTA, lo que permitió reducir costos y aprovechar los recursos existentes.

2.3.1. Controlador de vuelo.

El ATOMRC F405 INAV MINI es un controlador de vuelo compacto diseñado para aeronaves de ala fija y compatible con el firmware INAV. Se basa en el procesador STM32F405, lo que le proporciona buena capacidad de procesamiento para navegación y control automatizado.

Características principales:

- Procesador: STM32F405.
- Firmware compatible: INAV y Ardupilot.
- Sensores integrados: Giroscopio, acelerómetro y barómetro.
- Salidas PWM: Tiene 8 salidas para servos y motor.
- Soporte para GPS: Compatible con módulos GPS externos.
- Conectividad: UARTs disponibles para periféricos adicionales (telemetría, receptor RC, transmisor de video, etc.).
- Tamaño compacto: Diseñado para instalaciones en drones de ala fija pequeños.

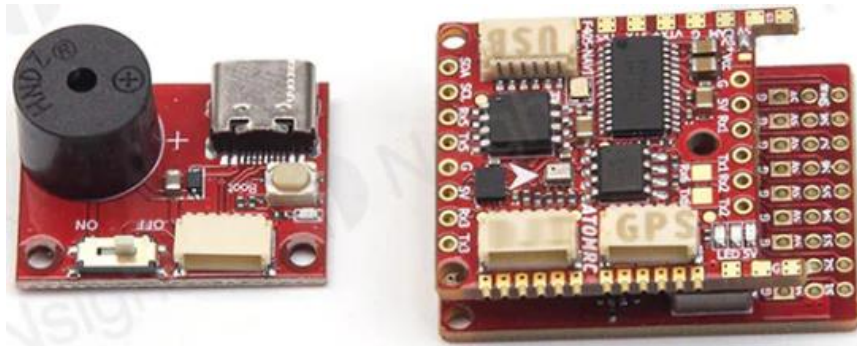


Figura 8. Placa controladora de vuelo ATOMRC F405 INAV MINI.

2.3.2. Módulo GPS.

El Walksnail WS-M181 GPS es un módulo GPS compacto diseñado para su uso en drones FPV y sistemas de navegación autónoma. Es compatible con la placa INAV elegida y es útil para habilitar funciones como RTH (Return to Home), telemetría avanzada y navegación autónoma

Características principales:

- Sistema de posicionamiento: Soporta múltiples constelaciones (GPS, GLONASS, BDS, Galileo).
- Interfaz: UART, compatible con protocolos como UBlox.
- Voltaje de operación: 5V.
- Dimensiones reducidas: Ocupa un volumen de 18mm*18mm*4,6mm, lo cual hace que sea fácil de instalar en espacios limitados.

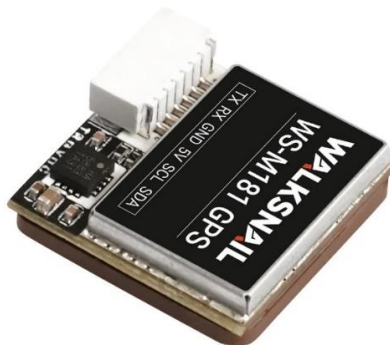


Figura 9. GPS.



2.3.3. Transmisor RC.

Se seleccionó el modelo Futaba T10J, la cual es una radio transmisora de 10 canales para control remoto, ampliamente utilizada en aeromodelismo por su fiabilidad, precisión y versatilidad. Es compatible con una amplia variedad de modelos, incluyendo drones, aviones, helicópteros y vehículos terrestres.

Características principales:

- Canales: 10 canales totalmente programables.
- Frecuencia: 2.4 GHz (sistema T-FHSS o S-FHSS).
- Pantalla: LCD retroiluminada para programación y configuración.
- Modos de vuelo: Compatible con múltiples tipos de modelos (acrobáticos, planeadores, helicópteros, drones).
- Compatibilidad: Utiliza receptores Futaba como el R3008SB, con salida SBUS.
- Funciones especiales: Telemetría en tiempo real, mezclas programables, temporizadores, alarmas de batería.
- Batería: Funciona con pilas recargables.



Figura 10. Transmisor T10J.

2.3.4. Transmisor RC.

El Futaba R3008SB es un receptor de radiofrecuencia diseñado para sistemas de radiocontrol de alto rendimiento, compatible con los transmisores Futaba que utilizan el protocolo T-FHSS, como el T10J. Es ideal para aplicaciones en drones de ala fija, debido a su fiabilidad y baja latencia.

Características principales:

- Protocolo: T-FHSS (Telemetría).
- Canales: 8 canales PWM + 18 canales S.Bus.

- Salida S.Bus: Permite conectar múltiples servos y controladores con una sola línea de señal.
- Telemetría: Compatible con sensores Futaba para obtener datos en tiempo real.
- Voltaje de operación: 3.7V - 7.4V.
- Antenas duales: Mayor estabilidad en la señal y resistencia a interferencias.
- Tamaño compacto y peso reducido: Ideal para instalaciones en drones FPV.



Figura 11. Receptor R3008SB.

2.3.5. Cámara de video.

La Caddx Turbo EOS V2 es una cámara FPV ultraligera y compacta, diseñada especialmente para sistemas de visión en primera persona en drones. A pesar de su tamaño reducido, ofrece una buena calidad de imagen y bajo retardo, siendo ideal para aeronaves de ala fija como el dron desarrollado en este proyecto.

Características principales:

- Sensor: CMOS 1/3".
- Resolución: 1200 TVL.
- Relación de aspecto: 4:3.
- Lente: 2.1 mm (FOV 160° aprox.).
- Salida de video: Analógica (NTSC / PAL seleccionable).
- Rango de voltaje: 3,3 – 5 V.
- Consumo: ~60 mA a 5V.
- Peso: Aproximadamente 3.5 g.



Figura 12. Cámara FPV.



2.3.6. Transmisor de telemetría.

El SiK Telemetry Radio V3 de 500 mW y 433 MHz es un módulo de comunicación inalámbrica que permite establecer un enlace de telemetría en tiempo real entre el dron y una computadora en tierra, facilitando el monitoreo de parámetros de vuelo como altitud, velocidad, rumbo, estado del GPS, nivel de batería y más.

Características principales:

- Frecuencia: 433 MHz.
- Potencia de transmisión: 500 mW.
- Protocolo: Basado en SiK, compatible con controladores de vuelo que utilicen INAV, ArduPilot, o PX4.
- Velocidad de transmisión: Configurable mediante software.
- Conectividad: Interfaz UART para conectar a la controladora de vuelo.
- Alcance: Hasta varios kilómetros en campo abierto con antenas adecuadas.
- Configuración: Se puede configurar fácilmente desde el software Mission Planner o INAV Configurator.



Figura 13. Módulo de telemetría.

