



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE MECATRÓNICA

PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL FUSELAJE EN AERONAVES DE
ALA FIJA NO TRIPULADOS PARA LA ENTREGA DE PAQUETERÍA
EN ZONAS DE DIFÍCIL ACCESO

Trabajo de titulación previo a la obtención
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTOR: ÁNGEL MATEO ORELLANA GUTIÉRREZ

TUTOR: ING. FRAN ZHOVANI REINOSO AVECILLAS, Ph.D.

Cuenca - Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ángel Mateo Orellana Gutiérrez con documento de identificación N° 0105819049, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que, sin fines de lucro, la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 6 de febrero del 2025

Atentamente,



Ángel Mateo Orellana Gutiérrez
0105819049

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Ángel Mateo Orellana Gutiérrez con documento de identificación N° 0105819049, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor de la Propuesta tecnológica: "Propuesta de adaptación del fuselaje en aeronaves de ala fija no tripulados para la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso", la cual ha sido desarrollada para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento en que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 6 de febrero del 2025

Atentamente,



Ángel Mateo Orellana Gutiérrez
0105819049

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Fran Zhovani Reinoso Avecillas con documento de identificación N° 0102257425, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: PROPUESTA DE ADAPTACIÓN DEL FUSELAJE EN AERONAVES DE ALA FIJA NO TRIPULADOS PARA LA ENTREGA DE PAQUETERÍA EN ZONAS DE DIFÍCIL ACCESO, realizado por Ángel Mateo Orellana Gutiérrez, con documento de identificación N° 0105819049, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Propuesta tecnológica que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 6 de febrero del 2025

Atentamente,



Ing. Fran Zhovani Reinoso Avecillas, Ph.D.

0102257425

Dedicatoria

Ángel Mateo

Deseo expresar mi gratitud a todas aquellas personas cuyo apoyo fue fundamental para alcanzar esta meta. Su influencia, tanto de quienes permanecen a mi lado como de aquellos que tomaron otros caminos, fue invaluable, especialmente en los momentos en que más lo necesité.

En primer lugar, dedico este logro a mis padres y hermanos. A pesar de la distancia física que pudo existir en ciertos momentos, su respaldo, fortaleza y aliento fueron constantes, incluso en las circunstancias más difíciles.

Extiendo mi agradecimiento a mis abuelos, tíos y primos, quienes con su cariño y enseñanzas contribuyeron a formar la persona que soy hoy.

A mis amigos, tanto a aquellos que me acompañan desde el inicio de esta trayectoria, con quienes he forjado lazos especiales, como a los que se unieron en el camino, les agradezco su apoyo incondicional, las alegrías compartidas y su aceptación incondicional.

Finalmente, dedico este logro a la vida y a Dios, quienes guiaron mi camino y me brindaron valiosos aprendizajes, tanto en el ámbito académico como en el personal.

Agradecimientos

Ángel Mateo

Mi gratitud se dirige primeramente a la vida y a Dios, fuentes de fuerza, salud y sabiduría, pilares fundamentales en mi trayectoria educativa.

Deseo expresar mi especial reconocimiento al Ing. Iván Astudillo y a los colaboradores de la Coop. CAJA. Su apoyo fue esencial para alcanzar este logro.

A mi madre, que a pesar de la distancia siempre ha estado presente, velando por mi bienestar y guiándome en mi desarrollo académico y personal, le agradezco profundamente. De mi padre, valoro la enseñanza de que con esfuerzo y perseverancia, las metas se alcanzan en el momento oportuno.

A mi tutor de Proyecto de Titulación, Ing. Fran Reinoso, agradezco su disposición para brindarme apoyo, a pesar de mis limitaciones de tiempo debido al trabajo. De igual manera, reconozco la valiosa guía de la Ing. Mónica Romero y el Ing. Paul Chasi, cuyos conocimientos fueron fundamentales en este proceso.

Finalmente, mi más sincero agradecimiento a mis tíos, Ángel Gutiérrez, Leidy Gutiérrez y Peter Gutiérrez, cuyo apoyo fue crucial en momentos difíciles durante mi formación. Extiendo este agradecimiento a mi círculo de amigos y personas cercanas, quienes me acompañaron y brindaron su apoyo incondicional a lo largo de este camino: Martín L., David J., Gabriela G. y Tamara C. No puedo olvidar a aquellos que, por diversas razones, llegaron a mi vida para ofrecerme su energía positiva y respaldo en momentos de dificultad: Renato P., Nicolás P., Xavier Y., Camila V. e Isabel G. A todos ellos, les deseo lo mejor.

Índice

Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación	I
Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana	II
Certificado de dirección del trabajo de titulación	III
Dedicatoria	IV
Agradecimientos	V
Resumen	XII
Abstract	XIII
1. Introducción	1
2. Problema	2
2.1. Antecedentes	2
2.2. Descripción del problema	2
2.3. Importancia y alcances	4
2.4. Delimitación	4
2.4.1. Espacial o geográfica	4
2.4.2. Temporal	4
2.4.3. Sectorial o institucional	4
2.5. Problema General	5
2.6. Problemas Específicos	5
3. Objetivos	5
3.1. Objetivo General	5
3.2. Objetivos Específicos	5
4. Hipótesis	6
4.1. Hipótesis General	6
4.2. Hipótesis Específicas	6

5. Marco Teórico	6
5.1. Servicio de entregas	6
5.2. Vehículos aéreos no tripulados(UAV)	7
5.2.1. Generalidades de UAV	7
5.3. Aerodinámica	7
5.3.1. Variables aerodinámicas	8
5.3.2. Fuerzas aerodinámicas	9
5.3.3. Fuerzas en vuelo	10
5.3.4. Perfiles Alares	12
5.3.5. Aplicaciones	13
5.4. Diseños de UAVs de ala fija	14
5.4.1. UAS-X8	14
5.4.2. SKYWALKER X8	16
5.4.3. DT18	17
5.5. Uso de drones y UAVs en servicios de entrega y paquetería	18
5.5.1. DHL	18
5.5.2. Amazon	19
5.5.3. UPS	20
5.5.4. ZipLine	21
5.6. Uso de unidades de vuelo en el Ecuador	22
5.7. Panorama	22
5.8. Antecedentes	22
5.9. Regulación	23
6. Marco metodológico	24
6.1. Estado del arte en el diseño de unidades de vuelo de ala fija para la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso	24
6.1.1. Ventajas del ala fija	25
6.1.2. Zipline.....	26
6.1.3. ZipLine P1.....	26
6.1.4. Aerialoop.....	29
6.1.5. ALT6-8 VTOL.....	30
6.1.6. Skyports	31
6.1.7. Wingcopter.....	32
6.1.8. Elroy Air Chaparral	33

6.2. Diseño de la Estructura del Fuselaje para una Unidad de Vuelo de Ala Fija Destinada a la Entrega de Paquetería en Zonas de Difícil Acceso.....	34
6.2.1. Elección de diseño final a implementarse.....	35
6.2.2. Cálculo de pesos, fuerzas y carga útil máxima.....	40
6.2.3. Diseño de acoples para hélices de vuelo vertical.....	46
6.2.4. Diseño de compartimiento para paquetería.....	50
6.3. Estudio de costos unitarios para la fabricación del fuselaje de una unidad de vuelo de ala fija para la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso.....	56
6.3.1. Costos unitarios.....	56
6.3.2. Costos totales	59
7. Resultados	60
7.1. Análisis del estudio del arte, tecnologías y parámetros establecidos para la unidad de vuelo de ala fija.....	60
7.2. Diseño y adaptación del fuselaje para la unidad de vuelo seleccionada.....	61
7.3. Evaluación de costos para la fabricación de la adaptación del fuselaje	63
8. Cronograma	64
9. Presupuesto	66
9.1. Coste personal	66
9.2. Talento humano	66
9.3. Recursos materiales.....	67
10. Conclusiones	68
11. Recomendaciones	69
Referencias	72
ANEXOS	73

Lista de Tablas

1.	Coordenadas, perfil NACA 2412.....	38
2.	Costos de materiales	57
3.	Costos mano de obra.....	58
4.	Costos de máquinas y herramientas	59
5.	Costos totales	60
6.	Cronograma de actividades.....	65
7.	Recurso de talento humano	66
8.	Recursos materiales y de conocimiento	67

Lista de Figuras

1.	Datos INEC	3
2.	Flujo de aire	9
3.	Fuerzas aerodinámicas	10
4.	Fuerzas que actúan en vuelo	11
5.	Perfil Alar	13
6.	Modelo UAS-X8	15
7.	Modelo SKYWALKER X8	16
8.	Modelo DT 18	17
9.	DHL Paket Kopter	19
10.	Amazon Prime Air	20
11.	UAV Workhorse HorseFly™	21
12.	P2 ZipLine	22
13.	UAVs de ala fija	25
14.	Zipline Modelo P1	27
15.	Zipline Modelo P2	28
16.	Robot del modelo P2	29
17.	Unidad de vuelo usada por Aerialoop	30
18.	ALT6-8 VTOL	31
19.	VTOL Wingcopter	33
20.	Elroy Air Chaparral	34
21.	Unidad de vuelo de ala fija	35
22.	Modelado 3D del fuselaje	37
23.	Perfil aerodinámico NACA 2412	39
24.	Perfil aerodinámico modelado en 3D	40
25.	Gráfico Software Xflr5	42
26.	Superficie alar	43
27.	Gráfico coeficiente de sustentación vs. coeficiente de resistencia	45
28.	Clip alar izquierdo	47
29.	Tapa para sujeción de motor	48
30.	Kit para UAV de ala fija VTOL	49
31.	Diseño 2D compartimiento del paquete	51
32.	Estructura metálica	52
33.	Método de sujeción para compartimiento y fuselaje	53

34. Compartimiento donde se almacena el paquete.....	54
35. UAV de ala fija VTOL.....	62

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es diseñar una unidad de vuelo de ala fija no tripulado que pueda entregar paquetes en lugares remotos y de difícil acceso. Este nuevo diseño se basa en un modelo de avión ya existente, creado por estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana.

Para lograr este objetivo, se investigaron las tecnologías más modernas que se utilizan actualmente para la entrega de paquetes con drones. Luego, se estudiaron tres posibles modificaciones que se le podían hacer al diseño original del avión. La propuesta elegida consiste en eliminar las ruedas del avión y agregar cuatro motores a las alas, lo que le permite despegar y aterrizar verticalmente como un helicóptero. Además, se diseñó un compartimento especial debajo del avión para llevar el paquete.

Para que el avión siga volando de manera eficiente, se tuvo en cuenta el diseño aerodinámico original de las alas, manteniendo su forma y ángulo para que el avión se mantenga en el aire sin problemas. El resultado final es un avión no tripulado capaz de cargar hasta 9 kg de paquetes y que puede despegar y aterrizar sin necesidad de una pista.

Finalmente, se hizo un cálculo de cuánto costaría construir este nuevo avión, incluyendo los materiales, la mano de obra y las herramientas necesarias.

Palabras clave: Aeronave, VTOL, ala fija, NACA 2412.

Abstract

The main objective of this project is to design an unmanned fixed-wing flight unit that can deliver packages to remote and hard-to-reach locations. This new design is based on an existing aircraft model created by mechanical engineering students at the Salesian Polytechnic University.

To achieve this goal, the most modern technologies currently in use for package delivery with drones were investigated. Then, three possible modifications to the original drone design were studied. The chosen proposal consisted of eliminating the aircraft's wheels and adding four engines to the wings, allowing it to take off and land vertically like a helicopter. In addition, a special compartment was designed underneath the plane to carry the package.

To keep the plane flying efficiently, the original aerodynamic design of the wings was taken into account, maintaining their shape and angle to keep the plane in the air smoothly. The end result is a drone capable of carrying up to 9 kg of packages and that can take off and land without the need for a runway. Finally, an estimate was made of how much it would cost to build this new aircraft, including the materials, labor and tools needed.

Keywords: Aircraft, VTOL, fixed wing, NACA 2412.

1. Introducción

Los recientes acontecimientos mundiales, como la pandemia de Covid-19, y nacionales, como los conflictos armados, han impulsado el desarrollo tecnológico. Ecuador, al ser un país en desarrollo con un crecimiento poblacional constante, también enfrenta desafíos en cuanto a movilidad. Debido al aumento de la población, el transporte de personas y productos en ciudades con mucho tráfico se vuelve más lento y costoso. Además, llevar un producto o paquete a zonas de difícil acceso terrestre, como pueblos o comunidades rurales, incluyendo territorios indígenas, requiere una gran cantidad de recursos para los medios de transporte convencionales.

El presente trabajo de titulación se enfoca en la aplicación de ingeniería inversa para diseñar un fuselaje adaptado a una unidad de vuelo no tripulada de ala fija, creada por estudiantes de Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. Se realizaron cálculos para determinar el peso y las dimensiones del paquete que esta unidad de vuelo puede soportar, así como un estudio de las fuerzas a las que el diseño puede ser sometido, el cálculo de potencia y otros aspectos relevantes para el diseño de una unidad de vuelo no tripulada de ala fija. Ante la creciente demanda de servicios de entrega, el estudio de vehículos aéreos no tripulados (VANT) se presenta como una alternativa prometedora para superar las limitaciones de la infraestructura terrestre convencional. A través de un enfoque interdisciplinario que combina áreas de la ingeniería como electrónica, mecánica, sistemas, control y aeroespacial, este trabajo de titulación busca presentar una propuesta de adaptación para una unidad de vuelo no tripulada de ala fija, con el fin de abordar los desafíos logísticos en áreas de difícil acceso por medios convencionales. Se hará especial énfasis en el diseño del fuselaje, considerando aspectos clave como la capacidad de carga, la eficiencia aerodinámica y la seguridad operativa.

En los siguientes capítulos, se explorarán en detalle los fundamentos teóricos, el estado del arte en el desarrollo de UAVs de ala fija para entregas de paquetería y los criterios de diseño que guiarán el proceso de creación del fuselaje. Este estudio busca contribuir al avance de la tecnología de entrega aérea, brindando una solución integral para mejorar la accesibilidad a través de la innovación en el diseño de vehículos aéreos especializados.

El documento se estructura en tres capítulos. El primero estudia las tecnologías actuales utilizadas en unidades de vuelo para entrega de paquetería. El segundo capítulo se enfoca en la selección de una unidad de vuelo de ala fija como base, y se realizan los cálculos, diseños y adaptaciones necesarias para que la unidad de vuelo seleccionada sea capaz de realizar entregas de paquetería. Finalmente, el tercer capítulo presenta un estudio de costos unitarios para la fabricación de la unidad de vuelo diseñada.

2. Problema

2.1. Antecedentes

La entrega de productos ha evolucionado con múltiples opciones de transporte, buscando la eficiencia y simplicidad desde el almacén hasta el cliente. No obstante, las áreas rurales de Ecuador presentan dificultades para el acceso de los transportes tradicionales (Bara, 2021). Nieto y Vicuña (2015) mencionan que el 40 % de los ecuatorianos están ubicados en zonas rurales afrontando factores como carreteras en mal estado, vías fluviales y, en casos extremos, vías aéreas, restringiendo el acceso a insumos de primera necesidad o paquetería en general a la población de estas zonas rurales del país. Lo que se busca en este proyecto es diseñar un prototipo innovador que permita la reducción del tiempo de transporte y facilite la entrega en áreas de difícil acceso por medio de una unidad de ala fija.

Este tipo de tecnologías ya se está comenzando a usar en otros lugares del mundo, como por ejemplo Zipline que es una empresa de paquetería estadounidense que busca convertirse en la primera compañía en solventar los problemas logísticos de las personas, misma que funciona con unidades de vuelo para reparto que ya se encuentran en operaciones de vuelo en 10 países, incluyendo Ghana, Estados Unidos y Japón. El P1 es una aeronave eléctrica que puede realizar operaciones avanzadas más allá de la línea de vista y que se encarga de entregar insumos médicos a distintas partes del mundo (Drew, 2023).

Tecnología que por medio de drones y unidades de vuelo es cada vez más utilizada en las distintas industrias, ya que el funcionamiento de estos vehículos no tripulados puede ser controlado remotamente y recibir instrucciones específicas para realizar misiones de una manera más óptima.

Una unidad de vuelo de este tipo podría resolver gran parte de la problemática en zonas ecuatorianas de difícil acceso, donde la población carece de productos básicos y de primera necesidad. Además, podría ser una herramienta fundamental para el transporte de insumos médicos en casos de emergencia.

2.2. Descripción del problema

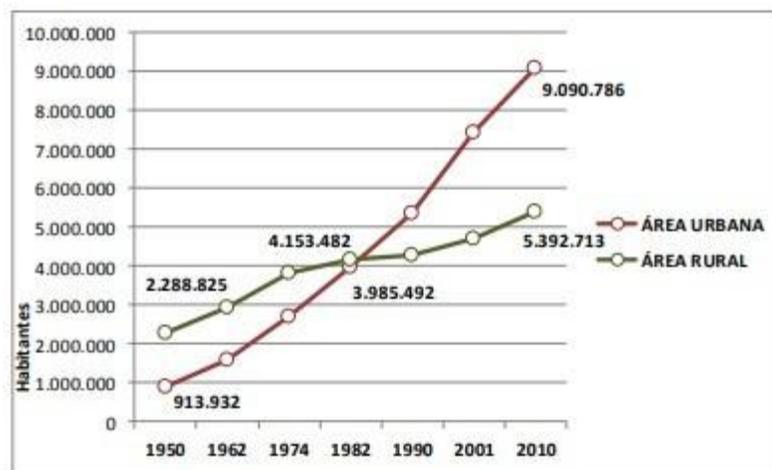
Según Shah (2015) los datos arrojados por el INEC en el último censo realizado en el año 2010, Ecuador contaba con una población de 5.392.713 habitantes ubicados en zonas rurales,

como lo muestra la Figura 1.

Se presenta la población que depende y se ve afectada por la ubicación geográfica de sus pueblos y comunidades dentro de la zona rural ecuatoriana, ya que los medios de transporte comunes se encuentran en mal estado, además de las condiciones en las que se encuentran las diferentes vías terrestres, fluviales y aéreas en casos extremos. Causando el desabastecimiento de productos de primera necesidad e insumos de consumo masivo dentro de estas áreas, lo que afecta de manera negativa en cuanto al desarrollo y crecimiento de estos pueblos y comunidades.

Figura 1

Censos de población y vivienda 1950-2010.



Nota: Tomado de (Shah, 2015).

En un momento requerido, cualquier persona perteneciente a esta población podría llegar a necesitar la entrega rápida de un producto por paquetería para solventar diferentes necesidades primarias o una emergencia social, tecnológica y principalmente de salud. Teniendo en cuenta el costo, tiempo y recursos necesarios para garantizar una óptima entrega, ya que al tratarse de zonas de difíciles accesos, estos tienden a ser demasiado elevados con relación a la entrega de un pequeño paquete.

2.3. Importancia y alcances

Este estudio se centra en mejorar la calidad de vida de las personas que residen en áreas de difícil acceso, facilitando el suministro de productos esenciales, insumos médicos, herramientas y otros artículos de primera necesidad de manera más rápida, económica y eficiente.

En la actualidad, no existen servicios de entrega de paquetería aérea de este tipo en el país. Por lo tanto, este proyecto representa una alternativa viable que busca generar un impacto social positivo al reducir los tiempos, costos y recursos asociados a la entrega de estos productos. Además, se pretende aumentar la disponibilidad de suministros y mejorar la capacidad de respuesta en situaciones de emergencia.

