
Diseño y fabricación de ala ZAGI, para la implementación de un sistema de Inteligencia Artificial para la Detección de Objetos



PRESENTADO POR:
NÉSTOR CAMILO CHACÓN MEDINA
VALERIA MORALES TRUJILLO

LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Fundación Universitaria Los Libertadores

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Programa de Ingeniería Aeronáutica

Bogotá D.C, Colombia

2022



Página dejada en blanco intencionalmente

LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Diseño y fabricación de ala ZAGI, para la implementación de un sistema de Inteligencia Artificial para la Detección de Objetos

PRESENTADO POR:

NÉSTOR CAMILO CHACÓN MEDINA

VALERIA MORALES TRUJILLO

En cumplimiento parcial de los requerimientos para optar por el título de

Ingeniero Aeronáutico

LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Dirigida por

Didier Aldana Rodríguez

Codirector

Cristian Lozano Tafur

Presentada a

Programa de Ingeniería Aeronáutica

Fundación Universitaria Los Libertadores

Bogotá D.C, Colombia



Página dejada en blanco intencionalmente

LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Nota de aceptación



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

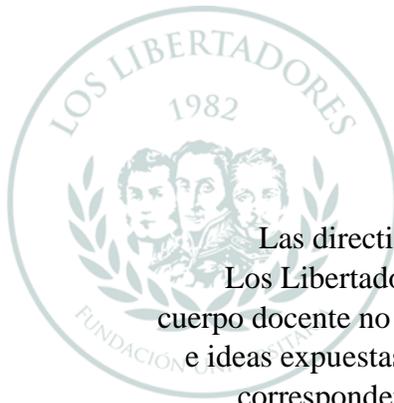
Bogotá D.C, enero de 2023



Página dejada en blanco intencionalmente

LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA



Las directivas de la Fundación Universitaria Los Libertadores, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores y a los resultados de su trabajo.

LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA



Página dejada en blanco intencionalmente

LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Dedicatoria

Dedicamos este trabajo primeramente a Dios quien en todo momento de nuestra formación mantuvo nuestra fe, durante momentos difíciles y de agradecimiento. A nuestras familias quiénes han estado durante cada proceso y avance de nuestra formación como personas y profesionales, así mismo a nuestros maestros y compañeros quienes nos guiaron y apoyaron durante este proceso formativo.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA



Página dejada en blanco intencionalmente

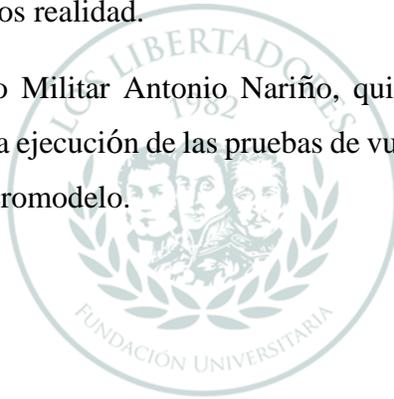
LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Agradecimientos

Agradezco de todo corazón a mi familia por brindarme el apoyo y las herramientas para lograr mis sueños, me siento muy agradecido con mis maestros quienes me permitieron hacer realidad cada idea y proyecto, por cada enseñanza en sus áreas y experiencias personales, ayudándome a encaminar mis sueños y a hacerlos realidad.

Doy gracias también al Colegio Militar Antonio Nariño, quienes con mucha amabilidad nos prestaron sus instalaciones para la ejecución de las pruebas de vuelo y validación de la inteligencia Artificial implementada en el Aeromodelo.



Néstor Camilo Chacón Medina

LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Agradezco a Dios y mi familia por apoyarme en todo momento, sin ellos no habría llegado aquí. También a todos mis compañeros y amigos con los que compartí, que me acompañaron en esta etapa de mi vida y me enseñaron lo que es una buena amistad y un buen equipo. Expreso mi gratitud a las demás personas que intervinieron y ayudaron a la realización de las pruebas de vuelo y el funcionamiento de la IA, así como también a todos los profesores y a la Fundación Universitaria Los Libertadores por enseñarnos con humanidad y pasión esta carrera.