2.3.7. Transmisor de video.

El TS832 es un transmisor de video analógico (VTx) ampliamente utilizado en sistemas FPV para drones y otras plataformas aéreas. Su función es enviar la señal de video capturada por la cámara a un receptor ubicado en tierra, permitiendo al piloto ver en tiempo real lo que "ve" el dron.

Características principales:

- Frecuencia de transmisión: Banda de 5.8 GHz.
- Potencia de salida: 600 mW.
- Canales: 32 canales disponibles, compatibles con la mayoría de receptores FPV.
- Voltaje de entrada: 7,4–16V.
- Conexión de video: Entrada de señal de video analógica.
- Peso reducido y tamaño compacto.



2.3.9. Regulador 12V.

El módulo regulador de voltaje XL7015 es un convertidor DC-DC step-down (buck) diseñado para reducir el voltaje de entrada a un nivel inferior, manteniendo una salida estable. En este caso se utiliza para alimentar el transmisor de video que no tolera la tensión de 16,8V de la batería LiPo.

Características principales:

- Chip regulador: XL7015.
- Tipo: Reductor (buck).
- Voltaje de entrada: 5 V a 80 V DC.
- Voltaje de salida: Ajustable, típicamente entre 1.25 V y 20 V.
- Corriente de salida: Hasta 0.8 A continuo (1 A pico).
- Eficiencia: Hasta 85%.
- Protecciones: Contra sobrecalentamiento, sobrecorriente y cortocircuitos.
- Ajuste de voltaje: Mediante potenciómetro integrado.



Figura 16. Regulador de voltaje XL7015.

2.3.10. Motor brushless + hélice 200mm.

Motor AERO 2217/6T 1500kv 1,2Kg

El motor AERO 2217/6T 1500KV es un motor brushless utilizado comúnmente en aviones RC, drones de ala fija y otras aplicaciones donde se requiere una buena relación entre potencia, peso y eficiencia. Este modelo presenta un empuje máximo de 1,2 kg lo cual es suficiente para el peso total estimado del dron. Además, se eligió una hélice de 200mm ya que es la recomendada para este tipo de motor.

Características principales:

- Tipo: Motor brushless outrunner.
- Modelo: AERO 2217/6T.
- KV (constante de velocidad): 1500 KV (1500 rpm por voltio aplicado sin carga).
- Empuje máximo: Aproximadamente 1.2 kg con hélice y batería adecuada.
- Voltaje de operación: Recomendado entre 7.4 V (2S) y 11.1 V (3S).
- Consumo: Entre 20 A y 35 A según la hélice utilizada.



- Diámetro del eje: 3.17 mm.
- Peso: Aproximadamente 70 g.
- Montaje: Incluye base cruz y adaptador de hélice.



Figura 17. Motor brushless Aero 2217/6T y hélice de 200mm.

Capítulo 3: Construcción y ensamble

3.1. Máquinas, materiales y herramientas.

3.1.1. Impresoras 3D.

Para la fabricación de las piezas del dron se utilizaron dos impresoras 3D de la marca Creality: los modelos Ender 3 Pro y Ender 3 V2. Ambas poseen características similares, con un volumen de impresión de $220 \times 220 \times 250$ mm, una temperatura máxima de boquilla de 260 °C, temperatura máxima de cama caliente de 110 °C y una resolución de capa de hasta $0,1$ mm. Estas impresoras permiten un proceso de impresión confiable, preciso y económico, siendo ampliamente utilizadas en proyectos de prototipado rápido. Las máquinas pueden observarse en la Figura 18.



Figura 18. Ender 3 Pro y Ender 3 V2.

3.1.2. Pegamento.

Uno de los materiales fundamentales en el armado del dron fue el adhesivo. Su función es asegurar la unión firme y duradera de las piezas impresas, resistiendo las vibraciones y esfuerzos mecánicos propios del vuelo.

Se utilizó cianoacrilato Ciano CM2, un adhesivo de viscosidad media (100 mPa-s), que ofrece una buena manejabilidad: fluye con facilidad sin ser excesivamente líquido, lo cual evita derrames incontrolados. Este tipo de adhesivo es comúnmente empleado en aplicaciones de aeromodelismo por su tiempo de secado rápido y alta resistencia.



Figura 19. Cianoacrilato.



3.1.4. Estación de soldado

Para completar el conexionado, fue necesario utilizar una estación de soldado, la cual permitió extender cables y fijar conexiones directamente en la placa controladora de vuelo. Esta estación estaba equipada con soldador eléctrico, pinzas de sujeción, alambre de estaño y tubos termocontraíbles, que se utilizaron para aislar y proteger eléctricamente cada unión.

3.1.3. Otros elementos.

También se utilizaron herramientas auxiliares para el posprocesado de las piezas impresas y el armado estructural. Entre ellas se incluyen lijas de grano fino, empleadas para eliminar rebabas e imperfecciones superficiales; y brocas de precisión, utilizadas para rectificar orificios y adaptarlos a los diámetros de las varillas de carbono utilizadas como refuerzos internos. Además, se utilizó una sierra de mano para cortar dichas varillas a medida, asegurando un correcto ajuste en cada sección del dron.

3.2. Generación de G-code.

El G-code es el lenguaje de control que traduce los modelos 3D a instrucciones específicas para la impresora. Para este proyecto, se utilizó el software PrusaSlicer para generar los archivos a partir de los modelos digitales del dron. [2]

Luego de realizar pruebas de calibración, se definió la siguiente configuración de impresión:

- Perímetros: 1
- Capas sólidas (inferior y superior): 3
- Tipo de relleno: Giroide
- Densidad de relleno: 5% para las alas, 10% para el fuselaje
- Velocidades de impresión:
 - Perímetros: 30 mm/s
 - Relleno: 28 mm/s
 - Relleno sólido: 25 mm/s
 - Material de soporte: 30 mm/s

La diferencia en el porcentaje de relleno se debe a la ausencia de tren de aterrizaje en el diseño. Dado que el fuselaje soporta el impacto durante el aterrizaje, se reforzó aumentando el material en su interior.

3.3. Fabricación de las piezas.

Con los G-code generados, se procedió a la impresión de las distintas piezas del dron en las impresoras Ender 3 Pro y Ender 3 V2. El proceso se realizó en varias etapas, y los tiempos de impresión y el consumo de material pueden observarse en la Tabla 1.