Para lograr este objetivo, se llevará a cabo un estudio exhaustivo que abarcará desde el análisis del estado del arte y las necesidades del mercado, hasta la selección de tecnologías para unidades de vuelo de ala fija, cálculos aerodinámicos y de control, diseño del fuselaje y análisis de fuerzas estructurales. Finalmente, se elaborará un estudio presupuestario detallado que contemple los costos de materiales, mano de obra, maquinaria, herramientas y otros gastos asociados a la fabricación de esta nueva unidad de vuelo de ala fija especializada en la entrega de paquetería.

2.4. Delimitación

2.4.1. Espacial o geográfica

La propuesta de diseño del fuselaje de una unidad de vuelo de ala fija va enfocando a lugares de difícil acceso en zonas rurales del Ecuador, para lo cual se tomarán en cuenta condiciones climáticas generales, como las condiciones geográficas, entre ellas la velocidad del viento, lluvias, etc.

2.4.2. Temporal

El siguiente proyecto será realizado dentro de los períodos 64 y 65, correspondiente a los años 2023-2024 y 2024-2025, en 400 horas.

2.4.3. Sectorial o institucional

El estudio, al estar enfocado en la entrega de paquetería para lugares de difícil acceso en el Ecuador, es un proyecto que puede ser implementado dentro del sector de la paquetería, entrega, el sector de la ingeniería y la tecnología que lo involucra.

2.5. Problema General

¿Es posible realizar una propuesta de adaptación del fuselaje en aeronaves de ala fija no tripuladas para realizar entregas de paquetería en zonas de difícil acceso?

2.6. Problemas Específicos

- ¿Cuáles han sido las tecnologías empleadas en las unidades de vuelo para la correcta entrega de paqueterías?
- ¿Cuál es la propuesta de adaptación del fuselaje para unidad de vuelo de ala fija no tripulada seleccionada aplicado a la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso?
- ¿Con qué presupuesto es posible la fabricación de la propuesta de adaptación del fuselaje para una unidad de vuelo de ala fija no tripulada que entregara paquetería en zonas de difícil acceso?

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Proponer una adaptación del fuselaje en aeronaves de ala fija no tripuladas para la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso.

3.2. Objetivos Específicos

- Revisar el estado de la técnica sobre el diseño de una unidad de vuelo de ala fija para la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso.
- Diseñar una propuesta para adaptar el fuselaje de una unidad de vuelo de ala fija no tripulada seleccionada aplicado a la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso.
- Realizar el estudio de costos unitarios requerido para la fabricación de la propuesta de adaptación del fuselaje para una unidad de vuelo de ala fija no tripulada destinada a la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso.

4. Hipótesis

4.1. Hipótesis General

- La propuesta de adaptación del fuselaje de una unidad de vuelo de ala fija no tripulada permitirá llevar paquetería para entregas en zonas de difícil acceso.

4.2. Hipótesis Específicas

- La investigación de las tecnologías usadas en unidades de vuelo de ala fija, permitirá determinar los parámetros de diseño iniciales para trabajar sobre el fuselaje de una unidad de vuelo seleccionada.
- El diseño de la propuesta de adaptación del fuselaje para una unidad de vuelo de ala fija no tripulada permitirá la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso.
- El estudio presupuestario permitirá saber la cantidad requerida para la fabricación de la propuesta de adaptación para el fuselaje de una unidad de vuelo de ala fija no tripulada destinada a la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso.

5. Marco Teórico

5.1. Servicio de entregas

El servicio de entrega a domicilio, facilitado por diversas empresas, permite a los clientes recibir los productos adquiridos a través de plataformas en línea o mediante pedidos telefónicos directamente en sus hogares. Este proceso se integra en la gestión logística, que abarca la implementación de métodos y estrategias para asegurar la distribución eficiente de los productos.

Las modalidades de transporte varían según el destino del envío. En Ecuador, el transporte terrestre es común para la distribución de productos tanto en áreas urbanas como entre ciudades y provincias, utilizando vehículos como automóviles, camiones y motocicletas. No obstante, también se emplean otros medios de transporte, como cooperativas, aerolíneas o embarcaciones, especialmente en envíos a ciudades o países distintos. Este servicio de entrega responde a la necesidad del cliente de recibir el producto de manera oportuna y eficiente (Luzuriaga, 2017).

5.2. Vehículos aéreos no tripulados(UAV)

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT), o UAV por sus siglas en inglés, son un sector de la aeronáutica en auge con múltiples aplicaciones en investigación y desarrollo, representando uno de los avances tecnológicos con mayor potencial a nivel global. Aunque los primeros modelos se remontan a mediados del siglo XIX, con pioneros como Carley, Stringfellow y Du Temple, inspirados en aviones tripulados de gran tamaño, no fue hasta el siglo XX, impulsados por conflictos bélicos, que los UAV experimentaron un desarrollo significativo en el ámbito militar. Actualmente, se utilizan para tareas como reconocimiento de bases enemigas, gracias a su impacto económico y versatilidad. Una de las principales ventajas de los UAV es la ausencia de tripulación a bordo, ya que son controlados remotamente desde tierra. Esto les permite llevar a cabo misiones peligrosas o imposibles para el ser humano, así como acceder a lugares remotos o de difícil acceso, adaptándose al tamaño y a la aplicación requerida.(Alexander, 2021).

5.2.1. Generalidades de UAV

Un Sistema de Aeronaves No Tripuladas (UAS, por sus siglas en inglés) está compuesto por una aeronave no tripulada (UA) y el equipo necesario para controlarla de forma remota. Una aeronave no tripulada (UA) es cualquier aeronave diseñada para operar de manera autónoma o ser pilotada a distancia sin necesidad de un piloto a bordo (Babilonia, s.f.).

Un sistema aéreo no tripulado (UAS) tiene tres componentes:

- Un sistema de control, que puede ser autónomo o manejado por una persona, y que generalmente se encuentra en tierra o en un barco, aunque también podría estar en otra plataforma aérea.
- Un vehículo aéreo no tripulado (UAV).
- Un sistema de comando y control (C2), a veces llamado sistema de comunicación, comando y control (C3), que sirve como enlace entre los dos componentes anteriores.

5.3. Aerodinámica

Los fluidos son sustancias cuyas moléculas tienen una separación mayor que la de los sólidos, lo que resulta en fuerzas intermoleculares débiles y mayor libertad de movimiento. Esta capacidad de movimiento en líquidos y gases permite estudiar sus propiedades físicas en

conjunto, bajo el campo de la dinámica de fluidos (Babilonia, s.f.).

5.3.1. Variables aerodinámicas

- El número de Reynolds

Es una herramienta fundamental en la aerodinámica para comprender y predecir el comportamiento de los fluidos en movimiento, lo cual es crucial para el diseño de aeronaves y otros objetos que interactúan con el aire.

Para un fluido de viscosidad η que circula por dentro de una tubería redonda recta de diámetro D , el número de Reynolds N_R viene dado por:

$$N_R = (\rho * v * D) / \eta$$

El tipo de flujo también se puede determinar con el número de Reynolds:

Flujo laminar: $N_R < 2300$

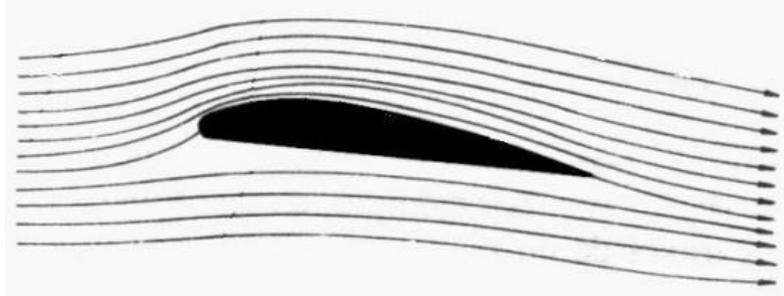
Flujo turbulento: $N_R > 2300$

(Griselda, 2022)

- El número de Mach es una cantidad adimensional que relaciona la velocidad de un objeto en un fluido con la velocidad del sonido en ese mismo medio. En aerodinámica, se utiliza para expresar la velocidad de un objeto en relación con la velocidad del sonido y para identificar el régimen de flujo correspondiente, como se puede ver en la Figura 2 (Babilonia, s.f.).

Figura 2

Flujo de aire en un perfil aerodinámico.



Nota: Tomado de (Babilonia, 2020).

5.3.2. Fuerzas aerodinámicas

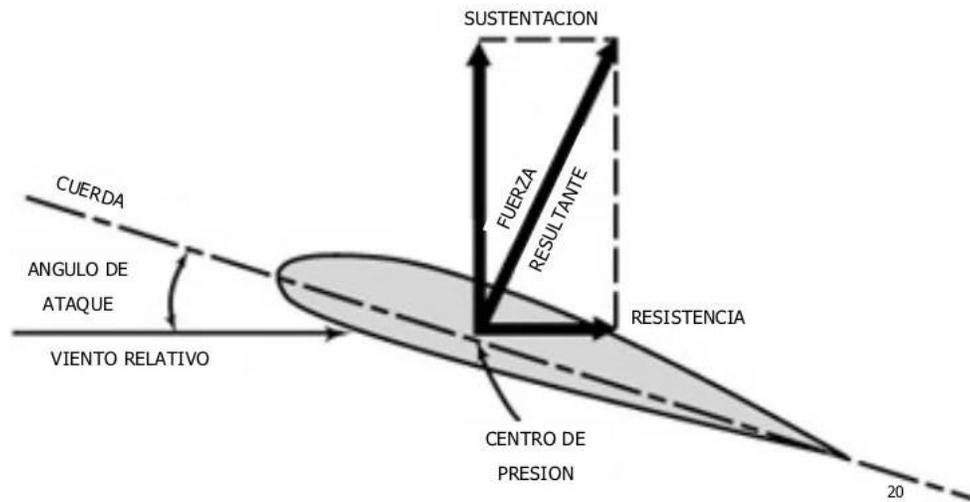
En esencia, las fuerzas que actúan sobre un cuerpo sumergido en un fluido, como el aire, se originan por dos factores principales:

- La distribución de presión en la superficie del cuerpo: La presión del aire varía en diferentes puntos de la superficie, generando fuerzas que actúan perpendicularmente a ella.
- La distribución del esfuerzo cortante sobre la misma: El esfuerzo cortante, o fricción, entre el aire y la superficie del cuerpo, genera fuerzas que actúan tangencialmente a ella.

La presión se ejerce de forma normal a la superficie, mientras que el esfuerzo cortante lo hace de forma tangencial. La combinación de todas estas fuerzas de presión y esfuerzo cortante sobre la superficie del cuerpo da como resultado una fuerza total, conocida como fuerza aerodinámica; en la Figura 3 se las puede apreciar (Babilonia, s.f.).

Figura 3

Fuerzas aerodinámicas en un perfil



Nota: Tomado de (Babilonia, 2020).

5.3.3. Fuerzas en vuelo

En un vuelo sin aceleración, en trayectoria recta y nivelada, una aeronave experimenta fuerzas tanto favorables como desfavorables. El piloto debe controlar estas fuerzas para asegurar un vuelo seguro y eficiente. Las cuatro fuerzas fundamentales que influyen en todas las maniobras son:

- **Sustentación:** Fuerza que se opone a la gravedad y permite que la aeronave se mantenga en el aire.
- **Peso:** Fuerza de la gravedad que atrae la aeronave hacia la Tierra.
- **Empuje:** Fuerza que impulsa la aeronave hacia adelante, generada por los motores.
- **Resistencia:** Fuerza que se opone al movimiento de la aeronave a través del aire.

Estas fuerzas actúan en pares opuestos: la sustentación se opone al peso, y el empuje se opone a la resistencia. En un vuelo nivelado, la sustentación equilibra el peso, y el empuje equilibra la resistencia, manteniendo a la aeronave en un estado de equilibrio, como se puede ver en la Figura 4 (Muñoz, 2024).

Figura 4

Fuerzas que actúan en vuelo



Nota: Tomado de (Muñoz, 2024).

Para que un UAV vuele es necesario contrarrestar el efecto de estas dos fuerzas negativas, peso y resistencia, mediante otras dos fuerzas positivas de sentido contrario, sustentación y empuje, respectivamente (Muñoz, 2024).

- **Sustentación:** Es el principal elemento que propicia que una aeronave se mantenga en vuelo y se puede definir como la fuerza que desarrolla un perfil aerodinámico moviéndose en el aire. Se ejerce desde abajo hacia arriba y es perpendicular al viento relativo y paralelo a la trayectoria de vuelo. La sustentación se ve afectada por varios factores tales como la densidad del aire, la superficie alar, la curvatura del extradós, el ángulo de ataque o la velocidad del viento relativo (Rodríguez-Laiz, 2018).
- **Peso:** Es la fuerza con la que la gravedad terrestre atrae a la masa de la aeronave. Es una fuerza que se aplica desde el centro de gravedad de la aeronave (donde todas las fuerzas de todos los pesos de la aeronave se encuentran en equilibrio) y siempre en vertical a través de una línea imaginaria que une el avión con la tierra (Rodríguez-Laiz, 2018).
- **Resistencia:** Es la fuerza aerodinámica que se opone al movimiento de avance de la aeronave a través de la masa de aire. Depende de varios factores tales como pueden ser el tamaño de la superficie, la velocidad de movimiento, la densidad del aire y otras. La resistencia total que ofrece una aeronave puede ser de dos tipos: la resistencia parásita, que aumenta con la velocidad, es la generada por el rozamiento de todas las partes del avión expuestas al viento relativo (fuselaje, motores, tren de aterrizaje, antenas, ranuras,

partes móviles, etc.). Por su parte, la resistencia inducida es la que se produce al generar sustentación y surge debido a la diferencia de presiones entre el intradós (alta presión) y el extradós (baja presión). Un efecto curioso producido por esta circulación del aire son los llamativos vórtices de punta del ala (Rodríguez-Laiz, 2018).

- Empuje: Es proporcionado por el motor o motores del avión. Esta fuerza permite a la aeronave moverse a través de la masa de aire y es opuesta a la resistencia (Rodríguez-Laiz, 2018).

5.3.4. Perfiles Alares

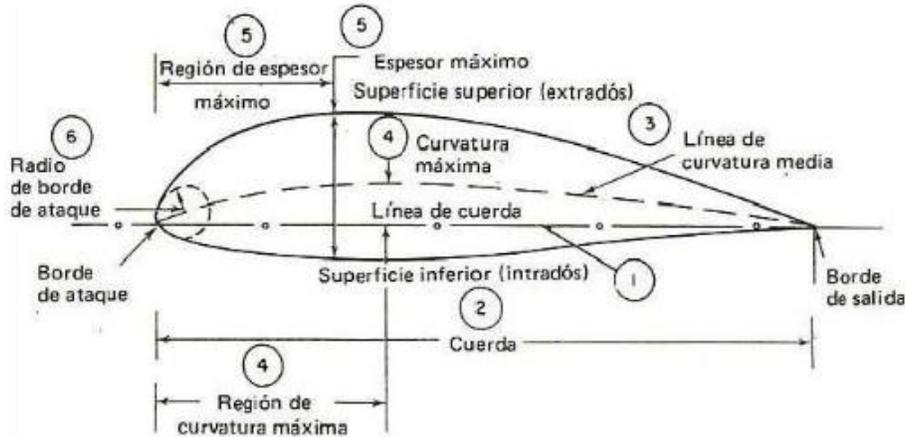
En el campo de la aeronáutica, un perfil alar, también conocido como perfil aerodinámico o simplemente perfil se lo puede apreciar en la Figura 5, se refiere a una forma curva que, al moverse a través del aire, genera una distribución de presiones a su alrededor que produce sustentación. Esta forma está definida por varias partes y medidas, como se muestra en la Figura 8, y al variar estas medidas y proporciones, se pueden obtener numerosas variantes de perfiles con características distintas.

Las relaciones geométricas entre las regiones mencionadas anteriormente tienen nombres específicos, y su determinación afecta los parámetros que influyen directamente en el comportamiento aerodinámico del perfil.

Además de estas características geométricas, existen otras propiedades importantes del perfil que son utilizadas por los expertos en el diseño y análisis de aeronaves. Estas propiedades adicionales, junto con las relaciones geométricas, permiten a los ingenieros y diseñadores optimizar el rendimiento de los perfiles alares para diversas aplicaciones y condiciones de vuelo. (Babilonia, s.f.).

Figura 5

Perfil Alar



Nota: Tomado de (Luque, 2024).

5.3.5. Aplicaciones

El rápido avance en el uso militar y gubernamental de los Sistemas de Aeronaves No Tripuladas (UAS) ha revelado su gran potencial para aplicaciones comerciales civiles. La mayoría de estas aplicaciones se centran en pequeños vehículos aéreos no tripulados (UAV) que operan a altitudes inferiores a las utilizadas por aeronaves tripuladas, generalmente por debajo de los 1000 pies (Babilonia, s.f.).

Usos principales:

- Seguridad y vigilancia: cuerpos policiales en contra de la delincuencia, como controlar los ingresos marítimos, control en las fronteras y el tráfico de drogas.
- Servicio de entregas: en el ámbito comercial países como Rusia se encuentran en la entrega de pizzas a domicilio, en China la empresa de SF Express que realiza envíos de correos y Amazon en el intento de envíos de encomiendas y pedidos.
- Control de incendios: en las cuales ayudarán en labores de rescate y en la labor de reunir información para anticipar la prevención y expansión de incendios forestales.

- Inspección de infraestructuras: inspeccionar aspectos como arquitectura, electricidad y otros elementos de una construcción.
- Satélites: utilizando sensores térmicos, energía solar, creación de redes de internet en áreas menos accesibles.
- Investigaciones biológicas: y ciencias a fines como la medicina para observar los fenómenos como migración de aves, o vigilar un campo de aislamiento sin tener contacto directo con los animales.
- Agricultura: control de plagas, fumigación, estudio de cultivos y tierras.
- Eventos: como el cine, desfiles de moda o medios de comunicación para obtener tomas cinematográficas que pueden ser desde el aire o para difundir las noticias.
- Situaciones de emergencia: para búsqueda de personas, ya sea desastres naturales, debido a que pueden recorrer enormes áreas en muy poco tiempo.
- Ocio y recreación: como un juego para niños e incluso para capturar imágenes de paisajes.
- Delito: incluso puede ser utilizado de manera ilegal como es el traslado de productos ilícitos como la droga.
- Espionaje: violar los derechos de la intimidad para espiar a personas y utilizar información de manera inadecuada.

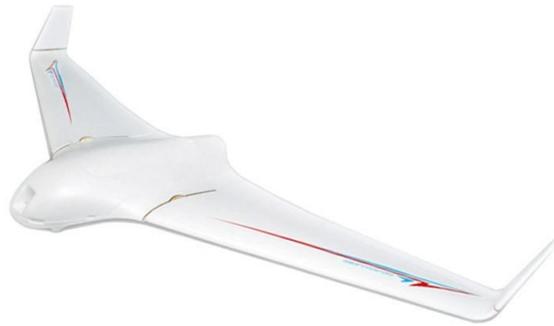
5.4. Diseños de UAVs de ala fija

5.4.1. UAS-X8

una plataforma de ala fija es capaz de capturar fotografías de entre 1 y 4000 hectáreas en un solo vuelo, con una precisión de 5 cm. Estas fotografías son estereoscópicas a color RGB e infrarrojas, con una resolución que varía entre 3 cm y 25 cm, como se muestra en la Figura 6 (Alexander, 2021).

Figura 6

UAV modelo UAS-X8



Nota: Tomado de Cabrera (2021).