Valeria Morales Trujillo



Página dejada en blanco intencionalmente

LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Tabla de contenido

Capítulo 1	21
1.1 Introducción	21
Capítulo 2	23
2.1 Planteamiento del problema	23
2.2 Objetivos	24
2.2.1 <i>Objetivo General</i>	24
2.2.2 <i>Objetivo Especifico</i>	24
2.3 Justificación	24
Capítulo 3	26
3.1 Antecedentes	26
3.2 Marco Legal	30
3.3 Conceptos Básicos Drones de Ala fija	32
3.3.1 <i>Dron de Ala fija</i>	32
3.3.2 <i>Sistema de Control Aeronaves RPAS</i>	33
3.3.3 <i>Sistema FPV</i>	35
3.4 Conceptos Básicos Inteligencia Artificial	36
3.4.1 <i>Reconocimiento de imágenes</i>	36
3.4.2 <i>Red Neuronal Convolutacional</i>	37
Capítulo 4	41
4.1 Metodología Aplicada	41
Capítulo 5	43
5.1 Diseño Conceptual	43
5.1.1 <i>Requerimientos carrera AESS</i>	43
5.1.2 <i>Tipo de Aeronave</i>	44
5.1.3 <i>Misión</i>	44
5.1.4 <i>Estimación de costo inicial</i>	44
5.2 Diseño Preliminar	45
5.2.1 <i>Elección del Perfil</i>	45
5.2.2 <i>Diseño de la Geometría</i>	48
5.2.3 <i>Cálculos</i>	49
5.2.4 <i>Peso y Balance</i>	54

5.2.5	<i>Centro de Gravedad</i>	56
5.2.6	<i>Simulación Aerodinámica</i>	57
5.2.7	<i>Simulaciones Deformación y Resistencia del material</i>	61
5.2.8	<i>Simulación Estabilidad y Control</i>	63
5.2.9	<i>Simulación Rendimiento Eléctrico</i>	65
5.2.10	<i>Estimación de Costos</i>	67
5.2.11	<i>Elección de Componentes</i>	68
5.3	Diseño Detallado	70
5.3.1	<i>Fabricación Prototipo</i>	70
5.3.2	<i>Vuelos de comprobación</i>	75
5.4	Participación Carrera AESS	76
5.5	Evaluación para la Implementación de la Detección de Objetos	78
5.5.1	<i>Red Neuronal Convolutiva Visión Artificial</i>	80
5.5.2	<i>Error relativo</i>	82
5.5.3	<i>Validación Detección de Objetos</i>	84
Capítulo 6	89
6.1	Conclusiones	89
Bibliografía	91
Anexos	95