Grupo	Pieza	Tiempo de impresión		Peso [g]
Ala izquierda	Ala 1	15 hs	10 min	127 g
	Ala 2	8 hs	42 min	90 g
	Ala 3	5 hs	18 min	57 g
	Alerón	3 hs	35 min	16 g
Ala derecha	Ala 1 invertido	15 hs	10 min	127 g
	Ala 2 invertido	8 hs	42 min	90 g
	Ala 3 invertido	5 hs	18 min	57 g
	Alerón invertido	3 hs	35 min	16 g
Fuselaje	Fuse 1	6 hs	19 min	53 g
	Fuse 2	13 hs	59 min	133 g
	Fuse 3	18 hs	44 min	174 g
	Fuse 4	12 hs	20 min	118 g
	Fuse 5	4 hs	43 min	48 g
	Soporte transversal		26 min	7 g
Cola en V	Cola V	4 hs	15 min	37 g
	Cola V 2		45 min	6 g
	Alerón cola V	1 hs	51 min	8 g
	Cola V inv	4 hs	15 min	37 g
	Cola V 2 inv		45 min	6 g
	Alerón cola V inv	1 hs	51 min	8 g
Tapa fuselaje	Tapa 1	2 hs	14 min	21 g
	Tapa 2	3 hs	34 min	27 g
	Tapa 3	1 hs	53 min	13 g
	Aleta		16 min	2 g
	Tapa tornillo		17 min	3 g
Soportes internos de electrónica	INAV		50 min	6 g
	Batería	2 hs	20 min	27 g
	Receptor de RC	1 hs		9 g
	GPS		52 min	4 g
	Transmisor de video		51 min	7 g
	Transmisor de telemetría	1 hs	7 min	10 g
	Regulador 12V		20 min	3 g
SUBTOTAL		135 hs	977 min	
TOTAL		151 hs	17 min	1344 g

Tabla 1. Tiempo de impresión y peso de las piezas del dron.



Figura 20. Ender 3 V2 imprimiendo una pieza.

3.4. Adecuación de las piezas.

Una vez finalizado el proceso de impresión, se realizaron tareas de post-procesado para garantizar el correcto ensamble de los componentes:

Retiro de soportes: Se eliminaron manualmente los soportes generados durante la impresión, en aquellas piezas que lo requerían.

Eliminación de hilos: Se lijaron los residuos de material (hilos o “stringing”) generados por extrusión no deseada.

Rectificación de agujeros: Se ajustaron los diámetros de los orificios mediante brocas, especialmente aquellos destinados a alojar varillas y tubos de carbono.

Colocación de tuercas: Se insertaron tuercas embutidas en las piezas que lo requerían, para permitir uniones atornilladas firmes y removibles.

3.5. Montaje del fuselaje.

Tal como se muestra en la Figura 21, el fuselaje del dron está compuesto por cinco piezas: cuatro de ellas se unieron entre sí utilizando el adhesivo Cianoacrilato CM2, mientras que la quinta pieza fue fijada mediante tornillos.

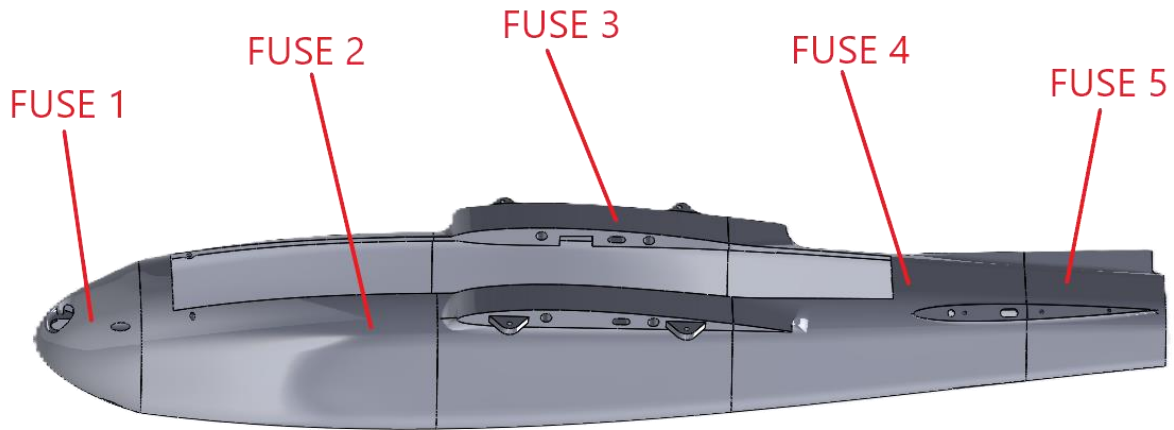


Figura 21. Partes del fuselaje.

El procedimiento de ensamblaje consistió en unir las piezas de a pares, asegurando una correcta alineación. Una vez fraguadas, se consolidaron en un único cuerpo central. Finalmente, se acopló la pieza atornillable, permitiendo el acceso interno para el mantenimiento del sistema electrónico.



Figura 22. Fuselaje ensamblado.

3.6. Montaje de la cola en V.

El sistema de estabilización del dron está compuesto por una cola en V, conformada por dos estabilizadores simétricos. Cada uno de ellos se construyó a partir de tres piezas impresas en 3D, como se muestra en la Figura 23. En su interior se colocaron varillas de carbono de 2 mm de diámetro, que cumplen una doble función: reforzar estructuralmente el estabilizador y actuar como eje de giro para los alerones.

El procedimiento de montaje consistió en:

- Unión de las piezas fijas: Se ensamblaron las dos partes principales de cada estabilizador utilizando adhesivo cianoacrilato.
- Inserción de refuerzos: Una vez secas, se insertaron las varillas de carbono como refuerzos y eje de los alerones.
- Montaje final: Finalmente, se ensambló todo el conjunto al fuselaje, fijándolo con adhesivo para garantizar una unión rígida y precisa.

Este tipo de configuración en V proporciona una combinación de control en los ejes de guiñada y cabeceo, lo cual simplifica el diseño al reducir la cantidad de superficies de control requeridas.

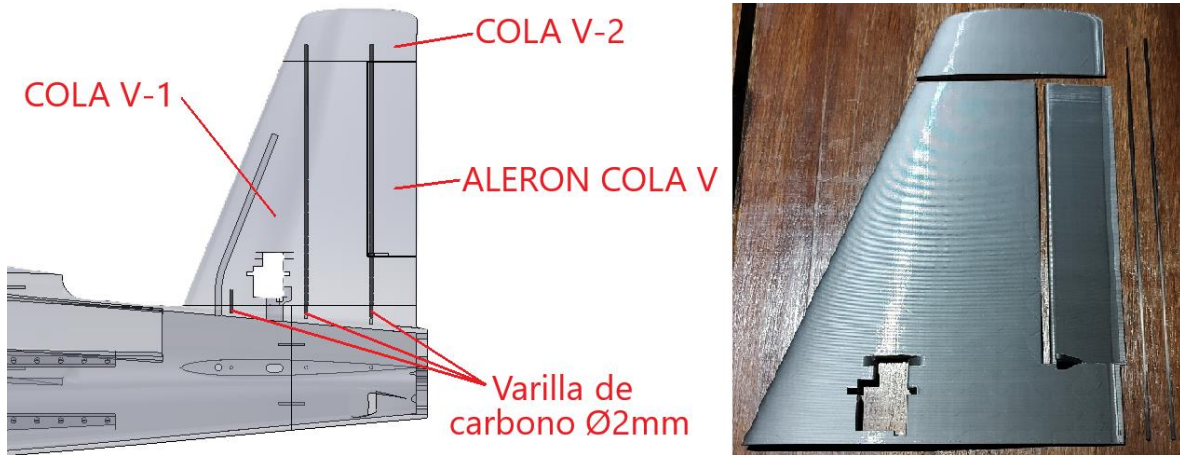


Figura 23. Componentes de la cola en V.