Características

- Envergadura: 2.12 m
- Longitud: 850 mm
- Peso: <4.4 kg
- Carga útil: 2.4 kg
- Velocidad: 100km/h
- Vientos: <64km/h
- Radio de control: 5-100 km
- Tiempo de vuelo: 120 min
- Precio: 5000 USD

- Lanzamiento por catapulta
- Sistema de paracaídas para aterrizaje

5.4.2. SKYWALKER X8

Esta plataforma aérea es una herramienta versátil que puede ser utilizada tanto para la toma de fotografías aéreas como para la supervisión de cultivos. Su diseño de ala fija le proporciona estabilidad durante el vuelo, lo que permite obtener imágenes claras y precisas. Además, su capacidad para transportar cargas útiles la hace adecuada para llevar equipos de monitoreo de cultivos, como cámaras multiespectrales o sensores; se lo puede observar en la Figura 7 (Alexander, 2021).

Figura 7

SKYWALKER X8



Nota: Tomado de (Cabrera, 2021).

Características

- Envergadura: 2.120m
- Longitud: 790mm
- Peso: <3 kg
- Carga útil: 2.4 kg
- Velocidad: 90km/h

- Vientos: <70 km/h
- Radio de control: 5-100 km
- Tiempo de vuelo: 25 min
- Precio: 1000 USD
- Lanzamiento por catapulta
- Sistema de paracaídas para aterrizaje

5.4.3. DT18

Este vehículo aéreo no tripulado (UAV) se utiliza en la agricultura tanto para la observación y georreferenciación del terreno como para la obtención de índices que permitan analizar la vegetación. Esto se puede apreciar en la Figura 8 (Alexander, 2021).

Figura 8

UAV modelo SKYWALKER X8



Nota: Tomado de (Cabrera, 2021).

Características

- Envergadura: 1.8 m
- Longitud: 1.2 m
- Peso: 2 kg

- Carga útil: 500gr
- Velocidad: 80 km/h
- Vientos: 50km/h
- Radio de control: 100 km
- Tiempo de vuelo: 120 min
- Precio: 1000 USD
- Lanzamiento por catapulta
- Sistema de paracaídas para aterrizaje

5.5. Uso de drones y UAVs en servicios de entrega y paquetería

En la actualidad, diversas empresas de distintos sectores, como la alimentación, la mensajería y la medicina, están explorando la entrega de productos mediante drones. A continuación, se mencionan algunas de las compañías más destacadas que han incursionado en este innovador sistema de envío de paquetería (Luzuriaga, 2017).

5.5.1. DHL

DHL Supply Chain en España ha probado con éxito el uso de drones autónomos para realizar inventarios en sus almacenes. Este avance tecnológico busca implementarse progresivamente en sus centros logísticos para optimizar la gestión y mejorar la eficiencia. La prueba piloto se llevó a cabo en un almacén de Guadalajara dedicado a la empresa MAKRO. Los drones autónomos ofrecen ventajas significativas al aumentar la seguridad de los trabajadores y reducir los tiempos y recursos necesarios para realizar inventarios. DHL ha sido pionero en el uso de drones en España desde 2017, comenzando con drones tripulados y avanzando hacia esta nueva etapa de drones autónomos. Estos últimos, a diferencia de los primeros, operan de forma independiente gracias a su programación previa, lo que agiliza aún más el proceso de inventario. (Logístic, 2020).

Figura 9

DHL Paket Kopter



Nota: Tomado de (Grossman, 2016).

5.5.2. Amazon

Amazon, el gigante estadounidense del comercio electrónico y la logística, ha incursionado en el servicio de entrega con drones a través de su prototipo Amazon Prime Air (Figura 10). En diciembre de 2016, la compañía realizó su primera entrega a un cliente en Cambridge, Reino Unido, en tan solo 13 minutos. El dron, un VANT autónomo, despegó desde un centro logístico cercano al domicilio del cliente. El vuelo fue pre programado con la dirección de entrega a través de GPS, alcanzando una altura de 120 metros y transportando un paquete de hasta 2,2 kilos (Ortiz, 2016).

Figura 10

Amazon Prime Air



Nota: Tomado de (Sorani, 2018).

5.5.3. UPS

UPS, una de las empresas de mensajería más grandes de Estados Unidos, también está explorando la entrega de paquetes con drones. En 2017, presentó su dron HorseFly que se lo puede ver en la Figura 11, que despegar desde un camión para llevar paquetes a los clientes mientras el conductor continúa su ruta.

La idea de UPS no es reemplazar a sus empleados, sino ahorrar tiempo y dinero. El conductor se dirige en el camión hacia la dirección de entrega, carga el paquete en el dron y lo envía de forma autónoma hasta la puerta del cliente.

La prueba se realizó en Florida, donde el conductor estacionó el camión a 50 metros del punto de entrega, cargó el dron y éste voló de forma autónoma hasta la puerta del cliente. Una vez realizada la entrega, el dron regresa al camión y aterriza en una plataforma en el techo.

El dron HorseFly tiene una capacidad de carga de 4.5 kg, una velocidad de vuelo de 72 km/h y una autonomía de 30 minutos. Una de sus ventajas es que se recarga mientras está en la base del camión.

En una segunda demostración, el dron sufrió un daño debido a la interferencia de la señal de las cámaras de televisión. A pesar de este inconveniente, UPS ha declarado que continuará trabajando en el proyecto (UPS, 2021).

Figura 11

UAV Workhorse HorseFly™



Nota: Tomado de (Grossman, 2016).

5.5.4. ZipLine

Zipline, una empresa estadounidense de robótica médica con sede en Silicon Valley, es líder mundial en la entrega de medicinas y productos sanguíneos mediante drones. Su modelo P2 Zip (Figura 12) es un ejemplo de su tecnología avanzada.

Desde octubre de 2016, Zipline ha transformado la distribución de sangre en Ruanda, realizando más de 1.400 vuelos y entregando más de 2.600 unidades de sangre en 12 centros de salud. Lo que antes tomaba cuatro horas por viaje, tres veces por semana, ahora se resuelve con una orden desde un smartphone y una entrega en 15 minutos. El Dr. Espoir Kajibwami (2016), ex director médico de Kabgayi, destaca la importancia de este servicio: "Antes, disponer de sangre cuando se necesitaba era un problema serio". El sistema de Zipline utiliza drones de ala fija de 12 kg, capaces de transportar hasta 1,5 kg (tres bolsas de sangre) a velocidades de hasta 100 km/h. Los drones son lanzados por catapulta y entregan los paquetes mediante paracaídas en cajas rojas ubicadas en los tejados de los hospitales. Actualmente, Zipline opera 150 vuelos diarios y, según Justin Hamilton, responsable del proyecto, la empresa planea expandir sus operaciones a otros países (Karla, 2024).

Figura 12

P2 ZipLine



Nota: Tomado de (Konrad, 2023).

5.6. Uso de unidades de vuelo en el Ecuador

El uso de drones fumigadores y de monitoreo, tanto en la agricultura como en la cría de animales en grandes cantidades de terreno, aún no ha sido explotado del todo, pero sí existen pocas empresas o personas que los ocupan con este fin. En la ciudad de Quito está en operaciones actualmente la empresa AERIALOOP, la cual realiza operaciones de entrega de paquetería con una unidad de vuelo de ala fija VTOL desde el norte al sur de la ciudad y viceversa, ahorrándose así el tiempo y los recursos que significa cruzar la ciudad de un lado a otro para realizar la entrega de productos y también alimentos (Pozo, 2022).

5.7. Panorama

La creciente popularidad de la tecnología de drones a nivel mundial ha impulsado la exploración de su implementación en áreas de difícil acceso en Ecuador, con un enfoque principal en la entrega de paquetería.

5.8. Antecedentes

En Ecuador, el uso de drones para servicios de entrega no está muy extendido. Si bien existen empresas que utilizan drones para fotografía y video, servicios técnicos, agricultura,

seguridad e incluso marketing aéreo, el país aún no ha adoptado ampliamente esta tecnología para la entrega de paquetería.

Sin embargo, el auge de los drones en otros países ha impulsado a Ecuador a considerar su implementación en servicios de entrega. Para ello, se ha propuesto un proyecto que busca analizar la viabilidad de esta tecnología en el país, estudiando experiencias internacionales y locales para determinar los aspectos más relevantes a considerar (Cabrera, 2021).

5.9. Regulación

Es fundamental conocer el marco legal que regula el uso de drones para evitar infringir las leyes nacionales e internacionales. Esto implica analizar la normativa vigente en el país con respecto a esta actividad. En Ecuador, la Dirección General de Aviación Civil (DGAC) ha establecido la Resolución N.º 251/2015, la cual contiene cláusulas que rigen la operación de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS) y determina los lugares permitidos para su vuelo (Dgac, 2020).

- Artículo 1. Vuelos en los alrededores de aeródromos: totalmente prohibido el vuelo de drones en establecimientos aéreos controlados, ejemplo: aeropuerto, bases militares, aviación civil, servicio de navegación aeronáutica, estos deben encontrarse a una distancia mínima de 9 kilómetros de las instalaciones.
- Artículo 2. Altura para volar: es de un máximo de 400 pies, es decir, de 122 metros.
- Artículo 3. Horas para volar: los drones solo podrán volar en las horas del amanecer y atardecer, es decir, solo en las horas donde se vea presente la luz del sol, donde el vuelo sea visual, no se oculte por las nubes, neblina, o cualquier condición climatológica.
- Artículo 4. Responsabilidad de vuelo: la persona quien maneja el o los drones se hará total responsable de cualquier percance que se pueda presentar durante el vuelo.
- Artículo 5. Integridad física y psicológica: bajo ningún concepto, una persona podrá volar un VANT si se encuentra en las siguientes condiciones: a) Si el operador que maneja el dron se encuentra fatigado o por causa de este síntoma podría sufrir una dolencia y generar algún incidente. b) Si el operador se encuentra bajo el efecto de bebidas alcohólicas o drogas y este efecto podría causar algún padecimiento que perjudique el manejo.

- Artículo 6. Opciones de automatización: si el dron posee alguna opción de vuelo automático, esta será permitida siempre y cuando el operador tenga también la opción de pilotarlo a distancia si la situación así lo requiere.
- Artículo 7. Limitaciones: el operador es responsable que la aeronave sea tripulada bajo las especificaciones establecidas por el fabricante.
- Artículo 8. Seguros: el operador deberá contratar una póliza de seguros para daños a terceros causados por la operación del dron, si el dron posee un peso de 2 a 25 Kg. el monto a pagar es de \$3.000,00 y si el peso sobre pasa los 25 Kg. el monto a cancelar será de \$5.000,00.
- Artículo 9. Cumplir los reglamentos locales: operador debe cumplir con las leyes establecidas en cada localidad que se encuentre sobrevolando el dron.
- Artículo 10. Consideración final: cualquier artículo que no se encuentre detallado en dicha resolución será evaluada por la Autoridad Aeronáutica Civil. Si el operador llegase a quebrantar cualquiera de estos artículos mencionados, serán sancionados de acuerdo a la Ley de aviación civil RO 435 S 11, ya que, por la falta e inexistencia de sanciones y contravenciones correspondientes a este tema, el dron será considerado como una aeronave para imponer las multas necesarias por las faltas cometidas.

6. Marco metodológico

6.1. Estado del arte en el diseño de unidades de vuelo de ala fija para la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso

Dentro del mundo de las unidades de vuelo no tripuladas (UAV) existen diversos tipos de modelos con un sinfín de modificaciones, tipos y características que pueden ir variando dependiendo del propósito con el que se haya diseñado y creado cada unidad de vuelo.

Las unidades de vuelo no tripuladas (UAV) o también llamados vehículos aéreos no tripulados (VANT), tienen múltiples aplicaciones y posibilidades tanto en lo civil como profesional; dentro de los más comunes están:

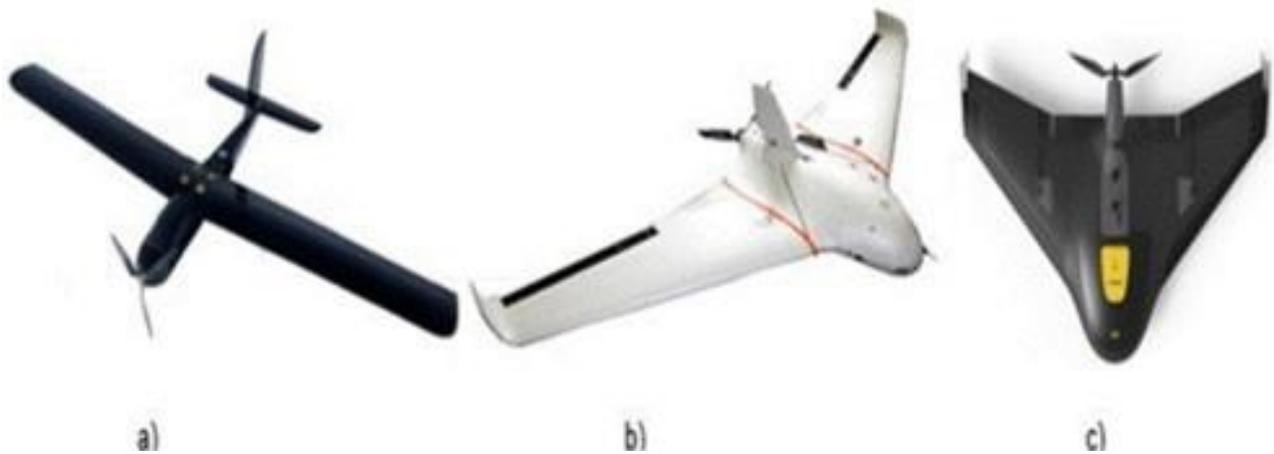
- Internet: distribución de señal gratuita de internet.
- Cartografía: realización de ortofotomapas y de modelos de elevaciones del terreno de alta resolución.

- Paquetería: Transporte y entrega de mercancías.
- Agricultura: gestión de cultivos y fumigación aérea de precisión sin riesgo para las personas.
- Video y fotografía: Cine y deportes extremos.
- Servicios forestales: seguimiento de las áreas boscosas, control de incendios.
- Militares: usados en conflictos armados y como vigilancia.

Este estudio se enfoca específicamente en drones de ala fija, cuya estructura es similar a la de un avión: un cuerpo alargado con alas que se extienden desde el centro y generan la fuerza de sustentación necesaria para volar como se los puede ver en la Figura 13.

Figura 13

UAVs de ala fija



Nota: Tomado de (Ríos, 2021).

6.1.1. Ventajas del ala fija

- Rango de vuelo y altitudes: Las aeronaves de ala fija, como los aviones, sobresalen en vuelos largos debido a su capacidad de volar grandes distancias sin repostar combustible o con un menor consumo energético. A diferencia de los helicópteros y unidades de ala giratoria, que tienen una capacidad de combustible y energía más limitada, estas

unidades de vuelo pueden recorrer una mayor cantidad de kilómetros y alcanzar mayores altitudes, haciéndolos ideales para el transporte de paquetería.

- Estabilidad de vuelo: Estas unidades de vuelo ofrecen mayor estabilidad en condiciones climáticas adversas como vientos fuertes y turbulencias. Las alas están diseñadas para generar sustentación, lo que ayuda a mantener la estabilidad en el aire incluso en situaciones climáticas difíciles.
- Velocidad del vuelo: Gracias a su diseño aerodinámico, las unidades de vuelo de ala fija pueden volar a velocidades más altas que los de ala giratoria. Esta eficiencia estructural les permite cubrir largas distancias rápidamente, siendo la opción preferida para recorrer largas distancias en poco tiempo.
- Capacidad de carga útil: Para operaciones que requieren transportar cargas a largas distancias o sobre diversos terrenos, las unidades de vuelo de ala fija son superiores. Su mayor capacidad de carga, velocidad, alcance y estabilidad les permite manejar cargas más pesadas en comparación con los de ala giratoria.

Como ya se pudo observar en el marco teórico, existen varias empresas que ya usan unidades de vuelo no tripuladas de ala fija para realizar entregas de paquetería alrededor del mundo.

6.1.2. Zipline

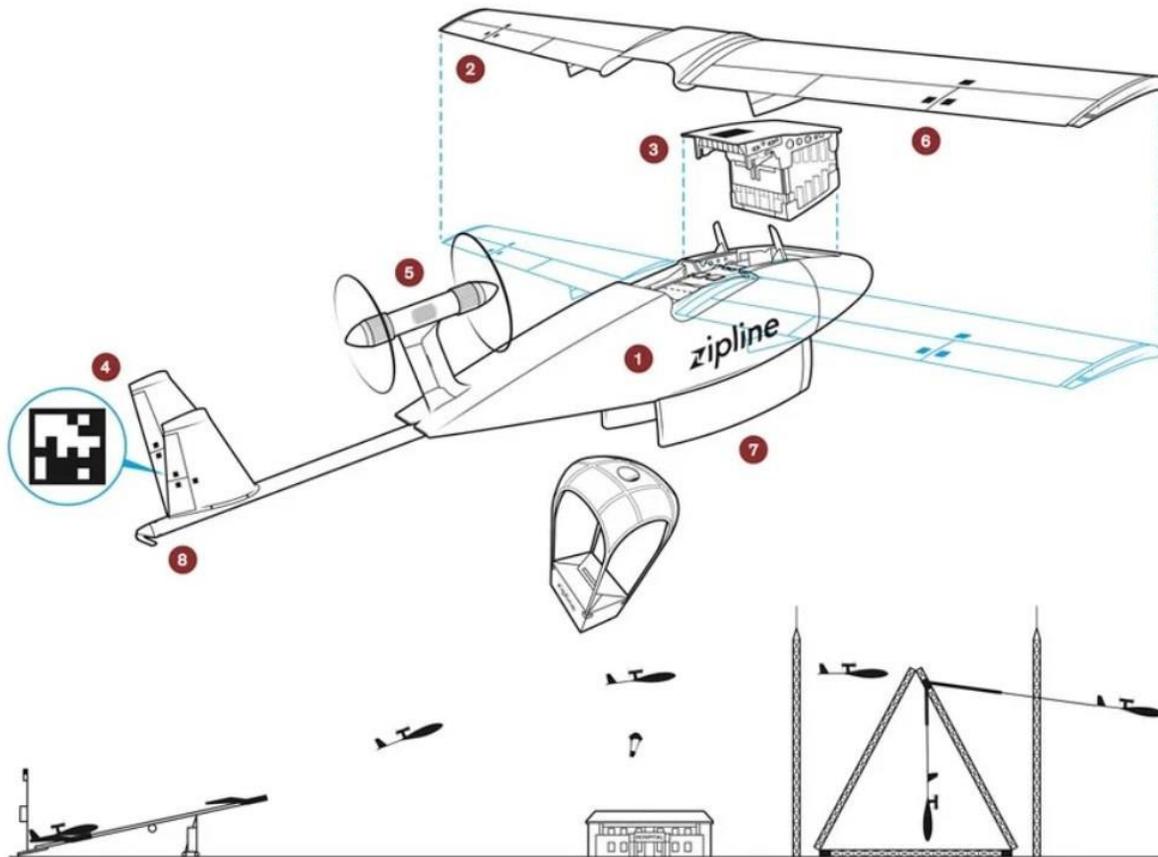
Es una de las empresas pioneras y especializadas en unidades de vuelo de ala fija y realiza entregas de insumos médicos con sus dos modelos, el Zipline P1 y el Zipline P2.

6.1.3. ZipLine P1

Este modelo de zipline es catapultado desde una estación estratégica en tierra, gracias a su perfil alar aerodinámico y a su hélice, logra sustentarse y volar a más de 100 km/h. Una vez que llega al lugar en donde se debe realizar la entrega, suelta el paquete, el cual, con ayuda de un paracaídas, cae y es recogido por quien lo solicitó. Una vez realizada la entrega, el zipline p1 vuelve a la estación donde fue lanzado y es agarrado por un cable que se engancha en la cola de una unidad de vuelo para así terminar su entrega.