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Índice de Figuras

<i>Figura 1: Bomba voladora “Vengeance Weapon 1” [3]</i>	27
<i>Figura 2: Helicóptero no tripulado QH-50. [4]</i>	28
<i>Figura 3: Drones de tipo ala Fija. [10]</i>	33
<i>Figura 4: Sistema de lazo abierto [12]</i>	34
<i>Figura 5: Sistema de lazo cerrado. [13]</i>	35
<i>Figura 6: Reconocimiento de imágenes. [19]</i>	37
<i>Figura 7: Capas de inferencia IA. [17]</i>	40
<i>Figura 8: Metodología Aplicada. [22]</i>	42
<i>Figura 9: Circuito para carrera AESS 2022. [23]</i>	44
<i>Figura 10: Diseño perfiles alares seleccionados</i>	46
<i>Figura 11: Gráfica Cl vs. Alpha</i>	47
<i>Figura 12: Perfil NACA 4415</i>	48
<i>Figura 13: Perfil ZAGI 12</i>	48
<i>Figura 14: Diseño de Ala Zagi</i>	49
<i>Figura 15: Ala Zagi con material</i>	49
<i>Figura 16: Dimensionalidad Ala Zagi [26]</i>	55
<i>Figura 17: Calculadora CG [27]</i>	57
<i>Figura 18: Ala Zagi en software XFLR5</i>	58
<i>Figura 19: Ala Zagi con 10° de ángulo de ataque</i>	58
<i>Figura 20: Ala Zagi con 30° de ángulo de ataque</i>	59
<i>Figura 21: Distribución de sustentación Ala Zagi con 10° de ángulo de ataque</i>	60
<i>Figura 22: Distribución de sustentación Ala Zagi con 30° de ángulo de ataque</i>	61
<i>Figura 23: Deformación producida por fuerzas aerodinámicas</i>	62
<i>Figura 24: Deformación producida por aplicación de una fuerza externa</i>	63
<i>Figura 25: Ala Zagi con masas</i>	64
<i>Figura 26: Simulación de estabilidad Ala Zagi</i>	64
<i>Figura 27: Resultados simulación de rendimiento eléctrico</i>	66
<i>Figura 28: Corte de perfiles</i>	71
<i>Figura 29: Unión planos</i>	71
<i>Figura 30: Refuerzos estructurales</i>	72
<i>Figura 31: Recubrimiento Ala</i>	73
<i>Figura 32: Instalación Electrónica</i>	73
<i>Figura 33: Fabricación Winglets</i>	74
<i>Figura 34: Resultado Final</i>	74
<i>Figura 35: Vuelo de comprobación 1</i>	75
<i>Figura 36: Vuelo de comprobación 2</i>	75
<i>Figura 37: Exposición Carrera AESS Equipo SUE</i>	77
<i>Figura 38: Vuelo Carrera AESS Equipo SUE</i>	77
<i>Figura 39: Premiación Carrera AESS Equipo SUE</i>	78
<i>Figura 40: Diagrama de fases entrenamiento red neuronal</i>	81
<i>Figura 41: Etiquetamiento manual de imágenes</i>	82
<i>Figura 42: Reconocimiento de imágenes con programación. [30]</i>	82
<i>Figura 43: Sistema FPV</i>	84
<i>Figura 44: Montaje Sistema FPV</i>	85

<i>Figura 46: Prueba de vuelo con IA.</i>	85
<i>Figura 47: Prueba en tierra.</i>	86
<i>Figura 48: Prueba en tierra 2.</i>	86
<i>Figura 47: Prueba de Vuelo 1.</i>	87
<i>Figura 48: Prueba de Vuelo 2.</i>	87
<i>Figura 49: Prueba de Vuelo 3.</i>	88
<i>Figura 50: Prueba de Vuelo 4.</i>	88



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Abreviaturas.

RPAS: Remotely Piloted Aircraft System – Sistema de Aeronaves Tripuladas Por Control Remoto.

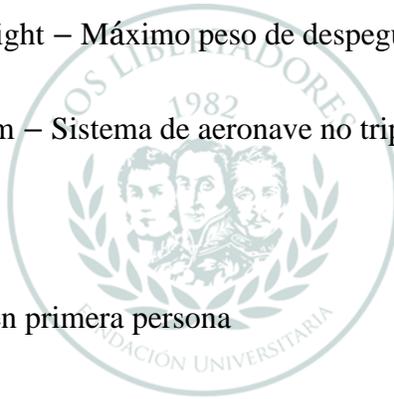
UAV: Unmanned Aerial Vehicle – Vehículo Aéreo no tripulado.

MTOW: Maximum take-off weight – Máximo peso de despegue

UAS: Unmanned Aircraft System – Sistema de aeronave no tripulada

IA: Inteligencia Artificial

FPV: First Person View - vista en primera persona



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Diseño y fabricación de ala ZAGI, para la implementación de un sistema de Inteligencia Artificial para la Detección de Objetos



Resumen

El trabajo se realizó con el objetivo de diseñar y desarrollar un ala volante o Zagi, con implementación de inteligencia artificial para detección de objetos, capaz de realizar un vuelo estable, además de cumplir los requerimientos para concursar en el concurso ZAGI AESS RACE 2022. Durante el desarrollo de la investigación aplicada, se seleccionaron los perfiles para el diseño, al igual que su material de construcción y se realizaron las simulaciones para el diseño final y construcción del prototipo, con el que se participó en la carrera obteniendo el cuarto puesto. Posteriormente se implementó inteligencia artificial la cual tuvo como fin que la aeronave ya diseñada sea capaz de reconocer imágenes categorizándolas especialmente para detección de objetos, y enviando la información registrada en directo a una estación en tierra por medio de un sistema de telemetría compatible con la configuración de la aeronave diseñada, esto utilizando los software y lenguaje de programación de Yolo, Python y Google Colab.