3.7. Montaje de las alas.

Cada ala del dron se compone de cuatro partes impresas en 3D: tres piezas forman la estructura principal del perfil alar y la cuarta corresponde al alerón móvil. Las tres piezas principales se unieron entre sí utilizando adhesivo cianoacrilato, y se reforzaron internamente con dos varillas de carbono de 3 mm de diámetro, insertadas a lo largo del ala. Una de estas varillas también actúa como eje de rotación para el alerón, permitiendo su movimiento libre en respuesta al sistema de control.

Adicionalmente, cada ala incluye dos perforaciones internas donde se colocan varillas de carbono de 8 mm de diámetro, que atraviesan el fuselaje y permiten ensamblar ambas alas entre sí, formando una estructura continua junto al fuselaje. Estas varillas no sólo aseguran la correcta alineación, sino que también proporcionan rigidez estructural al conjunto, lo que es fundamental para resistir las cargas aerodinámicas durante el vuelo.

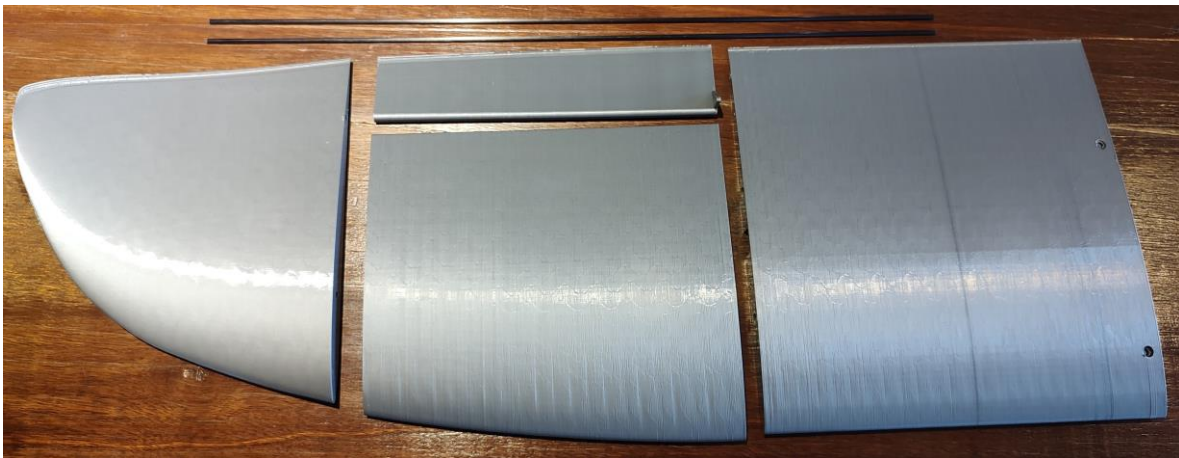


Figura 24. Piezas impresas del ala derecha.

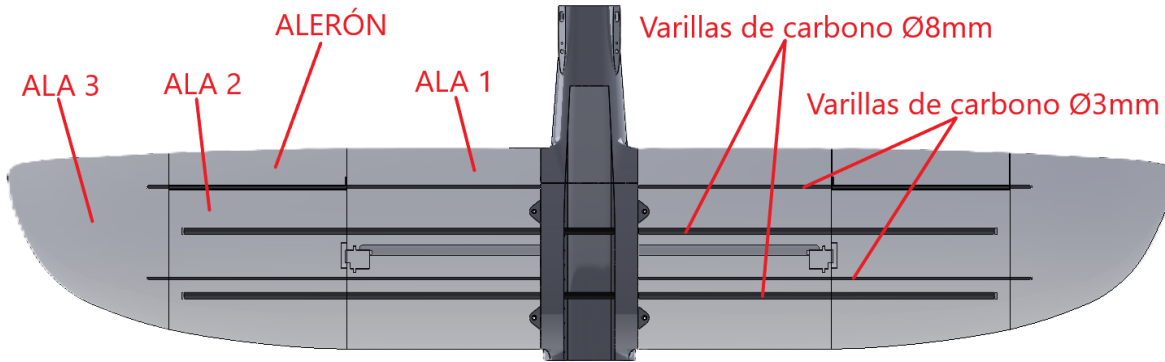


Figura 25. Componentes de las alas.

3.8. Montaje de la tapa superior y piezas adicionales.

La tapa superior del dron está compuesta por tres piezas principales, a las cuales se suma una aleta vertical que se coloca sobre la sección central, tal como se observa en la Figura 26. Estas piezas conforman la parte superior del fuselaje y cumplen una función tanto estructural como aerodinámica.

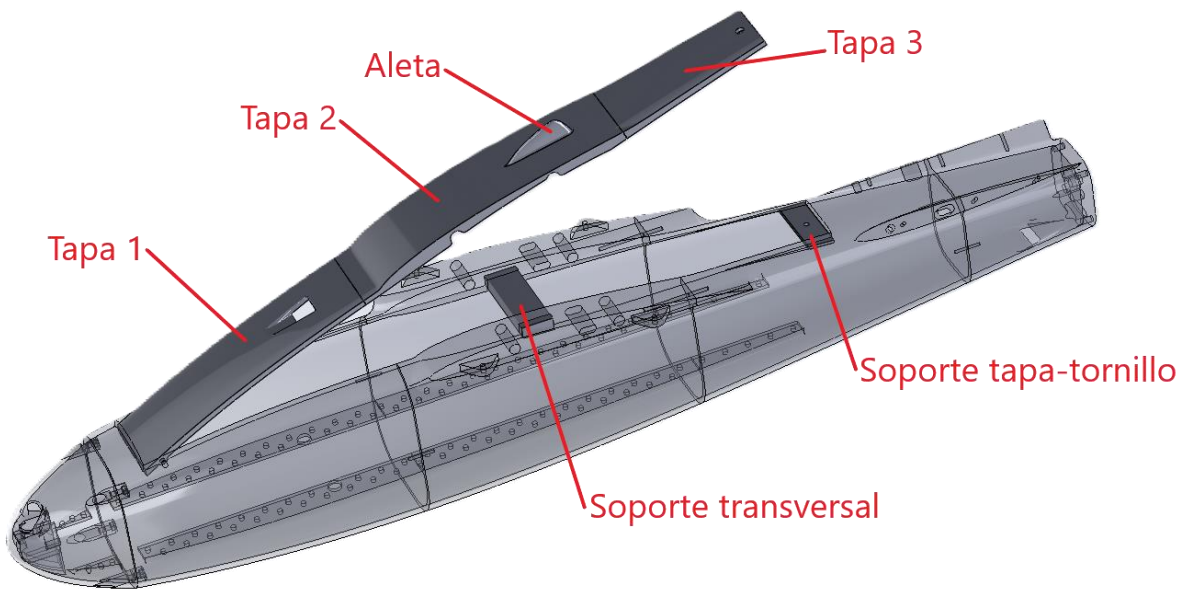


Figura 26. Componentes de la tapa superior y otras piezas.