Figura 14

Zipline Modelo P1



Nota: Tomado de (Ackerman y Koziol, 2019).

Los drones de Zipline son modulares. Cuando llega un pedido, los técnicos ensamblan los tres componentes principales: el chasis de espuma liviana [1], las alas [2] y la unidad de batería [3], que también contiene el plan de vuelo. El escaneo de códigos QR [4] inicia pruebas automáticas previas al vuelo de los sistemas del dron. Para mantener el dron volando en caso de una falla mecánica menor, cuenta con dos motores [5] y alerones redundantes [6] en las alas que ayudan a mantener el control del vuelo. El paquete de sangre se guarda en el compartimento de carga del dron [7] hasta que se lanza en paracaídas hasta el lugar de entrega.

Para evitar la necesidad de una pista larga para despegues y aterrizajes, una catapulta

eléctrica lanza el dron y un cable tendido entre torres captura el dron que regresa enganchando un gancho de metal de 3 centímetros [8] en la cola del dron. ZipLine P2

El Zipline P2, a diferencia de su predecesor P1, es un dron híbrido de ala fija que integra un pequeño robot en su fuselaje para entregas más precisas. Mientras que el P1 se lanza con catapulta, el P2 puede despegar y aterrizar verticalmente gracias a sus hélices giratorias. Además, el P2 utiliza una plataforma de energía inalámbrica donde los drones se acoplan para recargarse. Durante este proceso, el robot interno desciende para recoger el paquete, como se muestra en la Figura 15 (Espejel, 2023).

Figura 15

Zipline Modelo P2



Nota: Tomado de (Technology | Zipline Drone Delivery Logistics, 2023).

Una vez que el dron recoge el paquete, se dirige al lugar de destino. Al llegar, se mantiene en el aire mientras un robot desciende con una correa retráctil. Con una capacidad de carga de casi cuatro kilos y una autonomía de dieciséis kilómetros, que puede recorrer en diez minutos, este dron está diseñado para realizar entregas en ciudades y pueblos con mayor concentración de habitantes. A diferencia de su predecesor, el dron original de Zipline, el

Zipline P2 incorpora hélices de elevación y de crucero, además de un ala fija, lo que le permite maniobrar de forma silenciosa y precisa. Para entregar el paquete, el Zipline P2 se mantiene a unos 90 metros sobre el suelo. Mediante una cámara y sensores, el robot identifica el área de aterrizaje y desciende silenciosamente con un cabrestante y propulsores para entregar el paquete. Una vez entregado el paquete, el robot regresa al dron, que vuelve a su punto de partida (Espejel, 2023).

Figura 16

Robot del modelo P2



Nota: Tomado de (Technology | Zipline Drone Delivery Logistics, 2023).

6.1.4. Aerialoop

Aerialoop es una empresa ecuatoriana especializada en la entrega de paquetería utilizando unidades de vuelo no tripuladas. Su objetivo es revolucionar la logística de última milla, proporcionando un método de entrega más rápido y eficiente, especialmente en áreas urbanas donde el tráfico puede ser un gran obstáculo (Pozo, 2022).

Aerialoop diseña, desarrolla y vuela sus propios drones como el que se puede ver en la Figura 17, los mismos que tienen dos metros y medio de ancho, pesan menos de veinte kilogramos y pueden llevar cuatro kilogramos de carga. La unidad de vuelo, que opera de manera automática, despega de forma vertical, pero luego tiene una hélice para transitar horizontalmente y ahorrar tiempo en los traslados, dado que puede alcanzar hasta cien kilómetros como máximo. Un tramo de doce kilómetros recorre en siete minutos (*Aerialoop*, 2016).

Figura 17

VANT "ALT6-8 VTOL" desarrollado por Aerialoop



Nota: Tomado de (Aerialoop, 2016).

6.1.5. ALT6-8 VTOL

Esta unidad de vuelo altamente avanzada cuenta con más de diez mil horas de pruebas y vuelo, lo que permite a los usuarios volar con tranquilidad. El ALT6-8 VTOL también cuenta con un paracaídas balístico incorporado como parte de una ingeniería redundante

implementada por la empresa Aerialoop, lo que proporciona una capa adicional de seguridad para cada vuelo.

Puede despegar verticalmente desde un área 4x4, realizar una transición para un vuelo hacia adelante de cien km/h y cubrir más de cien km. Una unidad de vuelo increíblemente versátil, diseñada para volar en todas las condiciones climáticas, con certificación IP55, resistente al agua y puede soportar velocidades de viento de hasta dieciséis m/s.

Cuenta con una estructura reforzada con fibra de carbono y un fuselaje de fibra de vidrio suave. La unidad de vuelo también cuenta con extremidades de espuma que permiten un mantenimiento de bajo costo y una mayor durabilidad (Aerialoop, 2016).

Figura 18

ALT6-8 VTOL



Nota: Tomado de (Anglin, 2024).

6.1.6. Skyports

Skyports es una empresa del Reino Unido que se especializa en la creación y operación de infraestructura para drones y aeronaves eléctricas de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL). La empresa se enfoca en dos áreas principales: la entrega de paquetes mediante aeronaves y la movilidad aérea urbana. Skyports trabaja en el desarrollo de vertipuertos, que son plataformas de aterrizaje y despegue para aeronaves eVTOL, y también colabora con empresas de logística y movilidad aérea para facilitar la implementación de estas tecnologías en entornos tanto

urbanos como rurales.

En cuanto a sus unidades de vuelo, Skyports utiliza una variedad de modelos de varios fabricantes según las necesidades de sus clientes y proyectos específicos. Los eVTOL se utilizan principalmente para la entrega de paquetes en áreas urbanas y remotas, proporcionando una solución eficiente y sostenible para el transporte de paquetería (*Skyports Drone Services / Expert Drone Operations*, 2024).

Skyports utiliza una gran variedad de drones y aeronaves de varios fabricantes que, dependiendo de las especificaciones del trabajo que realizarán y las condiciones de vuelo, pueden variar mucho en sus modelos y características. Estos son algunos de los modelos eVTOL usados por Skyports para sus entregas.

6.1.7. Wingcopter

VTOL con un rango de vuelo de hasta 120 km, capaz de llegar a una velocidad de crucero de 100 km/h, y con una carga máxima de 6 kg.

Esta unidad de vuelo que se puede observar en la Figura 19 fue usada por Skyports para realizar entregas de kits de prueba de COVID-19 y equipos de protección personal, los viajes tenían su base en el hospital Lorn and Islands de Oban, consistirá en vuelos de ida y vuelta entre el hospital y el Hospital Comunitario Mull e Iona en Craignure, a 16 km de distancia, en la isla de Mull. A medida que la petición de pruebas de detección de COVID-19 se aceleraba en el Reino Unido, el servicio de entrega propuesto ayudó a garantizar que las comunidades aisladas tengan acceso a las mismas, que se entregarán de manera rápida y eficiente. Actualmente, la mayoría de los suministros médicos y muestras se transportan entre el laboratorio del Hospital de Lorn y las Islas, los consultorios de médicos generales de los alrededores y otros centros de atención médica por mar y por carretera, un viaje largo y complicado.

Este servicio reduce los tiempos de entrega de hasta 6 horas por trayecto en transporte terrestre y ferry alrededor de quince minutos, lo que generará un ahorro considerable en términos de tiempo y recursos, además de contribuir a mantener seguro al personal médico y de entrega de primera línea (*Scotland COVID-19 response – Wingcopter*, 2020).

Figura 19

VTOL Wingcopter realizando entregas en tiempos de pandemia



Nota: Tomado de (Scotland COVID-19 response – Wingcopter, 2020).

6.1.8. Elroy Air Chaparral

Chaparral es un modelo de VTOL mucho más grande que los demás ya mostrados, con una capacidad de carga útil de hasta ciento treinta y seis kilogramos y un rango de vuelo de hasta cuatrocientos ochenta kilómetros; está diseñado y es usado por Skyports para entregas de carga pesada en distancias largas. Se centra en el envío de ayuda humanitaria y reabastecimiento militar.

Tiene una envergadura de ocho metros y una longitud de casi seis metros, capaz de poder volar a una velocidad de crucero de doscientos treinta kilómetros por hora gracias a su sistema de propulsión híbrido-eléctrico que alimenta y da potencia a sus ocho hélices verticales y cuatro delanteras, como se puede observar en la Figura 20 (*Elroy Air - Chaparral, 2023*).

Figura 20

Elroy Air Chaparral



Nota: Tomado de (Elroy Air - Chaparral, 2023).

6.2. Diseño de la Estructura del Fuselaje para una Unidad de Vuelo de Ala Fija Destinada a la Entrega de Paquetería en Zonas de Difícil Acceso

Tras el análisis exhaustivo de las diferentes variantes de unidades de vuelo de ala fija empleadas para la paquetería y la entrega de productos, como se detalla en la sección 6.1, el siguiente paso es la selección de una unidad de vuelo específica. Esta selección es esencial para proceder con el diseño detallado de la estructura del fuselaje, con el objetivo de desarrollar una unidad de vuelo capaz de efectuar entregas de paquetería en zonas de difícil acceso.

La unidad seleccionada debe cumplir con todos sus análisis de vuelo que garanticen la sustentación de la misma y así poder trabajar sobre un perfil alar que ya tiene como respaldo todo su análisis y cálculos.

Una vez realizada la búsqueda de varias unidades de vuelo de ala fija, se encontró una que ya contaba con todos los requisitos y análisis aerodinámicos de su perfil alar en el software

xflr5. Esta unidad de vuelo fue desarrollada por el área de aerodelismo en la carrera de mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana, misma unidad que se puede visualizar en la Figura 21.

Figura 21

Unidad de vuelo de ala fija



Nota: UAV de ala fija desarrollada y fabricado por el área de aerodelismo de la Universidad Politécnica Salesiana.

6.2.1. Elección de diseño final a implementarse

Después de analizar los varios tipos de modelos en unidades de vuelo de ala fija para la entrega de paquetería, es necesario escoger uno o acoplar uno similar a las características de la unidad de vuelo escogida en el anterior punto, la cual se puede observar en la Figura 21. Se analizó la posibilidad de acoplar 3 propuestas diferentes que la estructura de su unidad de vuelo era parecida o tenía características similares a nuestra UAV:

1. Dentro de la primera propuesta se planteó un diseño similar al de la Figura 14, donde la unidad de vuelo es catapultada y consta de varios módulos, llevando en el interior del fuselaje el paquete a entregarse. Pero esta propuesta fue no tomada en cuenta, ya que

la unidad de vuelo con la que estábamos trabajando requería de una pista para poder despegar y además que su espacio al interior del fuselaje era muy pequeño para poder realizar una implementación de ese tipo.

2. En la propuesta 2 se plantea una unidad de vuelo, capaz de poder volar de forma vertical gracias a la implementación de 4 hélices en sus alas y además de la implementación de un compartimiento en la parte inferior, debajo del fuselaje, en donde iría almacenando el producto a entregarse.
3. Como tercera y última propuesta se plantea una unidad de vuelo similar a la de la Figura 17, en donde nuevamente la limitante sería el reducido espacio que tiene el fuselaje de la unidad de vuelo a usarse, además de que la cola terminada en V también alteraría los cálculos ya realizados en la aerodinámica de la unidad de vuelo.

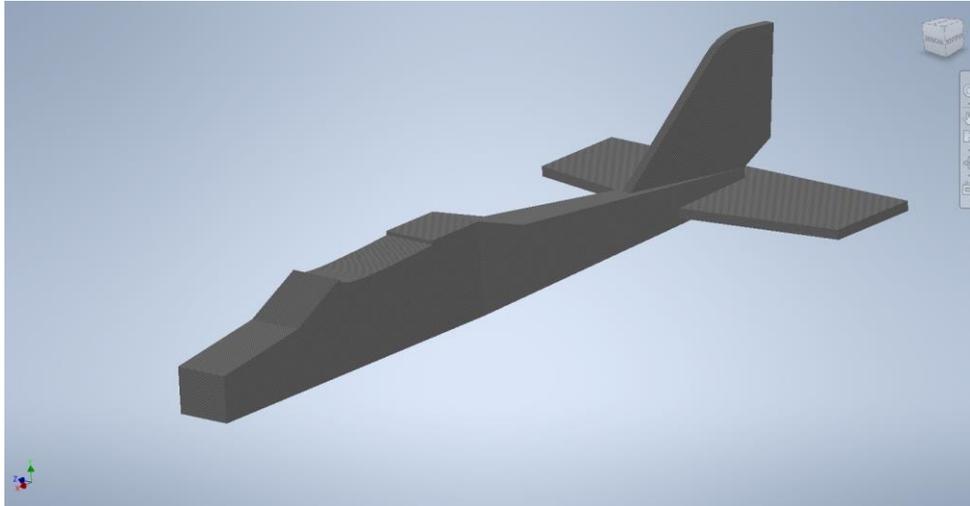
La propuesta elegida fue la segunda, por lo que, como primer paso, fue necesario realizar un modelo 3D de la unidad de vuelo para poder comenzar con los respectivos diseños y cálculos. Se tomaron las medidas de la unidad de vuelo y se realizó el diseño 3D en dos partes usando los softwares Inventor, AutoCAD y Excel.

- Modelado 3D del fuselaje

La unidad de vuelo presentada en la Figura 21 fue diseñada y fabricada por los estudiantes de mecánica en los laboratorios de la universidad, por lo que era necesario únicamente tomar todas las medidas necesarias para posteriormente poder dibujar y modelar en el software inventor, cabe recalcar que era necesario no tomar en cuenta el tren de aterrizaje, ya que la nueva propuesta de diseño propone una aeronave VTOL, esto quiere decir que no usará el tren de aterrizaje para despejar o aterrizar, sino que lo hará con hélices de forma vertical. Como primer paso se modeló el fuselaje y las aletas de la cola sin tomar en cuenta el perfil alar, como se puede ver en la Figura 22, ya que este por sus grados de inclinación y curvas tenía que ser exactamente igual y no era posible dibujarlo únicamente tomando medidas.

Figura 22

Modelado 3D del fuselaje



Nota: Autoria propia.

- Modelado 3D del perfil aerodinámico

El perfil aerodinámico es el único elemento en la unidad de vuelo que es responsable de la sustentación y para el caso de esta unidad de vuelo el perfil aerodinámico es un NACA 2412, esto significa una serie de proporciones que obedece el perfil aerodinámico con base en sus dimensiones y tamaños, por lo que es necesario ser muy exacto al momento de poder dibujarlo y modelarlo.

Como primer paso fue necesario buscar el perfil aerodinámico Naca 2412 en la página de internet Airfoil que es donde se pueden encontrar una gran cantidad de perfiles aerodinámicos con varios datos y tablas de los mismos, una vez que se encontró el perfil aerodinámico a usarse es necesario copiarse las coordenadas que da la misma página es un documento de Excel, estas coordenadas lo que nos dan es una referencia del perfil aerodinámico dibujado sobre el plano cartesiano en porcentaje de la cuerda, por lo que es necesario pasar los datos de las coordenadas a valores en porcentaje al valor de la cuerda que en este caso es 285 mm, esto lo logramos multiplicando el valor de la coordenada dada en el Airfoil por el valor de la cuerda. Una vez multiplicados todos los valores se obtuvo los valores reales de las coordenadas en X y Y del perfil aerodinámico

que necesitamos con cuerda de 285 mm, pero estos valores los necesitamos concatenados para poder dibujar el perfil aerodinámico en el software AutoCAD por lo que usamos la siguiente fórmula en Excel con los valores de las coordenadas.

$$= \text{CONCATENAR}(\text{Xreal}; \text{""}; \text{Yreal})$$

Obteniendo la Tabla 1:

Tabla 1

Coordenadas, perfil NACA 2412 en porcentaje de la cuerda.

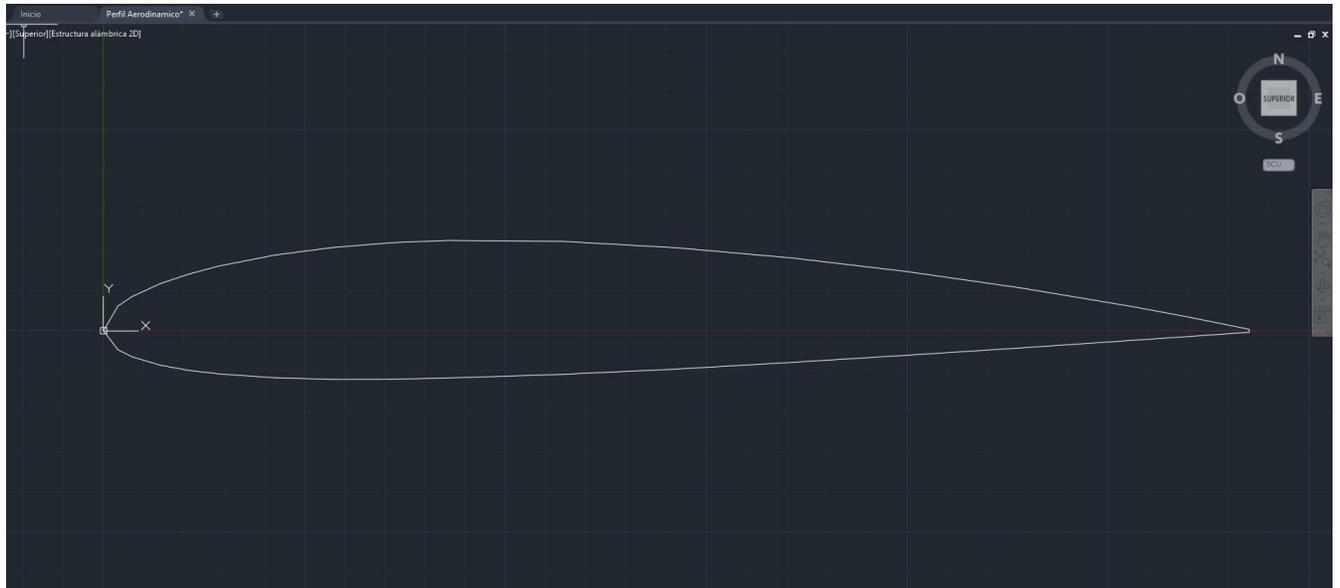
PERFIL NACA 2412						
Posicion	Distancia en X	Distancia en Y	Cuerda	Xreal	Yreal	Concatenar
EXTRADOS	0.00	0.00	285.00	0.00	0.00	0.0
	0.0125	0.0215		3.56	6.13	3.5625.6.1275
	0.025	0.0299		7.13	8.52	7.125.8.5215
	0.05	0.0413		14.25	11.77	14.25.11.7705
	0.075	0.0496		21.38	14.14	21.375.14.136
	0.1	0.0563		28.50	16.05	28.5.16.0455
	0.15	0.0661		42.75	18.84	42.75.18.8385
	0.2	0.0726		57.00	20.69	57.20.691
	0.25	0.0767		71.25	21.86	71.25.21.8595
	0.3	0.0788		85.50	22.46	85.5.22.458
	0.4	0.078		114.00	22.23	114.22.23
	0.5	0.0724		142.50	20.63	142.5.20.634
	0.6	0.0636		171.00	18.13	171.18.126
	0.7	0.0518		199.50	14.76	199.5.14.763
	0.8	0.0375		228.00	10.69	228.10.6875
0.9	0.0208	256.50	5.93	256.5.5.928		
0.95	0.0114	270.75	3.25	270.75.3.249		
	1.00	0.0013	285.00	0.37	285.0.3705	
INTRADOS	1.00	-0.0013	285.00	-0.37	285.-0.3705	
	0.95	-0.0048	270.75	-1.37	270.75.-1.368	
	0.9	-0.0082	256.50	-2.34	256.5.-2.337	
	0.8	-0.015	228.00	-4.28	228.-4.275	
	0.7	-0.0214	199.50	-6.10	199.5.-6.099	
	0.6	-0.0276	171.00	-7.87	171.-7.866	
	0.5	-0.0334	142.50	-9.52	142.5.-9.519	
	0.4	-0.038	114.00	-10.83	114.-10.83	
	0.3	-0.0412	85.50	-11.74	85.5.-11.742	
	0.25	-0.0422	71.25	-12.03	71.25.-12.027	
	0.2	-0.0423	57.00	-12.06	57.-12.0555	
	0.15	-0.041	42.75	-11.69	42.75.-11.685	
	0.1	-0.0375	28.50	-10.69	28.5.-10.6875	
	0.075	-0.0346	21.38	-9.86	21.375.-9.861	
	0.05	-0.0301	14.25	-8.58	14.25.-8.5785	
0.025	-0.0227	7.13	-6.47	7.125.-6.4695		
0.0125	-0.0165	3.56	-4.70	3.5625.-4.7025		
	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	

Nota: Autoria propia.