Palabras Clave: Ala Zagi, Diseño, Fabricación, Inteligencia Artificial.



Página dejada en blanco intencionalmente

LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Design and manufacture of ZAGI wing, for implementation of an Artificial Intelligence system for Object Detection.



Abstract

The work was developed with the objective of designing and developing a flying wing or Zagi, with implementation of artificial intelligence for object detection, capable of stable flight, in addition to satisfying the requirements to compete in the ZAGI AESS RACE 2022 competition. During the development of the applied research, the profiles for the design are selected, as well as its construction material and simulations are performed to build the prototype and finally the final design. This resulted in a stable and controlled flight, occupying the 4th place. Additionally, artificial intelligence was implemented to make the designed aircraft capable of recognizing images, categorizing them especially for object detection, and sending the information recorded live to a ground station through a telemetry system compatible with the configuration of the designed aircraft, using Yolo, Python and Google Colab software and programming language.

Keywords: Zagi Wing, Design, Manufacturing, Artificial Intelligence.

Capítulo 1

1.1 Introducción

Los vehículos aéreos no tripulados, más conocidos como UAV, han sido todo un auge en la actualidad, tanto para entretenimiento, como para estudios y desarrollos investigativos que incentiven la innovación. Estos se han implementado para múltiples ámbitos laborales, industriales y en diversas aplicaciones, que son de ayuda y facilidad para el trabajo del humano.

Existen diferentes tipos de UAV, diferenciándose en su diseño y aplicabilidad para los trabajos deseados. Los más conocidos son los drones de ala rotatoria o multirrotores, normalmente de 4, aunque también se encuentra de 6 y hasta 8 por ser más estables y usados para trabajos más complejos como industriales.

Otro modelo de UAV conocido son llamadas de Ala Fija o Ala ZAGI. Estos se diferencian al tener como superficie de control dos estabilizadores lo que genera una baja aerodinámica y gran maniobrabilidad. Sin embargo, estos no son tan solicitados en el mercado debido a que su costo es demasiado elevado.

El presente proyecto se enfoca en el UAV Ala Zagi, incluyendo las fases de selección de perfil para el diseño y construcción, cálculos geométricos y simulaciones que determinaron que el modelo es estable y permite un vuelo controlado. Esto siguiendo los requerimientos para cumplir el propósito de concursar en la competición ZAGI AESS RACE 2022.

Además de ello, se utiliza inteligencia artificial para el procesamiento y detección de objetos, lo cual se implementó en el Ala Zagi para el reconocimiento de imágenes en vuelo.

El interés de elaborar este proyecto se centra en las múltiples innovaciones y estudios que pueden realizarse actualmente hacia los drones o UAV tanto de ala rotatoria como de ala fija, además de

poder seguir contribuyendo con el aprendizaje y poder aplicarlo hacia la carrera de ingeniería aeronáutica, y servir de ayuda para futuros concursos donde se requieran prototipos para la validación de diseño y vuelo.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Capítulo 2

2.1 Planteamiento del problema

El desarrollo de los drones ha aumentado en diferentes áreas y aplicaciones de la industria, junto con fines recreacionales. Los usados con mayor frecuencia son los drones multirrotores, esto por su maniobrabilidad y estabilidad en el vuelo; pero para algunas tareas su funcionalidad y operación es limitada, por lo que se busca otras alternativas. Un modelo que cumple con las necesidades de la industria son los drones de Ala Fija debido a su amplia aplicabilidad en tareas como fotogrametría, monitoreo de áreas controladas y agricultura de alta precisión por la autonomía y alcance de vuelo que pueden tener. Sin embargo, en el mercado no se encuentran opciones asequibles por sus elevados costos.

En la actualidad, este tipo de aeronaves han adquirido popularidad para fines recreo-deportivos y académicos, generando proyectos y concursos con fines investigativos incentivando el desarrollo de nuevos diseños y técnicas de fabricación.