Para asegurar una fijación firme de la tapa al fuselaje, se diseñó e imprimió un soporte con tornillo embutido, que permite desmontarla fácilmente en caso de requerir acceso al interior del dron para tareas de mantenimiento o ajustes. Además, se incorporó un soporte transversal adicional, cuya función principal es reforzar la rigidez estructural del fuselaje en la zona central, donde se concentra gran parte del peso y las tensiones durante el vuelo.



Figura 27. Tapa superior.

Todas las piezas fueron ensambladas utilizando adhesivo cianoacrilato, garantizando una unión firme y precisa entre las superficies.



Figura 28. Ensamble completo de las piezas 3D.

3.9. Colocación de los servomotores.

Antes de la instalación de los servomotores, se debió extender el largo de sus cables, ya que las dimensiones del dron hacían que el largo original resultara insuficiente. Para esta tarea se utilizó una estación de soldado, con la cual se unieron segmentos adicionales de cable a los existentes. Las soldaduras fueron posteriormente protegidas con material termocontraíble, garantizando una conexión segura y aislada.

Una vez completado este procedimiento, los servomotores fueron instalados en sus posiciones correspondientes: dos en las alas, dos en los estabilizadores de la cola en V, y uno adicional en la parte delantera del fuselaje, que se encuentra destinado al control del movimiento de la cámara. Para poder colocar este último, se removió temporalmente la nariz del dron.

Finalmente, se conectaron los alerones a los servomotores utilizando alambre de acero de 1 mm de diámetro. Estas uniones fueron fijadas mediante un retén impreso en 3D, que se sujetó al alambre utilizando un precinto, como puede observarse en la Figura 29.



Figura 29. Montaje y unión del servomotor y alerón.

3.10. Conexión y fijación de los componentes electrónicos.

La integración electrónica comenzó con la instalación y conexión de todos los componentes dentro del fuselaje del dron, siguiendo el esquema representado en la Figura 30. Cada uno de los elementos electrónicos fue fijado en sus respectivos soportes y atornillado a un riel central que recorre longitudinalmente a ambos lados del fuselaje. Este riel fue clave no solo para facilitar el montaje, sino también para permitir una correcta distribución del peso.

El esquema de conexión realizado es el siguiente:

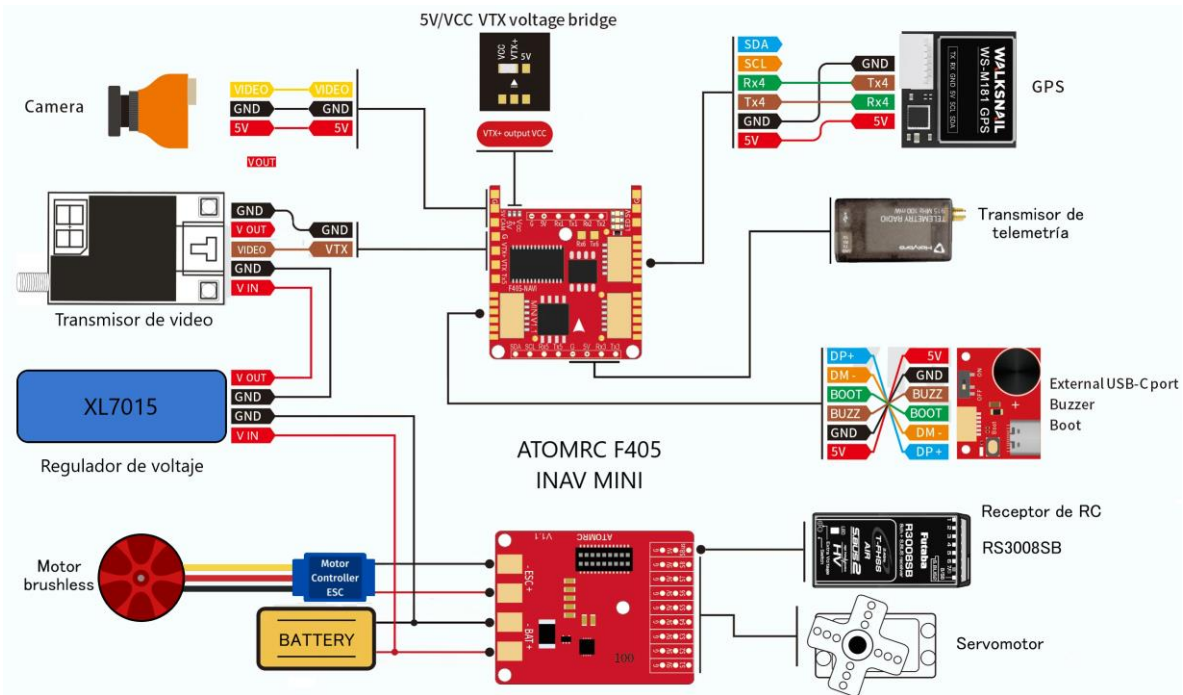


Figura 30. Esquema de conexionado.

Se prestó especial atención a la ubicación estratégica de los elementos emisores y receptores con el fin de evitar interferencias electromagnéticas. En particular, el receptor de radio control se colocó lo más alejado posible del transmisor de video y del módulo de telemetría, minimizando así posibles conflictos en la transmisión de señales.

La posibilidad de ajustar la ubicación de cada componente a lo largo del riel permitió realizar una distribución equilibrada del peso, logrando así mantener el centro de gravedad en la posición adecuada para un vuelo estable.

Durante este proceso también se realizó la instalación de la cámara FPV en la nariz del dron. Para ello, se ensambló previamente el soporte impreso en 3D al servomotor encargado de controlar su orientación. Finalmente, la cámara se fijó a dicho soporte y se atornilló, quedando firmemente sujeta para soportar las vibraciones durante el vuelo.