Dentro del software AutoCAD con ayuda del comando pline pegamos los valores obtenidos concatenados obteniendo el perfil aerodinámico dibujado en 2D como lo indica la Figura 23.

Figura 23

Perfil aerodinámico NACA 2412

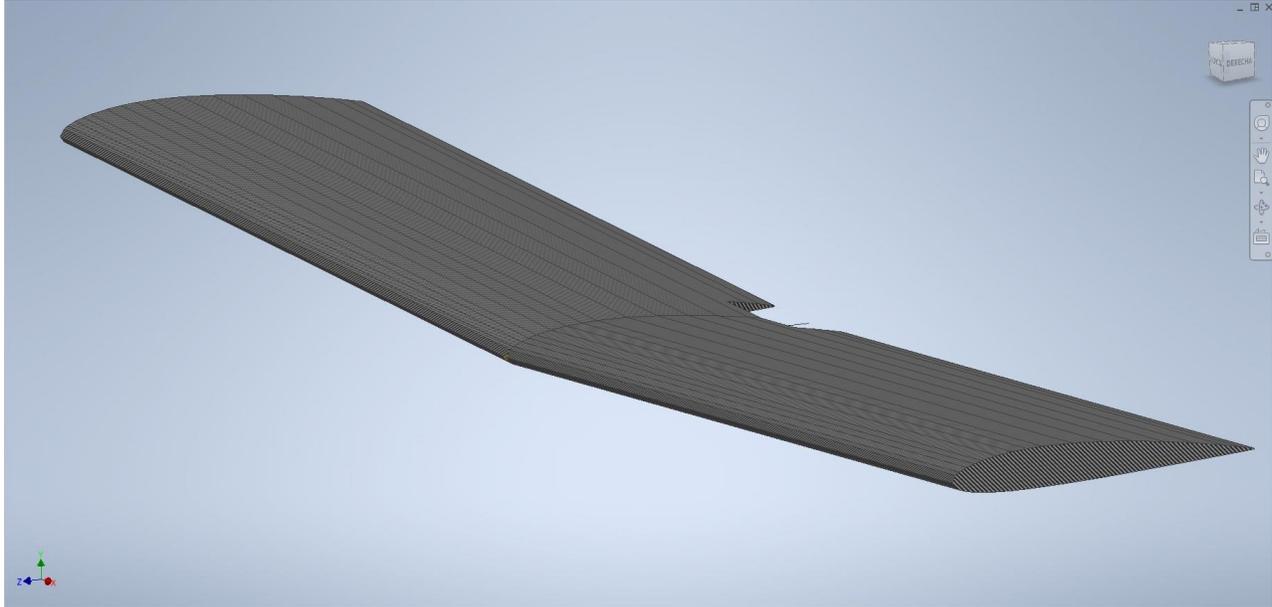


Nota: Autoria propia.

Con el perfil aerodinámico dibujado en 2D, el último paso es pasarlo a Inventor para realizar la extrucción con el largo total del ala, obteniendo el perfil aerodinámico modelado en 3D como se puede observar en la Figura 24.

Figura 24

Perfil Alar modelado en 3D



Nota: Autoria propia.

6.2.2. Cálculo de pesos, fuerzas y carga útil máxima

Al ya tener los cálculos aerodinámicos realizados en el software xflr5 para la unidad de vuelo a usarse presentada en la Figura 24, es necesario saber la carga útil máxima que puede llegar a cargar esa unidad de vuelo sin entrar en pérdida. Por lo que se usó la fórmula del coeficiente de sustentación para poder calcular y despejar el peso máximo soportado.

Coeficiente de sustentación [C_L]

$$C_L = \frac{L}{0.5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S} \quad (1)$$

Donde:

- L Fuerza de sustentación [N]
- ρ Densidad del aire [Kg/m^3]
- v Velocidad [m/s]
- S Superficie alar [m^2]

En la ecuación 1 despejamos la fuerza de sustentación [L].

$$L = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot C_L \quad (2)$$

Para realizar el cálculo de la fuerza de sustentación, la cual es necesaria para que la unidad de vuelo no entre en pérdida y poder calcular el peso máximo, reemplazamos los siguientes valores en la ecuación 2.

- Densidad del Aire

$$\rho = 1.225 \text{kg/m}^3$$

- Velocidad de vuelo

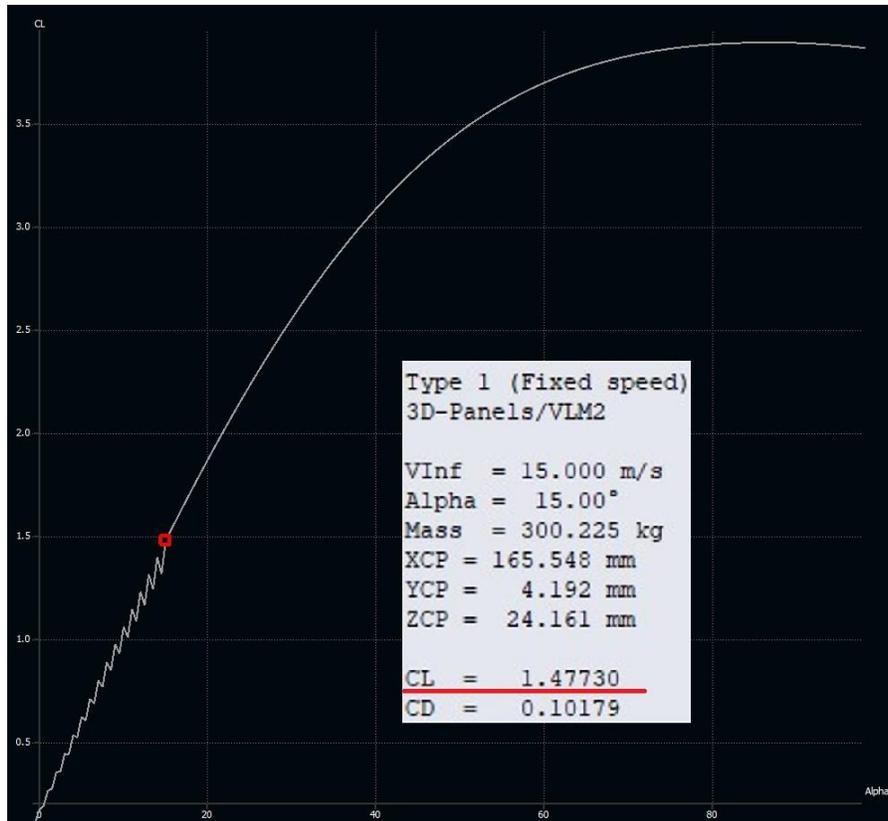
$$v = 15 \text{m/s}$$

- Coeficiente de sustentación [C_L]

El coeficiente de sustentación puede variar dependiendo del ángulo de ataque (α) al que se encuentre la unidad de vuelo y estos valores nos proporciona el software xflr5 en la gráfica de la Figura 25.

Figura 25

Gráfico coeficiente de sustentación vs. ángulo de ataque



Nota: Coeficiente de sustentación $C_l = 1.47730$.

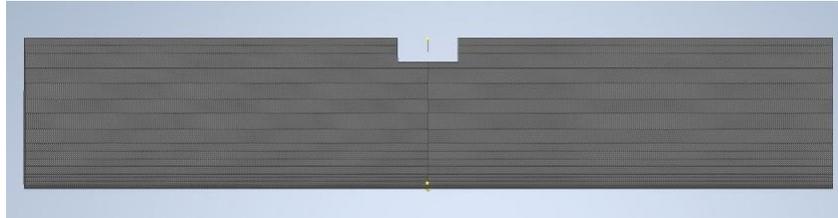
- Superficie Alar [S]

El perfil alar es lo único de quien depende una unidad de vuelo de ala fija para poder sustentarse de manera correcta y no entrar en pérdida, por lo que es necesario saber el área total de la superficie alar que entrara en contacto con el aire al momento que la unidad de vuelo esté volando.

Para esto únicamente se aplicó la fórmula de área de un rectángulo para aproximar lo más posible la superficie de las alas en la unidad de vuelo, como lo indica la Figura 26.

Figura 26

Superficie alar



Nota: Autoria propia.

Tomando en cuenta las medidas de las alas, realizamos el cálculo de la superficie alar.

$$S = 1.56m \cdot 0.28m$$

$$S = 0.4368m^2$$

Después de analizar la gráfica de la Figura 25 y realizar varios cálculos, se determinó finalmente ocupar el valor de 1.47730 para el coeficiente de sustentación [C_L] con un respectivo ángulo de ataque [α] igual a 15° .

Una vez obtenidos todos los valores, reemplazamos en la ecuación 2 y calculamos el valor final de la fuerza de sustentación.

$$L = 0.5 \cdot 1.225kg/m^3 \cdot 15^2m/s \cdot 0.4368m^2 \cdot 1.47730$$

$$L = 88.9282 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

la fuerza de sustentación debe ser mayor que el peso para que la unidad de vuelo no entre en pérdida, como lo indica la Figura 7. Gracias a esto, podemos utilizar la fórmula de peso para calcular la masa máxima que puede soportar la unidad de vuelo.

$$W = m \cdot g \tag{3}$$

Donde:

m Masa [kg]

g Gravedad [$9.8066m/s^2$]

$$L > W$$

Despejamos la variable m y reemplazamos los valores de peso y gravedad en la ecuación 3 para obtener el valor de la masa.

$$m = \frac{W}{g}$$

$$m = \frac{88.9282 \frac{kg \cdot m}{s^2}}{9.8066 \frac{m}{s^2}}$$

$$m = 9.07kg$$

Lo que nos indica que la masa total del paquete y de los cambios que se le agreguen a la unidad de vuelo no debe ser mayor a $9kg$; de lo contrario, la unidad de vuelo entraría en pérdida.

Además del peso y la sustentación, que son las fuerzas que actúan sobre la aeronave en el eje vertical, también están las fuerzas de resistencia y empuje, que son las que actúan sobre el eje horizontal. Para poder determinar las fuerzas de resistencia y empuje, nos ayudamos de la fórmula del coeficiente de resistencia.

Coeficiente de resistencia [C_D]

$$C_D = \frac{D}{0.5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S} \quad (4)$$

Donde:

D Fuerza de resistencia [N]

ρ Densidad del aire [kg/m^3]

v Velocidad [m/s]

S Superficie alar [m^2]

En la ecuación 4 despejamos la fuerza de resistencia [D].

$$D = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot S \cdot C_D \quad (5)$$

Los valores de velocidad [v], densidad del aire [ρ] y superficie alar [S] son los mismos considerados en el cálculo de la fuerza de sustentación, mientras que el valor del coeficiente

Reemplazamos los valores y calculamos el peso.

$$P_{total} = M_{Total} \cdot g \quad (7)$$

$$P_{total} = 9.9.229kg \cdot 9.81m/s^2$$

$$P_{total} = 90.55N$$

Al ser 4 motores los que se van a implementar, es necesario dividir el valor del peso para 4.

$$F_{Motor} = \frac{90.55N}{4}$$

$$F_{Motor} = 22.64N$$

Para calcular la potencia necesaria de cada motor usaremos la siguiente fórmula.

$$P = \sqrt{\frac{T^3}{2 \cdot \rho \cdot A}} \quad (8)$$

Donde:

$$T = 22.64N \text{ [Fuerza de empuje del motor]}$$

$$\rho = 1.225 \frac{kg}{m^3} \text{ [Densidad del aire]}$$

$$A = 0.3048m \text{ [Valor estándar del área del disco barrido por la hélice]}$$

Reemplazando los valores en la ecuación 8, cálculo la potencia del motor.

$$P = \sqrt{\frac{22.64N^3}{2 \cdot 1.225 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.3048m}}$$

$$P = 254.7.64W$$

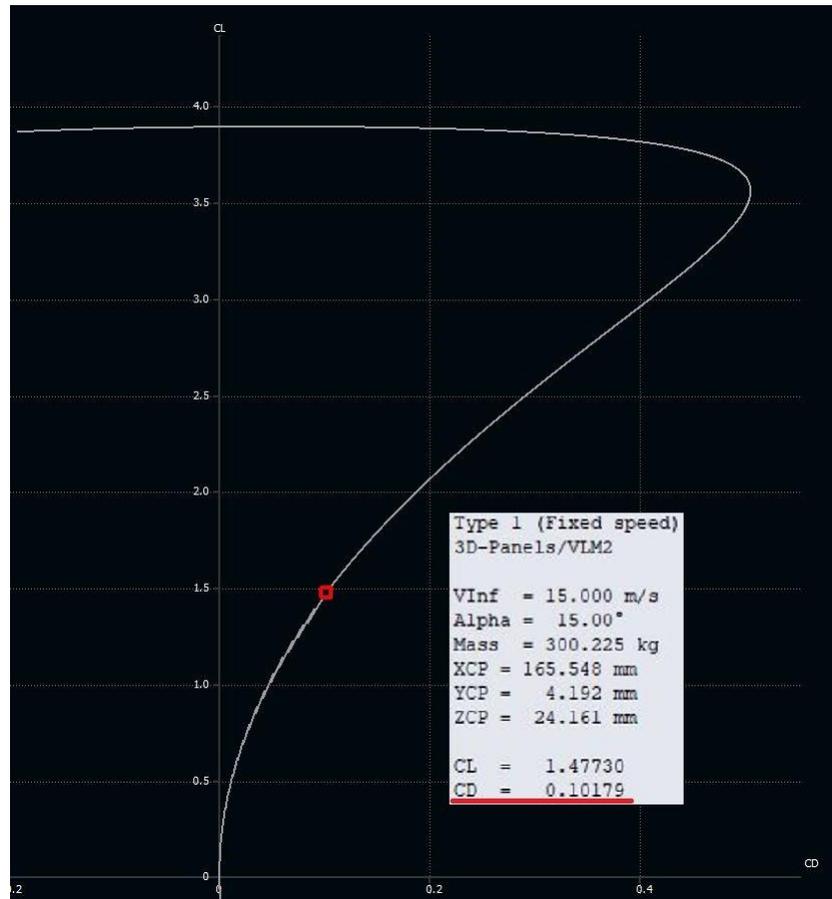
6.2.4. Diseño de compartimiento para paquetería

Como se definió en el punto 6.2.1, la propuesta seleccionada planteaba el diseño o implementación de un compartimiento que iría anclado en la parte baja del fuselaje en la unidad de vuelo. Este compartimiento tiene que cumplir con características que favorezcan lo más posible la sustentación de la unidad de vuelo, por lo que debe ser liviano, pero a la vez resistente y de igual forma no quitarle aerodinámica y no aumentar la resistencia al viento

de resistencia [C_D] nos lo brinda de igual manera el software XFLR5 como se puede ver en la Figura 27.

Figura 27

Gráfico coeficiente de sustentación vs. coeficiente de resistencia



Nota: Coeficiente de resistencia $C_D = 0.10179$.

Una vez obtenidos todos los valores, estos los reemplazamos en la ecuación 5 para obtener el valor de la fuerza de resistencia.

$$D = 0.5 \cdot 1.225 \text{Kg/m}^3 \cdot 15^2 \text{m/s} \cdot 0.4368 \text{m}^2 \cdot 0.10179$$

$$D = 6.1274 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$$

Una vez calculada la fuerza de resistencia, podemos decir que la unidad de vuelo necesita

una fuerza de empuje igual a $6.1274N$ o superior para poder contrarrestar la inercia y mantenerse en un vuelo nivelado a una velocidad constante.

$$T = 6.1274 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

6.2.3. Diseño de acoples para hélices de vuelo vertical

Para poder obedecer a la propuesta seleccionada en puntos anteriores, lo primero y fundamental es pensar en una forma de hacer que la unidad de vuelo pueda ser VTOL, para eso se implementarán 4 hélices, respectivamente dos en cada ala. Por lo que era necesario diseñar un método de sujeción para colocar los motores y las hélices que lo permitirían despegar y aterrizar de forma vertical. Se diseñaron unos clips alares que lo que hacen es abrazar todo el perfil aerodinámico dejando un agujero en la parte superior para poder sujetar un tubo redondo; estos clips no pueden abrazar toda el ala, ya que están los alerones al final del perfil aerodinámico en el borde de fuga. Se optó por usar el mismo perfil aerodinámico, pero con una cuerda mayor y con el agujero igual al del perfil aerodinámico para que pueda deslizarse sobre el ala, con la ayuda de dos pernos hexagonales con vástago y una tuerca que va por dentro del tubo para mantenerlo fijo. La Figura 28 muestra el clip alar diseñado para el ala izquierda, ya que al tener un diedro positivo es necesario diseñar dos clips en espejo.

Figura 28

Clip alar con forma del perfil NACA 2412

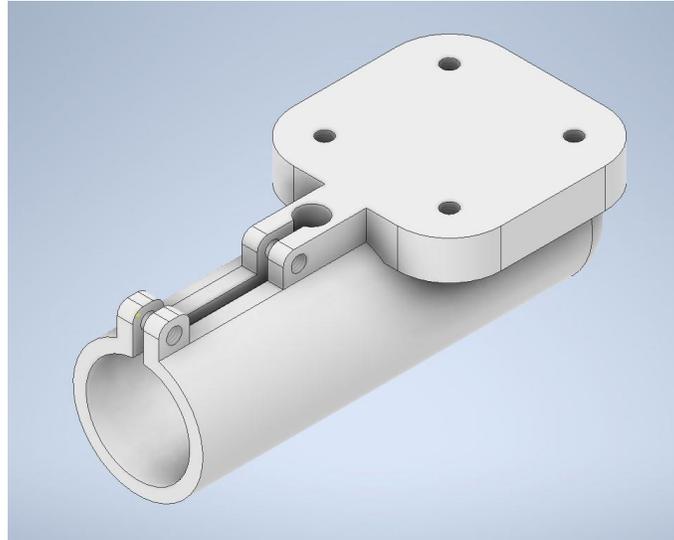


Nota: Autoria propia.

Se escogió tubos redondos de 20mm de diámetro exterior y 1.5mm de espesor para colocar en sus extremos respectivamente los dos motores, pero al ser tubos redondos y los motores necesitar una superficie plana para poder ser atornillados, era necesario diseñar una pieza que cumpliera con esta función. Por lo que se diseñó unas tapas para los extremos de los tubos y así de paso evitamos que el aire ingrese por el interior del tubo. Estas tapas cuentan con un método de sujeción a presión por medio de dos tornillos M3 en la parte superior y sobre la tapa redonda se diseñó una superficie plana como lo muestra la Figura 29 con cuatro agujeros para poder sujetar el motor por medio de tornillos.