El proyecto se realizó con el enfoque de participar en la carrera ZAGI AESS RACE 2022, en la categoría RF, asumiendo el reto siendo la primera vez que la institución participa en este tipo de competencias en donde los estudiantes de diferentes áreas y enfoques pueden aplicar sus conocimientos adquiridos durante sus periodos académicos, generando enfoques más dinámicos, desarrollando ingenio para la resolución de problemas en entornos que generan competencias en el trabajo en equipo, la planificación y desarrollo de objetivos, durante el desarrollo del prototipo se analizó las características y bienes que este tipo de aeronaves pueden ofrecer para diferentes aplicaciones, por lo que bajo la perspectiva de generar conocimiento en pro y beneficio de la humanidad, se evalúa la creación de un sistema que facilite la búsqueda de personas que se encuentren en ambientes hostiles, facilitando en condiciones de difícil acceso, la búsqueda ágil y

eficiente, realizando un barrido o sobrevuelo sobre grandes extensiones de tierra, llevando a cabo un análisis de la información recopilada.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Diseñar y fabricar un ala volante tipo ZAGI con un sistema de inteligencia para la Detección de Objetos.

2.2.2 Objetivo Especifico

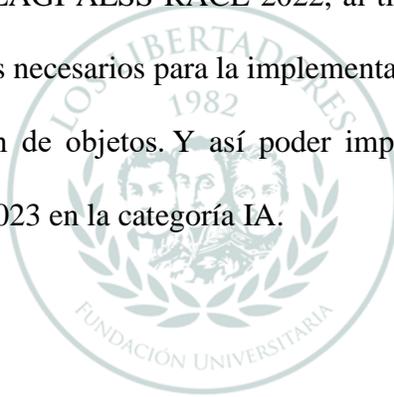
- Diseñar un ala ZAGI bajo los requerimientos solicitados en la competición ZAGI Race 2022.
- Fabricar ala ZAGI diseñada.
- Programar e implementar inteligencia artificial para detección de objetos.
- Realizar las pruebas de vuelo para determinar el desempeño de la aeronave y validar el funcionamiento de la inteligencia artificial implementada.

2.3 Justificación

Las aeronaves no tripuladas en la actualidad se han convertido de gran importancia en labores tanto cotidianas como más especializadas, siendo más eficaces y rápidas, facilitando diversas tareas al igual que evitando exponer a riesgos potenciales el talento humano. Con el paso de los años las aeronaves no tripuladas comenzaron con la implementación de tecnologías que les permiten realizar actividades de manera autónoma siendo más precisos en sus tareas.

Es así como nuestro trabajo cobra relevancia al unir los estudios de ingeniería aeronáutica y de programación para llevar a cabo la aplicación en prototipos que lleven a la validación de sus especificaciones de diseño y vuelo.

Nuestro trabajo partirá de los análisis del ala construida por la Fundación Universitaria Los Libertadores para el concurso ZAGI AESS RACE 2022, al tiempo de mejorar su diseño para lograr cumplir con los requisitos necesarios para la implementación de una inteligencia artificial para llevar a cabo la detección de objetos. Y así poder implementarlo para participar en el concurso ZAGI AESS RACE 2023 en la categoría IA.



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

3.1 Antecedentes

La aviación es un estudio que comprende demasiadas áreas de conocimiento. En un inicio mayormente conocido por ser medio de transporte para humanos. Sin embargo, ahora es igual de común hablar sobre los vehículos aéreos no tripulados, o comúnmente llamados “Drones”. Y los diferentes usos a los que puede aplicar este.

De acuerdo a este concepto, en 1848 fue la primera vez que se usó un vehículo aéreo no tripulado, un globo aerostático, para el transporte de bombas que serían encendidas mediante trabajo electromagnético, esto debido a la guerra entre las Repúblicas de Venecia y Austria. [1]

El concepto de dron o drone, aplicando esta palabra desde 1935 por el sonido similar que generan las abejas, surge antes de la primera guerra mundial. En 1909 Elmer Sperry realiza un giroscopio y posteriormente un giroestabilizador para avión no tripulado, este modificado en 1911 para ser más eficiente y permitiendo controlar el avión en sus tres ejes por medio de servomotores.