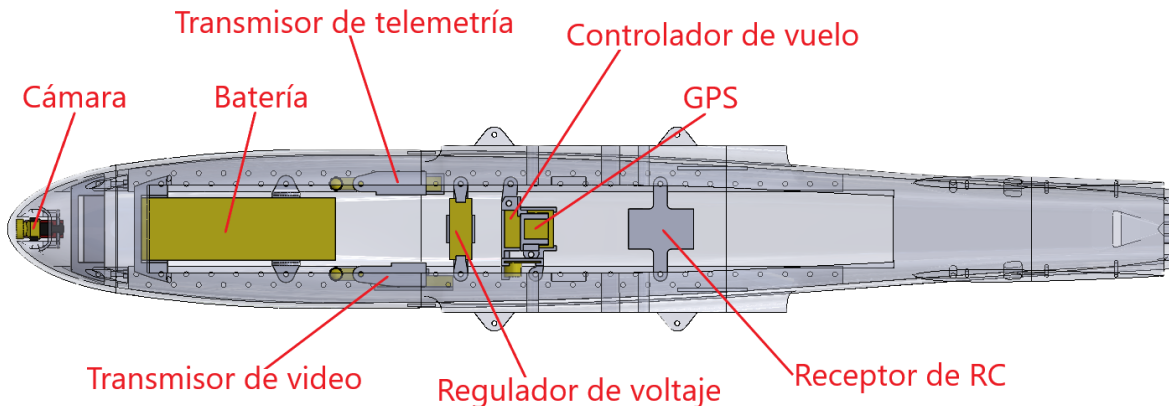


Figura 31

3.11. Fijación del motor.

Previo a fijar el motor al fuselaje fue necesario dar forma a una madera con las dimensiones de la última sección del fuselaje. De esta forma se reduce en gran medida la transmisión de calor desde el motor al fuselaje plástico, evitando debilitar la unión entre ambos elementos.

El siguiente paso fue unir el motor junto con la madera, y por último se fijó la pieza de madera junto con el fuselaje como se muestra en la figura 32.

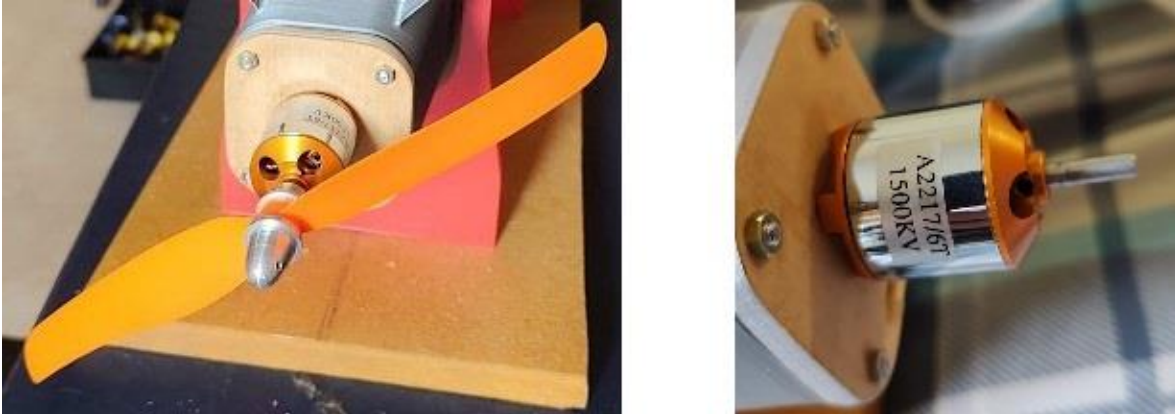


Figura 32. Montaje del motor.

3.12. Soporte y transportador.

Debido a las dimensiones y fragilidad del dron, su transporte representa una dificultad significativa. Para resolver este inconveniente, se diseñó y construyó un soporte de transporte que permite ubicar el dron de forma segura y compacta, facilitando así su traslado y preservando su integridad estructural.

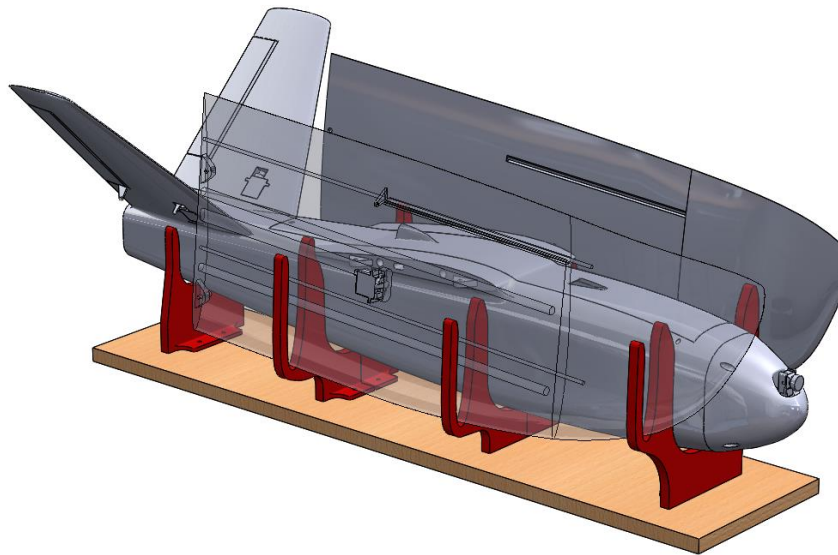


Figura 33. Diseño del soporte del dron.



El soporte consiste en una base de madera sobre la cual se fijaron cuatro estructuras con forma de herradura, que actúan como puntos de apoyo para el fuselaje y las alas. Estos soportes fueron revestidos con gomaespuma, con el objetivo de absorber vibraciones y amortiguar posibles impactos durante el movimiento.

Este sistema permite mantener las piezas organizadas y protegidas, al mismo tiempo que agiliza el armado y desmontaje del dron para futuras operaciones o pruebas de vuelo.