Figura 29

Tapa para sujeción de motor

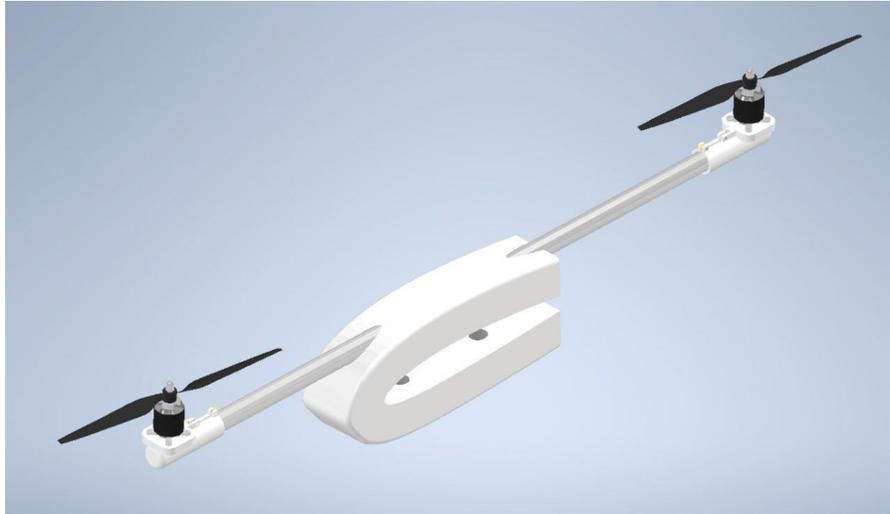


Nota: Autoria propia.

Con los clips alares diseñados, los tubos seleccionados y las tapas para poder sujetar los motores, lo único faltante fue ensamblar todo y obtener el kit final con el cual podemos transformar la unidad de ‘bueno’ en un dispositivo VTOL, como se puede observar en la Figura 30.

Figura 30

Montaje de helice



Nota: Autoria propia.

Es necesario calcular la fuerza y potencia que necesitarán cada uno de los motores para que la unidad de vuelo pueda elevarse sin problemas; para eso es necesario sumar las masas de la unidad de vuelo como tal y de la máxima capacidad de carga en su compartimento. Para eso, primero es necesario calcular el peso total.

$$M_{total} = M_{Propio} + M_{Paquete} \quad (6)$$

Donde:

M_{Propio} Masa unidad de vuelo [kg]

$M_{Paquete}$ Masa del paquete [kg]

Reemplazamos los valores en la ecuación 6.

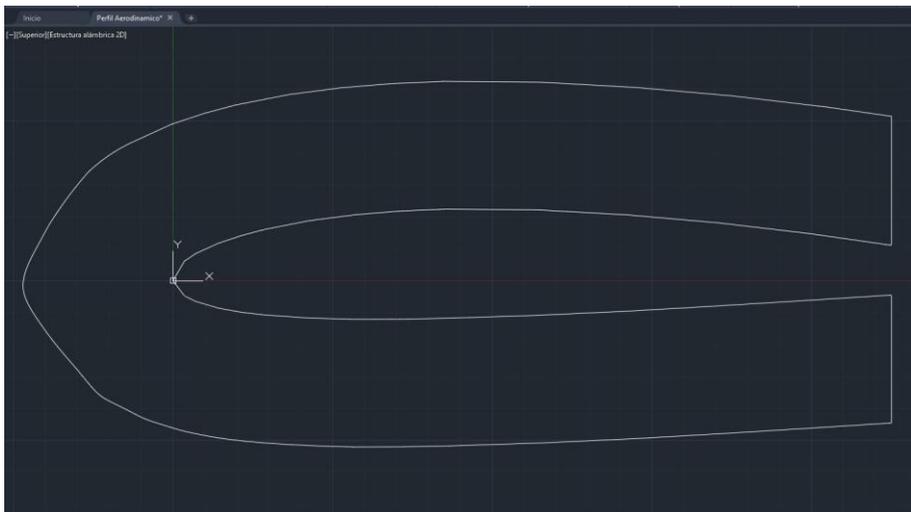
$$M_{total} = 0.159kg + 9.07kg$$

$$M_{total} = 9.9229kg$$

de la unidad de vuelo; pero a su vez, el volumen de carga debe ser considerable para que se puedan transportar una gran variedad de productos o paquetes. Después de analizar varias propuestas para la forma del compartimiento donde iría almacenando el paquete, se tomó la decisión de que la forma del mismo tendría que ser similar o lo más parecida posible a la de un perfil aerodinámico para que de esta forma la resistencia al aire no sea tan grande e impida la sustentación de la unidad de vuelo, ¿qué mejor perfil aerodinámico que el mismo NACA 2412, ya que es el mismo usado en el perfil alar de la unidad de vuelo; al ser el mismo perfil aerodinámico, el comportamiento con respecto al flujo de aire será el mismo o similar? En la Figura 26 se logra apreciar el perfil aerodinámico dibujado en 2D, lo único necesario fue agrandarlo para obtener el mismo perfil aerodinámico, pero con diferente cuerda, como se puede observar en la Figura 31.

Figura 31

Diseño 2D compartimiento del paquete

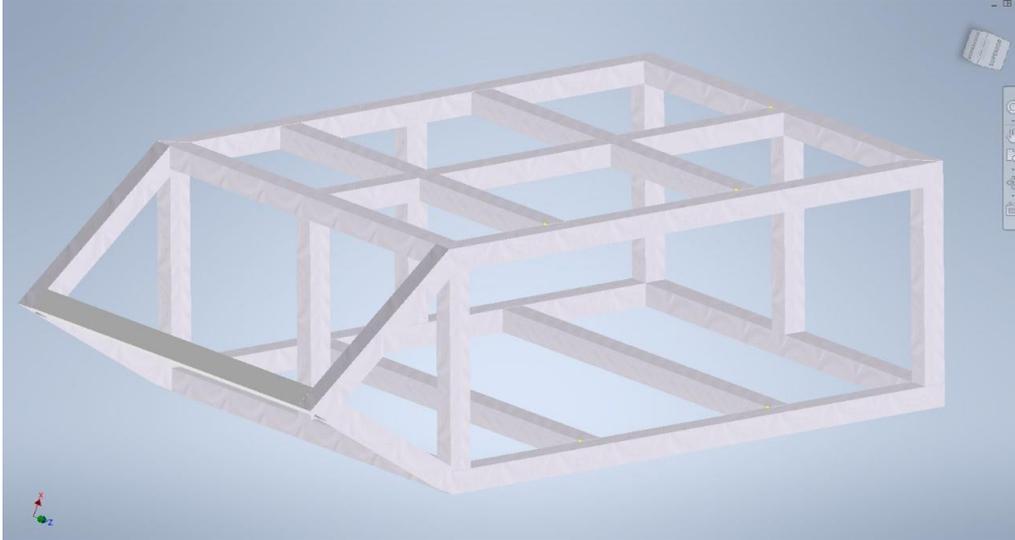


Nota: Autoria propia.

Las medidas que fueron escogidas de la caja interior con base en los cálculos del peso máximo que puede soportar la unidad de vuelo describen una caja rectangular de $170 \cdot 400 \cdot 350\text{mm}$, con una punta al frente para poder rellenar el espacio sobrante y tener de donde agarrar la espuma y luego la fibra de vidrio para dar forma del perfil aerodinámico. La estructura metálica fue diseñada para ser armada y soldada con tubos cuadrados de aluminio de 16mm de largo por 0.9mm de espesor, tal y como lo muestra la Figura 32.

Figura 32

Estructura metálica



Nota: Autoria propia.

La Figura 32 muestra la estructura sobre la cual se asentaría y aterrizaría la unidad de vuelo y, como ya fue mencionado, la parte externa sería rellena con espuma y finalmente capas de fibra de vidrio, pensando en que tiene que ser lo más liviana posible para no sumar más peso a la unidad de vuelo. Sin embargo, es necesario diseñar un método de sujeción para agarrar dicha estructura metálica y a su vez la espuma con la fibra de vidrio con respecto al fuselaje de la unidad de vuelo. Por lo que se fue necesario, una vez más, revisar los métodos de sujeción que ya se han empleado en unidades de vuelo y, tomando en cuenta las estructuras metálicas que tienen los hidroaviones con flotadores, se optó por la opción de usar tubos redondos y no cuadrados para no perder aerodinámica en la unidad de vuelo. Se colocaron dos tubos circulares de 16mm de diámetro exterior y 2mm de espesor. Estos tubos son fijados tanto a la estructura metálica como al fuselaje por abrazaderas circulares que a su vez van sujetadas a la estructura metálica y al fuselaje con tornillos M5, mientras que sujetan el tubo redondo con tornillos prisioneros de igual forma M5, como se puede ver en la Figura 33.

Figura 33

Método de sujeción para compartimiento y fuselaje

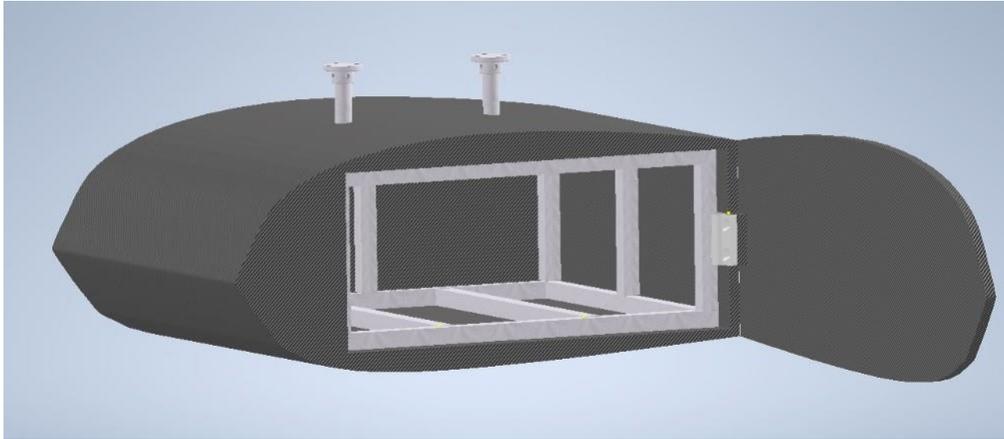


Nota: Autoria propia.

Tomando en cuenta que para una unidad de vuelo donde su peso esté distribuido de manera correcta, el centro de masa y centro de gravedad estaría al 30 % de distancia desde el borde de ataque, por lo que se usó este mismo principio para colocar los tubos de la sujeción del compartimiento y el fuselaje. Finalmente, se implementó una bisagra para poder abrir la puerta del compartimiento y así poder acceder al interior del mismo, obteniendo finalmente el compartimiento y su sujeción con el fuselaje que se puede observar en la Figura 34.

Figura 34

Compartimiento donde se almacena el paquete



Nota: Autoria propia.

Después de haber diseñado los acoples para las hélices y el compartimiento para el paquete, es necesario tomar en cuenta estos nuevos elementos para el cálculo de un nuevo motor en la hélice frontal de la unidad de vuelo. Para esto consideramos que la fuerza de resistencia calculada fue de $D = 6.1274N$, pero a esta fuerza de resistencia es necesario sumarle la resistencia parásita, la cual es generada por el compartimiento donde será colocado el paquete.

Resistencia parasita [$D_{parasita}$]

$$D_{parasita} = 0.5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot C_D \quad (9)$$

Donde:

C_D Coeficiente de resistencia

ρ Densidad del aire [Kg/m^3]

v Velocidad [m/s]

A Área de contacto [m^2]

Los valores de la densidad del aire, velocidad y coeficiente de resistencia no cambian, el único valor que necesita ser calculado es el área de contacto del compartimiento del paquete;

para esto únicamente aplicamos la fórmula de área de un rectángulo, ya que visto desde el frente el compartimiento se interpreta como un rectángulo, por lo que únicamente es necesario multiplicar el largo por el alto, obteniendo un valor de área igual a $0.0858m^2$. Estos valores los reemplazamos en la ecuación número 9 para obtener la resistencia parásita.

$$D_{parasita} = 0.5 \cdot 1.225kg/m^3 \cdot 15^2m/s \cdot 0.0858m^2m^2 \cdot 0.10179$$

$$D_{parasita} = 1.203 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

Para obtener la resistencia total es necesario sumar tanto la resistencia inducida como la resistencia parásita.

$$\begin{aligned} D_{total} &= D_{inducida} + D_{parasita} \\ D_{total} &= 6.1274 \frac{kg \cdot m}{s^2} + 1.203 \frac{kg \cdot m}{s^2} \\ D_{total} &= 7.3309 \frac{kg \cdot m}{s^2} \end{aligned}$$

A una velocidad constante es necesario que la fuerza de empuje sea igual o mayor que la fuerza de resistencia, en este caso mayor o igual a $7.3309N$ para contrarrestar la resistencia y mantener el vuelo nivelado. Es necesario calcular la nueva fuerza que necesita el motor de la hélice para garantizar el empuje neto de los $7.3309N$ para esto utilizamos la siguiente fórmula.

$$F_m = \frac{T}{\eta_h \cdot \eta_m} \quad (10)$$

Donde:

T Fuerza de empuje [N].

η_h Eficiencia de la hélice [%].

η_m Eficiencia del motor [%].

El valor de la fuerza de empuje ya lo calculamos y es igual a $T = 7.3309N$, y los valores de las eficiencias se considerarán como valores típicos donde la eficiencia de la hélice generalmente está entre 0.7 y 0.85 para hélices bien diseñadas y el valor de la eficiencia del motor, para motores eléctricos, está entre 0.8 y 0.9. Estos valores los reemplazamos en la ecuación 10 y obtenemos la fuerza que necesita el motor para romper la inercia y garantizar el empuje de

los $7.3309N$ correspondientes a la fuerza de resistencia.

$$F_m = \frac{7.3309N}{0.85 \cdot 0.9}$$

$$F_m = 9.5828N$$

También es importante calcular el valor de la potencia que necesitará el motor eléctrico sin escobillas, para esto usamos la siguiente fórmula de potencia

$$P = \frac{T \cdot v}{\eta_h \cdot \eta_m} \quad (11)$$
$$P = \frac{7.3309N \cdot 15 \frac{m}{s}}{0.85 \cdot 0.9}$$
$$P = 143.74W$$

6.3. Estudio de costos unitarios para la fabricación del fuselaje de una unidad de vuelo de ala fija para la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso

6.3.1. Costos unitarios

Una vez terminado el diseño de las piezas que permitirán que la unidad de vuelo pueda volar y realizar la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso, es necesario saber el coste total por las piezas, materiales y mano de obra para poder realizar la correcta construcción de la unidad de vuelo. Por lo que este análisis se dividirá en tres grupos:

1. Materiales

En este apartado únicamente se tomaron en cuenta la materia prima a usarse en la adaptación de la unidad de vuelo de ala fija, con sus respectivos precios unitarios y totales, como lo indica la Tabla 2.

Tabla 2

Materiales y materia prima a usarse.

Tipo Material	Descripción	Cantidad	Costo unitario [USD]	Costo total [USD]
Tubo redondo	20 mm Øext. por 1.5 mm espesor	1.4 m	7 c/metro	9.8
Perno Allen	DIN 912 de 3/8	4	0.35	1.4
Tuerca hexagonal	SAE J995 de 3/8	4	0.06	0.24
Tornillo	M3 con tuerca	30	0.07	2.10
Motor sin escobillas	Sunny Sky 2814 X2814 900KV KV1100 KV1250 3-5	4	0	120
Motor sin escobillas	Makeflyeasy 2820 kv550	1	57	57
Tubo redondo	16 mm Øext. por 2 mm espesor	0.144 m	6 c/metro	0.864
Tubo cuadrado	16 mm por 0.9 mm espesor	6.588 m	8 c/metro	52.70
Tornillo	Autorroscante M5	16	0.06	0.96
Tornillo	Prisionero M5	16	0.11	1.76
Bisagras	48 mm x 43 mm	1	1.30	1.30
Destornilladores	Estrella y plano varias medidas	1	10	10
			Valor total [USD]:	258.12

Nota: Costos obtenidos pueden tener una pequeña variación dependiendo el lugar donde se los consulte.

Los valores colocados en la tabla fueron obtenidos con base en una investigación y consulta en ferreterías conocidas en el país, como es el caso de Kywi (2021) y *La Casa del Perno RMGR Cia Ltda* (2025), además de que los motores y materiales netamente usados en unidades de vuelo fueron consultados en la pg. web de *UAVMODEL* (2023), que es una tienda especializada en componentes y materiales para drones, UAV de ala fija y VTOL.

2. Mano de Obra

Una vez obtenido el coste de los materiales es necesario saber el coste de la mano de obra por la construcción y armada de las diferentes partes que componen la adaptación de esta unidad de vuelo.

Tabla 3

Mano de obra por hora de trabajo.

Actividad	Descripción	Tiempo	Costo por hora [USD]	Costo total [USD]
Corte de tubos	Corte de tubos en sus dimensiones específicas.	60 min	5	5
Taladrado de tubos	Taladrado de huecos en tubos para los tornillos.	30 min	5	2.5
Soldar tubos (TIG)	Soltar tubos para estructura metálica del compartimiento.	165 min	5	13.75
Armada estructura metálica	Colocar tornillos y armado completo de la estructura.	30 min	5	2.5
Forjar fibra de vidrio	Forjada fibra para cubrir estructura metálica y dar forma.	5 horas	5	25
			Valor total [USD]:	48.75

Nota: Los costes de mano de obra pueden variar dependiendo de la experiencia y lugar donde se los realice.

Los costes colocados en la tabla fueron establecidos con base en un soldador profesional con experiencia que adicionalmente tiene conocimientos del trabajo en fibra de vidrio y que recibe un salario mensual de aproximadamente 700 USD.

3. Máquinas y Herramientas

Finalmente, para acabar con el armado de la unidad de vuelo, son necesarias piezas que no se pueden fabricar o conseguir de forma convencional gracias a su forma y diferentes medidas, por lo que estas piezas, de igual forma, al necesitar que sean resistentes y livianas, serán impresas en 3D y se tomará en cuenta el tiempo de impresión, el material y el coste final.

Las piezas se mandaron a cotizar la impresión con otra empresa, por lo que no es necesario tomar en cuenta el valor de la impresora 3D y el valor del material usado. El material con el que se calcularon los tiempos y los costes de impresión es un nylon con fibra de carbono marca Creality.

Tabla 4

Piezas impresas en 3D.

Pieza	Cantidad	Tiempo Impresión por Unidad	Costo unitario [USD]	Costo final [USD]
Soporte de motor	4	2.48 h	1.24	4.96
Clip alar derecho	1	48.32 h	24.16	24.16
Clip alar izquierdo	1	48.32 h	24.16	24.16
Unión tubo redondo	4	0.98 h	0.49	1.96
			Valor total [USD]:	55.24

Nota: Los valores pueden variar dependiendo del tipo de impresora que se use y el valor de impresión por hora que se tenga configurado.

6.3.2. Costos totales

Una vez estimados los costos unitarios tanto en materiales, mano de obra y equipos o herramientas utilizadas, únicamente queda sumar los valores.

Tabla 5

Costos Totales.

Grupo	Descripción	Costo [USD]
Materiales	Materia prima a usarse en la fabricación.	258.12
Mano de obra	Preparación y armado de las estructuras que necesitan de la mano de obra humana	48.75
Máquinas y herramientas	Piezas que no podían ser obtenidas de manera convencional y se necesitaba la ayuda de una máquina.	55.24
Valor total [USD]:		362.11

Nota: Valor aproximado de construcción.