El primer vuelo de un avión no tripulado se realiza el 6 de marzo de 1918, siendo un biplano de madera que pesaba 270 kg y su carga útil de 136 kg, además de ser impulsado por un motor Ford de 40 CV. Para octubre del mismo año fue provisto con catapultas y se le llamó “Curtiss Sperry Aerial Torpedo”, este apoyado por la Armada de Estados Unidos que financió este proyecto.

Con este financiamiento se desarrolla este tipo de aeronaves para cargamento militar de hasta 114 kg y hasta una distancia de 480 km, pero a pesar de su funcionalidad solo se construyeron 12 modelos y solo llegaron a la fase de prueba. [2]

Sin embargo, Estados Unidos no fue el único país que estuvo involucrado en el desarrollo de estos modelos. Para la segunda guerra mundial, Alemania trabajó en misiles crucero o también llamadas bombas voladoras, la cual de las más conocidas “Vengeance Weapon 1” o V1. Como la que podemos observar en la figura 1.



Figura 1: Bomba voladora “Vengeance Weapon 1” [3]

Este vehículo aéreo no tripulado era lanzado desde una rampa e impulsado por un motor a reacción, su objetivo era determinado con una brújula y giroscopios y su distancia era hasta de 250 millas.

[2][3]

Para la guerra fría los drones fueron muy usados por parte de la Fuerza Aérea de Estados Unidos; primeramente, para combate; por ello se creó el primer helicóptero no tripulado llamado QH-50, el cual transportaba desde torpedos hasta bengalas, y se pilotaban a distancia desde aviones tripulados, en tierra o incluso buques de guerra.



Figura 2: Helicóptero no tripulado QH-50. [4]

Luego estos vehículos aéreos fueron usados para vigilancia, usados en Vietnam desde el año 1964 hasta el final del conflicto en 1973, perfeccionados con capacidad para grabar video y fotografía en tiempo real, realizar rescates, iluminar objetivos e incluso desplegar cortinas de humo. Lo cual fue considerado como un adelanto para la tecnología. [4][5]

En total fueron construidos más de 73000 drones y usado por las fuerzas militares de más de 18 naciones en esta guerra.

A partir de los años 70, esta tecnología y diseños pasaron de ser clasificados a ser de uso público, y sus utilidades para población civil. Desde el año 2006 son adquiridos comercialmente hacia cualquier área de conocimiento o trabajo. [6]

En las misiones que puede tener los UAV se pueden clasificar en militares, y civiles o comerciales. En esta última categoría hay un sinnúmero de aplicaciones, y por ello existen las líneas de uso de drones de acuerdo al aplicado para su trabajo.

Línea 1: Básica de consumo. Como recreación o hobby.

Línea 2: Línea profesional. Especial para entretenimiento, grabación de cine, televisión o publicidad.

Línea 3: Línea industrial. Aplicaciones de agricultura, vigilancia de líneas térmicas o tuberías, extinción de incendios, e incluso ayudas de tráfico y servicios de comunicación. [7]

De acuerdo al tipo de dron también se puede clasificar de acuerdo a su tipo de diseño, así existen dos tipos: UAV de ala fija y de ala rotatoria. Y también de acuerdo a su alcance, altitud, autonomía y MTOW, como se observa en la tabla 1.

Tabla 1: Clasificación de UAV. [2]

Categoría de UAS	Alcance (km)	Altitud (m)	Autonomía (h)	MTOW (kg)
Estratosféricos	>2000	20000-30000	48	<3000
Elevada altitud y gran autonomía (" <i>High altitude and long endurance</i> ", HALE)	>2000	20000	48	15000
Altitud media y gran autonomía (" <i>Medium altitude and long endurance</i> ", MALE)	>500	14000	24-48	1500
Baja altitud y gran autonomía (" <i>Low altitude and long endurance</i> ", LALE)	>500	3000	Alrededor de 24	Alrededor de 30
Baja altitud y penetración profunda	>250	50-9000	0.25-1	350
Alcance medio	70 to >500	8000	6-18	1250
Alcance corto	10-70	3000	3-6	200
Mini	<10	<300	<2	<30
Micro	<10	<250	<0.5	<1