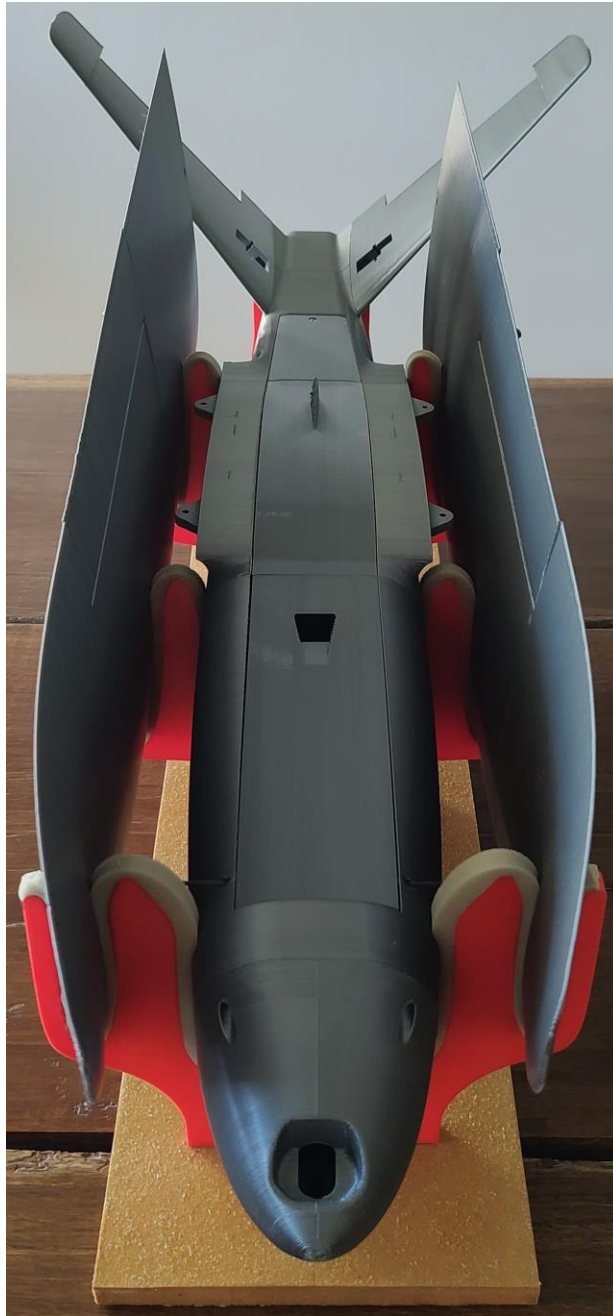


Figura 34. Soporte y transportador del dron.

Capítulo 4. Configuración de la electrónica

4.1. Enlazar radiocontrol y receptor.

Para enlazar la emisora T10J y el receptor RS3008SB se realizó el siguiente procedimiento (extraído del manual de instrucciones del transmisor T10J [3]):

1. Acercar la emisora al receptor a una distancia no superior a los cincuenta centímetros.

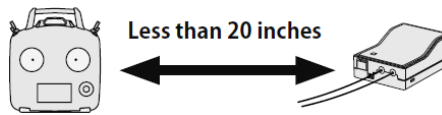


Figura 35. Distancia máxima para enlazar.

2. Encender la emisora.
3. Seleccionar **[MDL-SEL]** y acceder a la pantalla de configuración que se muestra en la figura de abajo con los botones del **joystick**.
4. Usar el **joystick** para seleccionar **(NO LINK)** o el número de **ID** cercano a LINK en el menú **[MDL-SEL]**.

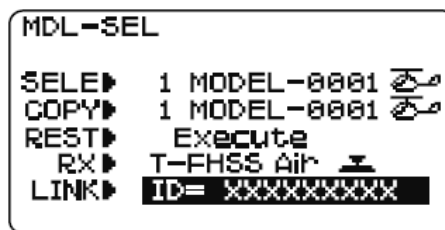


Figura 36. Menú de configuración del joystick.

5. Mantener pulsado el botón del **joystick** para entrar en modo de enlace.
6. Se notificará desde la emisora que esta ha entrado en el modo de enlace mediante un sonido. **“Beep beep beep”**.

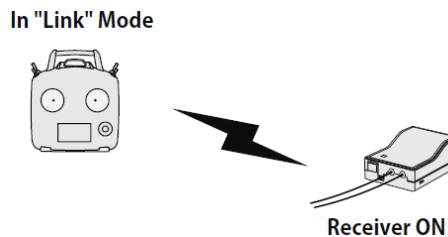


Figura 37. Ilustración de enlazado.

(El modo de enlace se prolonga durante 20 segundos).

7. Encender rápidamente el receptor. El receptor entrará en modo de enlace (**el LED rojo parpadeará**) aproximadamente 3 segundos después de haberlo encendido.
8. Si en la pantalla se muestra el ID del receptor y el led del receptor cambia de rojo intermitente a **verde sostenido**, entonces se habrá completado el enlace. (El tiempo de espera en modo enlace del receptor dura 3 segundos).
9. Comprobar el funcionamiento. Si no se han enlazado la emisora y el receptor se deberá reintentar el procedimiento.



4.2. Configuración mediante INAV Configurator.

Para la configuración del controlador de vuelo se utilizó el software INAV Configurator, una herramienta de código abierto que permite realizar ajustes y personalizar el comportamiento de aeronaves no tripuladas. Este programa es compatible con el firmware INAV, el cual está orientado a vuelos de navegación autónoma y estabilidad en aeronaves de ala fija, multirrotores y otras plataformas. [4]

El controlador de vuelo utilizado en este proyecto es el ATOMRC F405 INAV MINI, compatible con INAV y basado en el microcontrolador STM32F405. Este controlador fue conectado a la computadora mediante un cable USB para ser detectado por el software.

4.2.1. Instalación del firmware

Una de las primeras tareas fue la instalación del firmware INAV en el controlador. Para ello se siguieron los siguientes pasos:

1. Se ingresó a la pestaña "Firmware Flasher" dentro de INAV Configurator.
2. Se seleccionó la versión de firmware compatible con el controlador ATOMRC F405.
3. Se activaron las opciones "Full chip erase" para limpiar la memoria y "Manual baud rate" para mejorar la estabilidad durante la carga.
4. Finalmente, se presionó el botón "Load firmware online" y luego "Flash Firmware" para iniciar el proceso de instalación.

Una vez completado se reinició el controlador y quedó listo para la configuración.

4.2.2. Configuración del joystick

Previo a la asignación de ejes y botones del joystick, fue necesario establecer correctamente el tipo de aeronave a utilizar. Dado que se trata de un dron de ala fija, monomotor y con cola en V, se accedió a la pestaña "Mixer" del software *INAV Configurator*, y dentro del apartado "Mixer preset", se seleccionó el perfil "Airplane V-tail". Posteriormente se aplicaron y guardaron los cambios correspondientes.

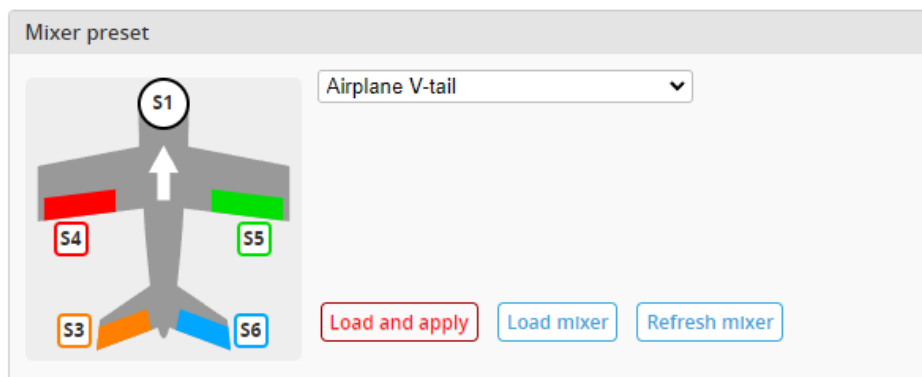


Figura 38. INAV Configurator.