7. Resultados

7.1. Análisis del estudio del arte, tecnologías y parámetros establecidos para la unidad de vuelo de ala fija

Como se pudo observar en la sección 6.1, el uso de unidades de vuelo de ala fija ha crecido bastante en los últimos años con diferentes propósitos, entre ellos la entrega de paqueterías, comida, medicinas o incluso productos de consumo masivo. Cada una de las empresas que se analizó y estudió adaptaron o diseñaron sus unidades de vuelo en función de los recursos, espacio y presupuesto que tenían, obteniendo una gran cantidad de variantes en unidades de vuelo de ala fija que ahora mismo están realizando entregas alrededor del mundo. Aerialoop, al ser una empresa quiteña que ya está trabajando con sus unidades en la capital del país, fue la empresa en quien más se realizó un estudio a fondo, ya que sus condiciones de vuelo y diseño son los más parecidos, por no decir los mismos, a los que íbamos a usar y adaptar en nuestra unidad de vuelo. El área de mecánica de una Universidad Politécnica Salesiana diseñó y construyó una UAV de ala fija con un perfil aerodinámico NACA 2412, con características similares a la del modelo usado por la empresa Aerialoop, por lo que esa aeronave fue seleccionada para trabajar en la adaptación. Las demás empresas estudiadas contaban con sus fuselajes más amplios, en donde llevaban los paquetes en su interior o incluso algunas

implementaban sistemas de catapultas para el despegue de las mismas, lo que dificultaba aún más el poder adaptar esos sistemas a la unidad de vuelo sobre la cual se iba a trabajar. Es por eso que en el punto 6.2.1 se selecciona la propuesta II, donde se plantea una unidad de vuelo VTOL con la implementación de 4 motores para su despegue vertical y la implementación de un compartimento sujetado por debajo del fuselaje donde iría almacenando el paquete a entregarse. Gracias a esto, sería posible la eliminación del tren de aterrizaje y el diseño de una unidad de vuelo similar a la usada por la empresa Aerialoop en la ciudad de Quito, pero con la diferencia de que las condiciones de vuelo y análisis aerodinámicos serían los mismos ya usados y realizados por los estudiantes de mecánica antes de realizar la fabricación de la unidad de vuelo, ya que tanto el fuselaje como el perfil aerodinámico no sufrirían cambios.

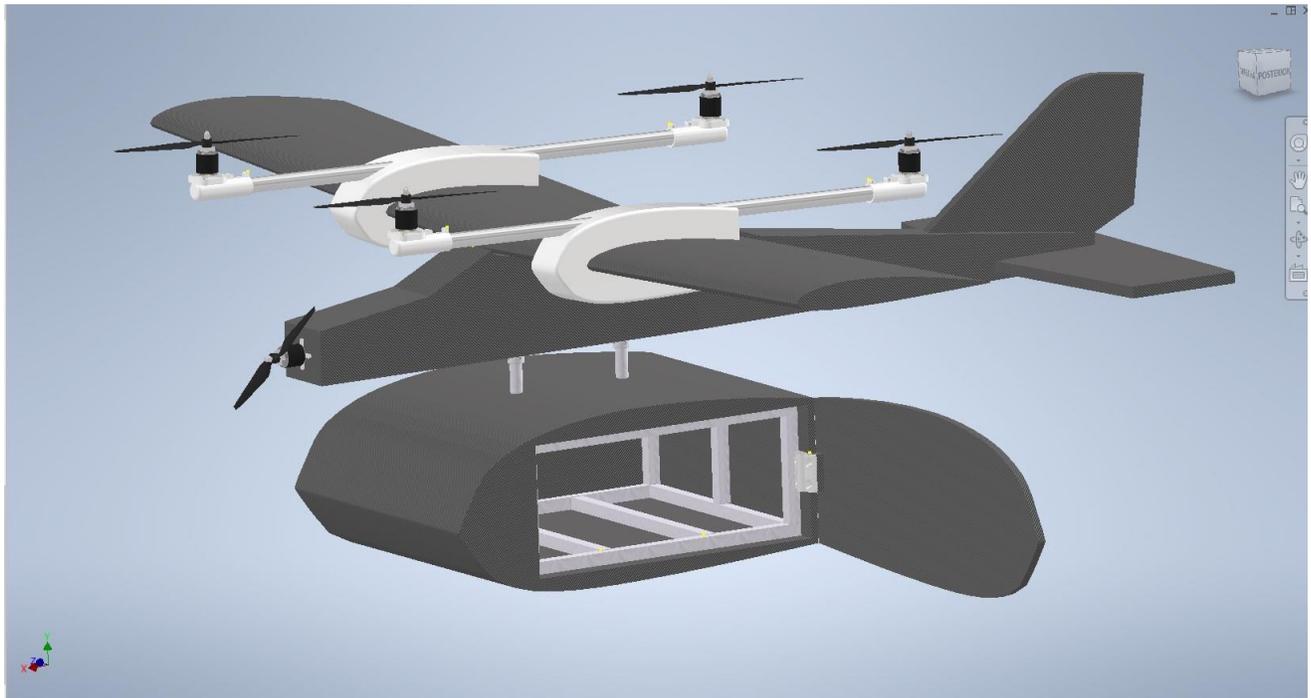
7.2. Diseño y adaptación del fuselaje para la unidad de vuelo seleccionada

La elección del mismo perfil aerodinámico para el diseño de los clips alares y de la caja donde iría almacenando el paquete fue un acierto, ya que de esta forma evitamos realizar un nuevo análisis aerodinámico, en caso de que se decida usar otro perfil aerodinámico o se decida usar otro método de sujeción para los tubos de los motores o incluso para el compartimiento del paquete; sin embargo, si es posible que usando otro perfil aerodinámico para estas piezas que complementa al NACA 2412, se logre obtener un mejor resultado en cuanto a las cargas y fuerzas soportadas por la unidad de vuelo, o incluso ya con este estudio iniciado diseñar nuevamente otra unidad de vuelo con diferentes perfiles aerodinámicos que se complementen uno a otro y así lograr un mejor desempeño para el fin que se quiere lograr con este proyecto. En el punto 6.2.2 se determina que la masa máxima soportada por la unidad de vuelo es de 9 kg, lo que se podría considerar una masa bastante aceptable. Sin embargo, el precio y las características de los motores necesarios para que esta unidad de vuelo trabaje en buenas condiciones son un poco escasos, por lo que sería una buena idea considerar este como un valor máximo de masa, pero disminuirlo dependiendo de la aplicación o el tipo de paquete que se vaya a ocupar. Una vez diseñada la unidad de vuelo, se puede decir que cumple con las características necesarias para poder hacer entrega de todo tipo de paquetes, como puede ser alimentos, productos de consumo masivo, mensajería en general o incluso la que desde mi punto de vista sería su mejor aplicación, medicinas o productos de salud que no dependan de un control estricto de temperatura o almacenamiento. Por lo que tranquilamente la masa soportada podría bajar y usar una de 5 kg, que sería más que suficiente para transportar paquetes y a su vez la potencia y fuerza que necesitaban los motores para levantar ese peso y poder volar sin problemas. La cantidad de motores disponibles sería más amplia, lo que incluso

también ayudaría y disminuiría el coste de fabricación, ya que se podría acceder a motores de menor costo. El diseño final obtenido, como se puede ver en la Figura 35, muestra un sistema modular donde fácilmente es posible desmontar las partes implementadas, como con los clips de las alas y la caja de puntería. Esto con el fin de poder facilitar los mantenimientos o el cambio de algún componente en caso de alguna avería o problema.

Figura 35

UAV de ala fija VTOL para entrega de paquetería en zonas de difícil acceso



Nota: Unidad de vuelo de ala fija VTOL

El compartimento de la unidad de vuelo cuenta con un volumen de 25591.294cm^3 y al tener una estructura metálica de tubos de aluminio es liviana, pero a la vez resistente, la forma del compartimento es parte de la parte frontal de un perfil aerodinámico NACA 2412, pero con una cuerda mucho mayor, por lo que no le quita aerodinámica a la unidad de vuelo, ya que se comporta de igual manera que sus alas y podría trabajar sin ningún problema bajo las mismas condiciones de vuelo; sin embargo, al ser cortado hay que tener cuidado con las condiciones de vuelo y al ángulo de ataque al que se va volando la unidad de vuelo para evitar entrar en pérdida, se recomienda no superar el ángulo de ataque igual a 15 grados, ya que fue

el que se usó para calcular los valores máximos de la unidad de vuelo.

7.3. Evaluación de costos para la fabricación de la adaptación del fuselaje

El presente informe detalla los costos estimados asociados con las actividades clave de la fabricación de la adaptación del fuselaje para una unidad de vuelo de ala fija no tripulada, destinada a la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso.

Los costos de los materiales en general dieron un valor de 258.12 USD donde los motores y los tubos de aluminio son los materiales de mayor costo, los tubos por la cantidad y los motores por sus características basados en los cálculos realizados de fuerza y potencia. El costo de los tubos puede tener una mínima variación dependiendo del lugar donde se los adquiera y también dependiendo del tipo de aluminio que se escoja, mientras que los motores el valor puede llegar a variar dependiendo de las características que estos mismos tengan, en caso de que se decida cargar un peso por debajo de los 9kg la fuerza y potencia de los motores va a disminuir por lo que había una mayor cantidad de opciones a elegir y una disminución en el valor total de los materiales. Con respecto a los tornillos y pernos, los valores son estándar en la mayoría de ferreterías conocidas en el país, por lo que el precio no varía significativamente. En la mano de obra es donde el valor puede llegar a tener una variación considerable, ya que depende mucho del lugar y de la persona que lo realice, ya que una persona con mayor experticia y conocimiento en corte y soldadura de tubos de aluminio se tardaría menos en realizar su mano de obra, pero a su vez el precio aumentaría y de igual forma a la hora de forjar la fibra de vidrio, ya que ese es un proceso netamente artesanal y el que más tiempo va a consumir, depende mucho de la experticia de la persona que lo haga para poder dar con la forma del NACA 2412 lo más rápido posible y de igual forma los procesos de secado son bastante amplios si no se tiene un buen tratamiento térmico; sin embargo, el costo colocado de 48.75 USD no me parece un precio elevado para conseguir a cambio una caja bastante sólida, liviana y resistente.

Por último, las piezas que serán impresas en 3D, los precios van a variar dependiendo del tipo de impresora que se use. El material que debe usarse es el nylon de fibra de carbono, ya que estas partes van a tener que soportar la fuerza de los motores para que la unidad de vuelo pueda despegar y no tenga problemas. De igual forma, el valor de 55.24 USD me parece el correcto por el tipo de producto que estás adquiriendo y las características que te va a dar al no ser muy pesado, pero sí resistente.

El valor total de 362.11 USD presentado en la tabla 5, junto con los otros valores ya mencionados de igual forma, es un costo que, en comparación con otros valores del mercado

por un producto similar, está por debajo de los normales, lo que lo hace rentable. Actualmente, hay páginas en internet que ya venden un kit que permite transformar una unidad de vuelo de ala fija en un sistema VTOL, pero estos kits están aproximadamente por los 00 USD y no cuentan con el compartimiento para poder llevar paquetería; sin embargo, depende mucho el uso o la finalidad que se le vaya a dar a la unidad de vuelo, ya que, como ya fue mencionado anteriormente, se puede bajar la carga máxima, causando que el costo total de igual forma disminuya por el valor de los motores, que son de los materiales más caros en la implementación de esta unidad de vuelo VTOL.

8. Cronograma

Tabla 6

Cronograma de actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES																										
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				HORAS
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Revisar el estado de la técnica sobre el diseño de una unidad de vuelo de ala fija para la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso.	Revisión bibliográfica sobre posibles UAV de ala fija a usarse.	X	X																							30
	Revisión de normativas y regulaciones para UAV de ala fija en el Ecuador.	X	X	X																						10
	Elección final de UAV de ala fija para diseño de su fuselaje en base a los análisis e investigaciones realizadas.		X	X	X																					20
Diseñar una propuesta para adaptar el fuselaje de una unidad de vuelo de ala fija no tripulada seleccionada aplicado a la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso.	Elección de propuesta final a implementar en unidad de vuelo.					X	X	X	X																	40
	Cálculo de fuerzas y pesos máximos soportados.								X	X	X	X	X													50
	Diseño de clip alar y sistema VTOL de la unidad de vuelo.													X	X	X	X	X	X							80
	Diseño de compartimento para paquetería.														X	X	X	X	X	X						80
Determinar costos unitarios requerido para la fabricación de la propuesta de adaptación del fuselaje para una unidad de vuelo de ala fija no tripulada destinada a la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso.	Estimación de costos para piezas y materiales requeridos para la construcción de la unidad de vuelo.																						X			10
	Estimación de costos de fabricación, mano de obra, maquinaria y gastos adicionales.																							X		10
	Determinación de costes totales para implementación del diseño.																								X	10
	Redacción de documento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	60
Total de horas empleadas																							400			

Nota: La tabla presenta las actividades para cumplir con los objetivos planteados.

9. Presupuesto

Esta sección se enfocará a presentar un presupuesto para el estudio y diseño de la propuesta de adaptación del fuselaje en aeronaves de ala fija no tripuladas para la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso. El presupuesto comprende todos los costos relacionados con la ingeniería para el desarrollo del fuselaje, tipos de unidades de vuelo, diseños, etc

9.1. Coste personal

Debido a que el salario de un ingeniero mecánico en Ecuador en promedio es 2500 USD. Estableciendo una jornada laboral de 8 horas al día, se puede decir que en un año laborará 2080 horas. Gracias a estos datos, podemos decir que el valor por hora es de aproximadamente 15 USD. Tomando en cuenta que el autor del estudio aún es estudiante de ingeniería mecatrónica, se puede establecer un valor por hora de 5 USD.

9.2. Talento humano

Tabla 7

Recurso de talento humano.

Cargo	Nombre	Costo hora	horas al mes	Total de horas	Costo total
Tutor	Fran Reinoso	15 USD	8	48	720 USD
Autor 1	Mateo Orellana	5 USD	–	400	2000 USD

Nota: En la tabla se observa el costo de las horas de trabajo tanto para el tutor como para el autor.

9.3. Recursos materiales

Tabla 8

Recursos.

Denominación	Costo hora [USD]	Horas	Total [USD]
Investigación de antecedentes de unidades de vuelo	5	30	150
Revisión de normativas y regulaciones para UAV	5	10	50
Elección de UAV de ala fija	5	20	100
Elección de propuesta a implementarse	5	40	200
Cálculo de fuerzas y cargas	5	50	250
Diseño de clip y sistema VTOL	5	80	400
Diseño de compartimento	5	80	400
Licencias para el diseño mecánico 2D y 3D	1		70
Licencias para simulación en XFLR5	1		50
Estimación de costos para piezas y materiales	5	10	50
Estimación de costos de fabricación, mano de obra, etc	5	10	50
Determinación de costos totales	5	10	50
Redacción del documento	5	60	300

Nota: Valor total de 2120 USD.

10. Conclusiones

- A partir del análisis del estado de la técnica, se ha identificado que las aeronaves de ala fija no tripuladas representan una alternativa eficiente para la entrega de paquetería en zonas de difícil acceso, debido a su mayor autonomía de vuelo y capacidad de carga en comparación con los drones multirrotores. Sin embargo, el diseño de estas unidades debe considerar múltiples factores técnicos, como la aerodinámica del fuselaje, la integración de sistemas de propulsión eficientes y la optimización del peso estructural. Además, la incorporación de tecnologías VTOL ha demostrado ser una solución viable para superar las limitaciones en el despegue y aterrizaje en terrenos irregulares, lo que amplía significativamente las aplicaciones de estas aeronaves en entornos de difícil acceso. Se concluye que la investigación en materiales compuestos, el desarrollo de algoritmos de navegación autónoma y la mejora en la eficiencia energética de los motores eléctricos sin escobillas son áreas clave que deben seguir siendo exploradas para potenciar el rendimiento de estas unidades de vuelo.
- El diseño del fuselaje adaptado para la aeronave de ala fija seleccionada ha sido desarrollado con el objetivo de mejorar su funcionalidad en la entrega de paquetería, garantizando una adecuada integración de los sistemas de carga y descarga, estabilidad estructural y eficiencia aerodinámica. Durante el proceso de diseño, se ha priorizado la selección de materiales ligeros y resistentes, como el aluminio y la fibra de vidrio, con el fin de mantener un equilibrio entre peso y resistencia. Asimismo, la configuración del fuselaje ha sido optimizada para minimizar la resistencia aerodinámica y facilitar la maniobrabilidad de la unidad en entornos con condiciones adversas. Se concluye que la implementación de soluciones modulares en el fuselaje puede permitir una mayor versatilidad en la adaptación del diseño para diferentes tipos de carga, lo que representa una ventaja competitiva en la aplicación de estas aeronaves en la logística de transporte de mercancías en regiones de difícil acceso.
- La evaluación de costos unitarios para la fabricación del fuselaje adaptado ha permitido determinar la viabilidad económica del proyecto, considerando los costos de materiales, mano de obra y procesos de manufactura. Se ha identificado que el uso de materiales como el aluminio y la fibra de vidrio representa una opción eficiente en términos de costos y rendimiento estructural. Sin embargo, la manufactura del fuselaje implica una serie de procesos especializados, como el corte y soldadura de tubos, así como el moldeo y recubrimiento con fibra de vidrio, los cuales influyen directamente en los costos finales

del producto. Además, el tiempo requerido para cada una de estas actividades impacta en la estimación del costo de producción.

11. Recomendaciones

- Investigar a fondo las alternativas de materiales para el fuselaje, considerando factores como costo, disponibilidad, resistencia, peso y facilidad de manufactura. En particular, los materiales compuestos avanzados, como la fibra de carbono o polímeros reforzados, pueden ofrecer ventajas en términos de reducción de peso y resistencia. Además, se sugiere seguir optimizando el diseño del fuselaje para mejorar la eficiencia aerodinámica, lo que impactará positivamente en la velocidad, autonomía y capacidad de carga de la unidad de vuelo. Para esto, el uso de simulaciones computacionales y pruebas en túneles de viento será clave en la evaluación de nuevas configuraciones estructurales.
- Mejorar en el sistema VTOL, enfocándose en el equilibrio entre estabilidad y control en vuelo. Un área de interés es el desarrollo de un sistema de control que permita operar los cuatro motores de manera independiente para compensar posibles pérdidas de sustentación. Además, se sugiere explorar la implementación de sistemas redundantes, los cuales ya se utilizan en otras aeronaves no tripuladas a nivel mundial y podrían aplicarse en la unidad de vuelo desarrollada en este estudio para mejorar su seguridad y confiabilidad operativa.
- Analizar el impacto ambiental del uso de UAV de ala fija en la entrega de paquetería, considerando su consumo energético y posibles alternativas sostenibles. Asimismo, es fundamental estudiar las normativas y regulaciones emergentes relacionadas con la operación de estos vehículos en el espacio aéreo, especialmente en zonas de difícil acceso. La interacción con aeronaves tripuladas y la protección del entorno natural deben ser aspectos clave en futuras investigaciones para garantizar la seguridad y viabilidad de estas tecnologías.