A continuación, se procedió a la asignación de los *Timers* a cada uno de los servomotores y al motor principal. Esta configuración se realizó en el apartado "Output Mapping" de la misma pestaña, donde se establecieron los siguientes vínculos:



- S1 (Timer 8) → Motor 1
- S3 (Timer 1) → Servo 1
- S4 (Timer 1) → Servo 2
- S5 (Timer 2) → Servo 3
- S6 (Timer 2) → Servo 4
- S7 (Timer 2) → Servo 5

Output Mapping									
Output (timer)	S1 (Timer 8)	S2 (Timer 8)	S3 (Timer 1)	S4 (Timer 1)	S5 (Timer 2)	S6 (Timer 2)	S7 (Timer 2)	S8 (Timer 3)	S9/LED (Timer 4)
Function	Motor 1	-	Servo 1	Servo 2	Servo 3	Servo 4	Servo 5	-	-

Figura 39. INAV Configurator.

Posteriormente, en el apartado "Servo Mixer", se definió la asignación de funciones de control para los cuatro servomotores principales, los cuales se encargan de ejecutar los movimientos de alabeo (*Roll*), cabeceo (*Pitch*) y guiñada (*Yaw*). El canal 7 fue vinculado al servo responsable del movimiento de la cámara, permitiendo su control desde el transmisor o el joystick.

Servo	Input	Weight (%)	Speed (10µs/s)	Active	
1	Stabilized Pitch	100	0	Always	Delete
1	Stabilized Yaw	-100	0	Always	Delete
2	Stabilized Roll	100	0	Always	Delete
3	Stabilized Roll	100	0	Always	Delete
4	Stabilized Pitch	100	0	Always	Delete
4	Stabilized Yaw	100	0	Always	Delete
5	RC Channel 7	100	0	Always	Delete

[Logic conditions](#) [Add new mixer rule](#)

Figura 40. INAV Configurator.

4.3. Calibración de los ejes y pruebas de movimiento.

Para calibrar las superficies de control y la cámara, se utilizó la pestaña "Outputs" de INAV Configurator. En el apartado "Servos", se ajustaron los valores mínimos, máximos y medios de cada servomotor, de forma que las superficies de control (alerones y superficies en V) permanecieran en posición neutra cuando no se ejercía ninguna señal de control.

Asimismo, se alineó la cámara FPV en su posición inicial y se configuró su rango de movimiento a través del servomotor asignado. Esta calibración fue importante para garantizar un campo visual adecuado y evitar movimientos fuera de rango que pudieran dañar el sistema.

Finalmente, se realizaron pruebas funcionales de todos los servos para verificar su correcto funcionamiento y asegurarse de que los movimientos respondieran adecuadamente a las señales



enviadas desde el joystick transmisor. Las pruebas incluyeron los controles de vuelo básicos (roll, pitch, yaw) y el movimiento de la cámara.

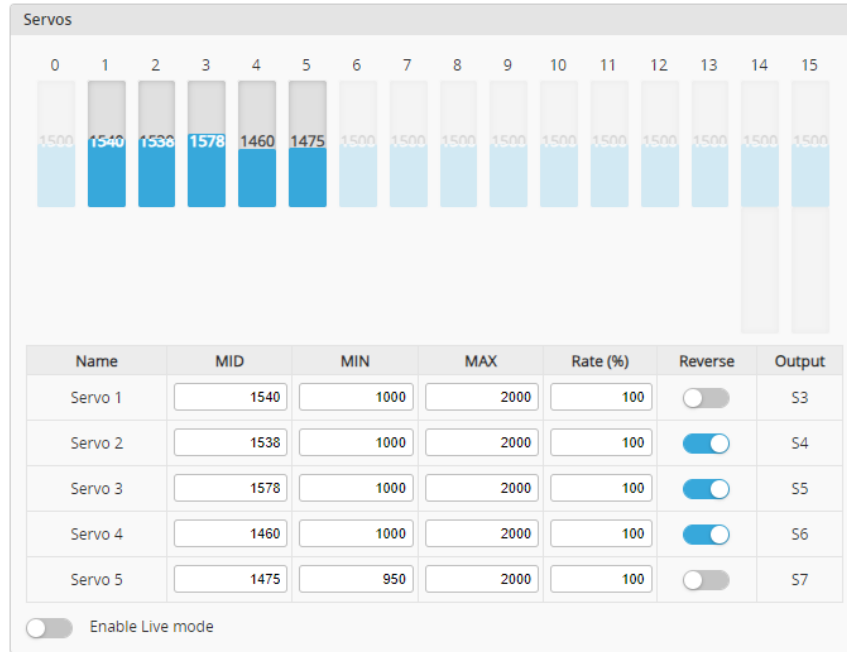


Figura 41. INAV Configurator.



Capítulo 5. Conclusión

El desarrollo de este proyecto permitió cumplir satisfactoriamente con los objetivos propuestos: construir, ensamblar e integrar todos los componentes de un dron de ala fija tipo FPV, basado en un diseño libre, con fabricación de piezas mediante impresión 3D y el uso de tecnologías de control a distancia. Se logró adaptar y optimizar un modelo base, incorporando mejoras estructurales y adecuando el diseño a los componentes electrónicos disponibles.

Durante el proceso se aplicaron conocimientos clave de la Ingeniería Mecatrónica, incluyendo diseño asistido por computadora, manufactura aditiva, integración de sistemas embebidos, electrónica de potencia y configuración de controladores de vuelo. La utilización del firmware INAV y el software de configuración asociado permitió establecer un sistema flexible, capaz de operar tanto en modo manual como en modos asistidos o autónomos.

Más allá de los logros técnicos, la práctica permitió enfrentar desafíos reales de diseño, ajustes mecánicos, compatibilidades electrónicas y puesta a punto, que fortalecen la experiencia profesional del estudiante. Asimismo, se logró aprovechar recursos disponibles en el Laboratorio de Tecnologías Apropriadas, maximizando la eficiencia del proyecto y reduciendo costos.



Capítulo 6. Referencias

[1] Thingiverse, «Titan Talon,» 2022. [En línea]. Available:

<https://www.thingiverse.com/thing:5555063>

[2] «Prusa Slicer,» [En línea]. Available: <https://www.prusa3d.com/es/>

[3] Futaba, «Manual de instrucciones,» [En línea]. Available:

<https://futabausa.com/wp-content/uploads/2018/09/10J.pdf>

[4] «INAV Configurator,» [En línea]. Available:

<https://github.com/iNavFlight/inav-configurator/releases>