Referencias

- Ackerman, E., y Koziol, M. (2019, 04). *In the air with zipline's medical delivery drones*. IEEE Spectrum. Descargado 2024-07-01, de <https://spectrum.ieee.org/in-the-air-with-ziplines-medical-delivery-drones>
- Aerialoop*. (2016). Descargado 2024-07-04, de <https://www.aerialoop.com/>
- Alexander, A. (2021). Diseño de un vehículo aéreo no tripulado (uav) para monitorear los recursos hídricos del parque nacional cajas. *Ups.edu.ec*. Descargado 2025-02-06, de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21338> doi: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21338>
- Anglin, D. (2024, 05). *Arlington to use drones, delivery robots to deliver food to residents in need*. FOX 4 News Dallas-Fort Worth. Descargado 2024-07-05, de <https://www.fox4news.com/news/arlington-robot-drone-delivery>
- Babilonia, J. (s.f.). *Diseño y analisis aerodinamico de un vehiculo aereo no tripulado de ala fija*. Descargado 2025-02-06, de http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/4351/1/Babilonia_2020_TG.pdf
- Babilonia, J. (2020). Diseño y análisis aerodinámico de un vehículo aéreo no tripulado de ala fija. Descargado de http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12744/4351/1/Babilonia_2020_TG.pdf
- Bara, V. (2021, 05). Estudio de un dron dedicado al servicio de mensajería. *Upc.edu*. Descargado 2025-02-06, de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/346214> doi: <http://hdl.handle.net/2117/346214>
- Cabrera, A. (2021). *Diseño de un vehículo aéreo no tripulado (uav) para monitorear los recursos hidricos del parque nacional cajas*.
- Dgac. (2020). Resolución nro. dgac-dgac-2020-0110-r.
- Drew. (2023). *Caso zipline: Autonomía en logística*. Autor. Descargado 2025-02-06, de <https://blog.wearedrew.co/caso-de-estudio/caso-zipline-autonomia-en-logistica>
- Elroy air - chaparral*. (2023). Elroy Air. Descargado 2024-07-05, de <https://elroyair.com/chaparral/aircraft/>
- Espejel, L. M. (2023, 03). *P2 zip, el dron que quiere revolucionar la última milla*. Descargado 2024-07-01, de https://www.foodretail.es/blogs/luis_miguel_espejel/P2-Zip-dron-revolucionara-ultima-milla_7_1752494734.html
- Griselda. (2022, 08). *Número de reynolds: qué es y cómo se calcula | ielogis*. Descargado 2024-04-24, de <https://ielogis.com/numero-reynolds-calculo/>

- Grossman, D. (2016, 05). *Drones are already delivering packages in germany*. Popular Mechanics. Descargado 2024-01-30, de <https://www.popularmechanics.com/technology/robots/a20814/drones-are-already-delivering-packages-in-germany/>
- Karla. (2024, 05). *Zipline. revolución en la entrega de suministros médicos*. Descargado 2025-02-07, de <https://idc.apddrones.com/transporte/revolucion-en-la-entrega-de-suministros-medicos-como-la-tecnologia-esta-cambiando-las-reglas-del-juego/>
- Konrad, A. (2023, 05). *Drone delivery startup zipline boosts valuation to 4.2billion*. *Forbes*. Descargado 2024 – 03 –
- Kywi. (2021). *Kywi – megakywi – ferretería – hogar – construcción*. Descargado 2025-02-03, de <https://www.kywi.com.ec/>
- La casa del perno rmgr cia ltda.* (2025). Descargado 2025-02-03, de <https://casadelperno.com/en/>
- Logístic, C. (2020, 08). *Dhl inicia uso de drones en sus centros logísticos en españa – clúster logístic de catalunya*. Descargado 2025-02-07, de <https://clusterlogistic.org/es/dhl-inicia-uso-de-drones-en-sus-centros-logisticos-en-espana/>
- Luque, L. (2024). *Análisis preliminar del comportamiento dinámico de un ala en régimen subsónico mediante la teoría elemental de vigas*. Descargado 2024-04-30, de <https://e-archivo.uc3m.es/entities/publication/11a76542-8199-4bf7-a8d6-a38ea332812b>
- Luzuriaga, N. (2017). *Análisis del uso de drones en los servicios de entrega dentro de la ciudad de guayaquil*.
- Muñoz, M. (2024). *Fuerzas que actúan en vuelo*. Descargado 2024-04-24, de https://manualvuelo.es/1pbav/13_fuerz.html
- Nieto, C., y Vicuña, A. (2015, 12). *Las tierras y territorios rurales como escenarios funcionales para la práctica de la economía popular y solidaria en ecuador: algunos elementos sobre su uso y aprovechamiento*. *Siembra*, 2, 1-13. Descargado 2025-02-05, de <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/62> doi: 10.29166/siembra.v2i1.62
- Ortiz, A. (2016, 12). *Amazon efectúa su primera entrega con un dron*. Descargado 2025-02-07, de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/tecnologia/6/amazon-efectua-su-primer-entrega-con-un-dron>
- Pozo, A. (2022, 11). *Delivery por drones: el plan de vuelo que trazó la startup de origen ecuatoriana aerialoop*. DF SUD. Descargado 2024-07-05, de <https://dfsud.com/america/delivery-por-drones-el-plan-de-vuelo-que-trazo-la-startup-de-origen>

Rodríguez-Laiz, A. (2018, 03). *Las cuatro fuerzas*. Descargado 2024-04-30, de <https://aertecsolutions.com/2018/03/26/las-cuatro-fuerzas/>

Ríos, R. (2021). Uso de los drones o vehículos aéreos no tripulados en la agricultura de precisión. *Revista Ingeniería Agrícola*, 11 . Descargado 2024-06-24, de <https://www.redalyc.org/journal/5862/586268743010/html/>

Scotland covid-19 response – wingcopter. (2020). Descargado 2024-07-05, de <https://wingcopter.com/covid-response-scotland>

Shah. (2015, 12). *Informe nacional del ecuador tercera conferencia de las naciones unidas sobre la vivienda y el desarrollo urbano sostenible habitat iii*. Descargado de https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/05/Informe-Pais-Ecuador-Enero-2016_vf.pdf

Skyports drone services | expert drone operations. (2024, 03). Descargado 2024-07-05, de <https://skyportsdroneservices.com/>

Sorani, E. (2018, 07). *Prime air y amazon patentan un sistema antisequestro de drones*. DroneEzine. Descargado 2024-01-30, de <https://www.dronezine.it/59644/prime-air-amazon-brevetta-un-sistema-anti-hijacking-del-drone/>

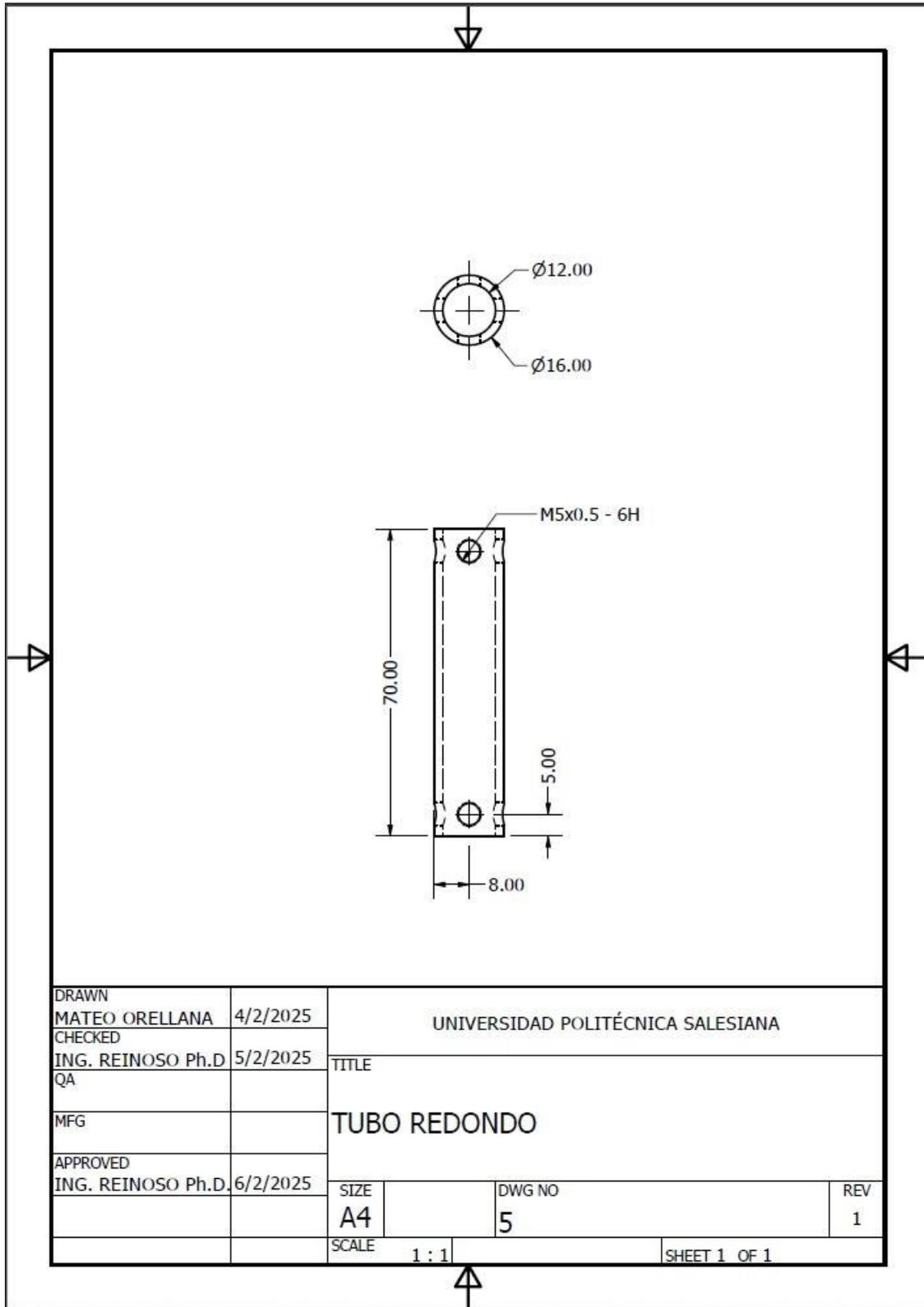
Technology | zipline drone delivery logistics. (2023). Descargado 2024-07-01, de <https://www.flyzipline.com/technology>

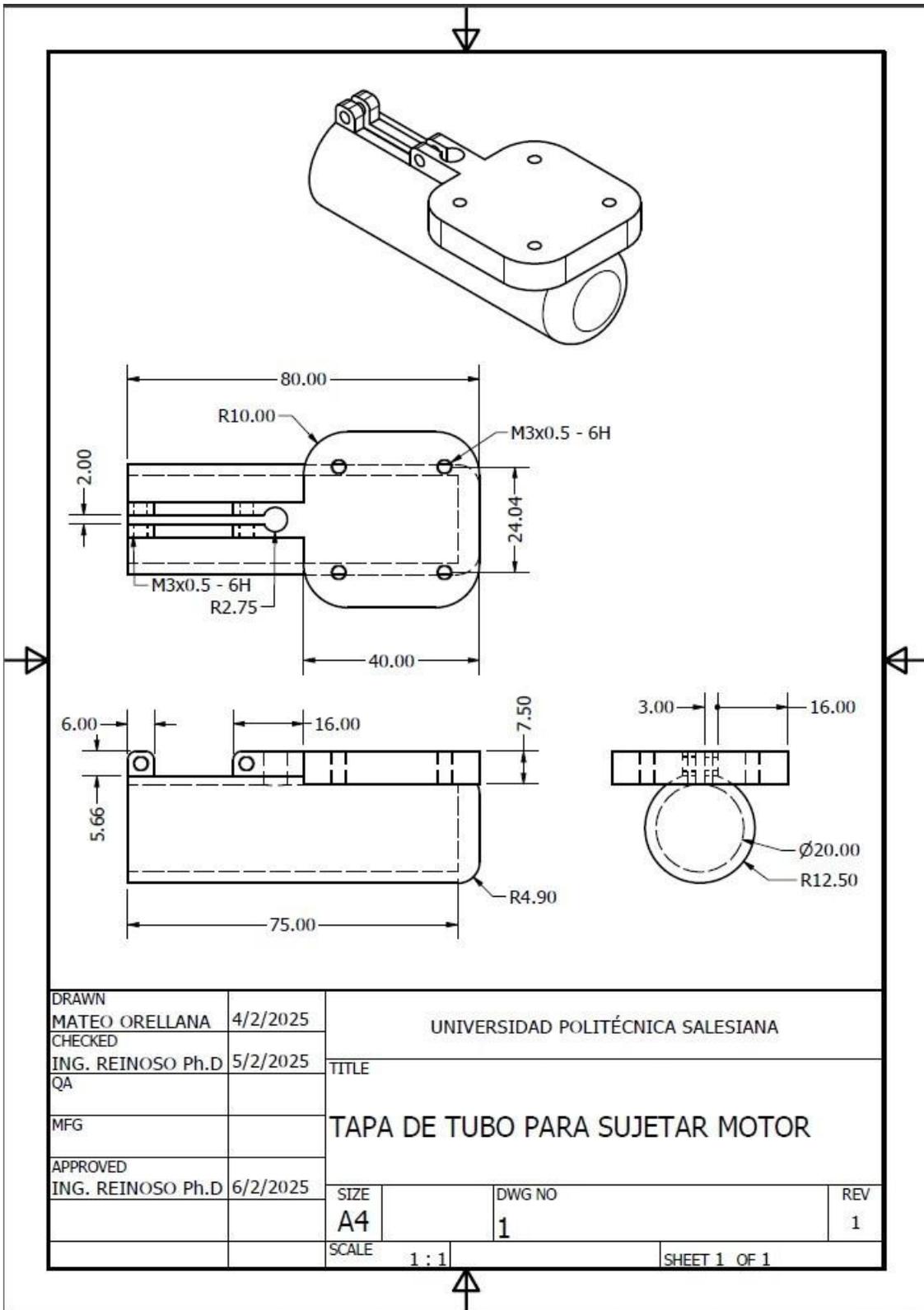
Uavmodel. (2023). Descargado 2025-02-03, de <https://www.uavmodel.com/es>

UPS. (2021). *Drone covid vaccine deliveries*. Descargado 2025-02-07, de <https://about.ups.com/us/en/our-stories/innovation-driven/drone-covid-vaccine-deliveries.html>

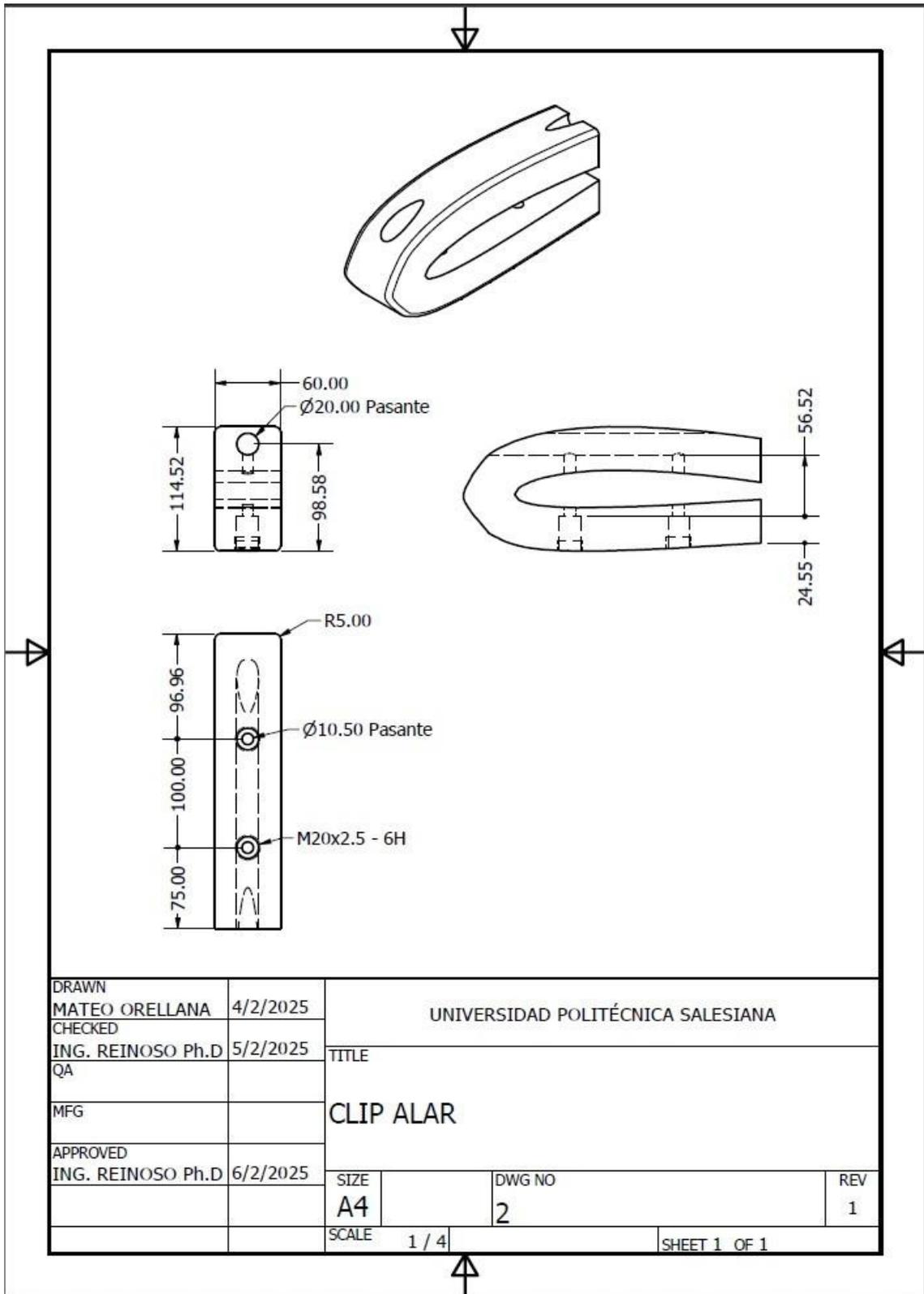
ANEXOS

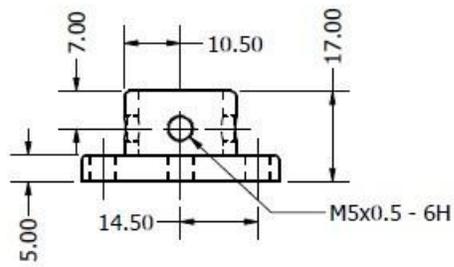
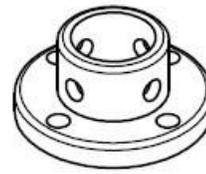
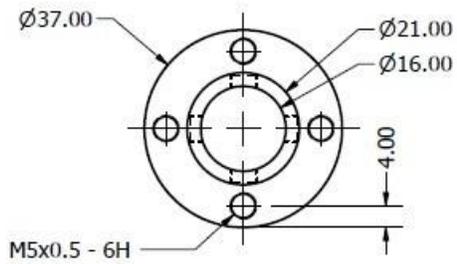
Anexo A: Planos técnicos





DRAWN	MATEO ORELLANA	4/2/2025	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA		
CHECKED	ING. REINOSO Ph.D	5/2/2025	TITLE		
QA			TAPA DE TUBO PARA SUJETAR MOTOR		
MFG			SIZE	DWG NO	REV
APPROVED	ING. REINOSO Ph.D	6/2/2025	A4	1	1
			SCALE	1 : 1	SHEET 1 OF 1





DRAWN MATEO ORELLANA 4/2/2025	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	TITLE		
CHECKED ING. REINOSO Ph.D 5/2/2025				
QA	UNIÓN TUBO REDONDO			
MFG				
APPROVED ING. REINOSO Ph.D 6/2/2025	SIZE A4	DWG NO 3	REV 1	
SCALE 1 : 1		SHEET 1 OF 1		