Desde que se su uso fue a nivel comercial, el desarrollo de componentes para sus diferentes aplicaciones también ha crecido, y por ello se cuenta con drones FPV para trabajos donde no hay alcance visual y no se pueda llegar físicamente; además de la actual inteligencia artificial que permite el monitoreo y trabajo de forma autónoma para misiones que requieren más precisión en sus resultados. [8]

3.2 Marco Legal

Las aeronaves pilotadas a distancia con el paso de los años han adquirido mayor fama alrededor del mundo lo cual ha generado un mayor uso de estas aeronaves en ámbitos tanto profesionales como recreacionales, lo que ha puesto diferentes alarmas a nivel mundial del uso y aplicaciones en los cuales se puede emplear este tipo de aeronaves por lo que las autoridades de aviación alrededor del mundo, han desarrollado diferentes normativas tanto de certificación como de seguridad operacional. En pro de garantizar un control sobre los lugares en donde se operan y aplicaciones. En Colombia la normativa que rige este tipo de aeronaves es el RAC 91, Apéndice 13, en el cual se estipula:

“Los requisitos, condiciones y demás aspectos relativos a la aeronavegabilidad y operación de las RPAS se encuentran descritos en la Circular Reglamentaria UAEAC 5100-082-002 – Requisitos generales de aeronavegabilidad y de operaciones para RPAS.” (RAC 91).

La circular reglamentaria N° 002 tiene como propósito ampliar la información e impartir requisitos de Aeronavegabilidad y Operación para aeronaves de acuerdo con las consideraciones estipuladas en el RAC 4, numeral 4.25.8.2 en el cual se estipula:

“La operación de cualquier otro equipo de vuelo no tripulado radiocontrolado, con fines no deportivos, tales como teledetección, fotografía, o televisión, estará sometida a las condiciones anteriores; salvo permiso especial de la Dirección de Operaciones Aéreas.” (RAC 4).

En esta normativa podemos encontrar consideraciones para la operación en diferentes zonas cumpliendo con requisitos, categorizando las aeronaves por peso dividiéndose de este modo:

“Clase A (abierta). Corresponde a la operación de UAS que se encuentren dentro de las limitaciones establecidas en el párrafo (a) de la sección 2.2. de este Apéndice y que cuenten con un MTOW superior a 250 gr y de hasta 25 kg, por lo cual no requieren de autorización de

la UAEAC, dado que su operación representa un mínimo riesgo.” (Resolución N° 04201, Numeral 1.3).

“Clase B (reculada). Corresponde a la operación de UAS que no se encuentren dentro de la Clase A por desviación de las limitaciones establecidas en el párrafo (a) de la sección 2.2. de este Apéndice o que cuenten con un MTOW superior a 25 kg y de hasta 150 kg, por lo cual requerirán siempre de autorización de la UAEAC, aun cuando su operación podría implicar un muy bajo riesgo.” (Resolución N° 04201, Numeral 1.3).

“Clase C (certificada- RPAS). Corresponde a la operación de UAS por fuera de las limitaciones establecidas en la sección 3.2. de este Apéndice, con MTOW superior a 150 kg, sobrevuelas internacionales y aquellos que prestaren servicios de transporte, para los cuales, por ahora, no se autoriza su operación en el espacio aéreo donde tenga jurisdicción el Estado colombiano, aun cuando su operación pudiera ser de bajo riesgo.” (Resolución N° 04201, Numeral 1.3).

De acuerdo con la anterior clasificación bajo la circular normativa encontramos las diferentes limitaciones para la operación de RPAS en Colombia.

Otra normativa aplicable para este tipo de aeronaves se relaciona a continuación:

- ✓ El Artículo 8 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, suscrito en Chicago el 7 de diciembre de 1944, y aprobado por Colombia mediante la Ley 12 de 1947.
- ✓ Anexo 2 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional
- ✓ Anexo 7 al Convenio sobre Aviación Civil Internacional
- ✓ Manual RPAS, Documento OACI 1009 AN/507 primera Edición - 2015
- ✓ Mapa de Ruta RPAS -SRVSOP
- ✓ Reglamentos Aeronáuticos Latinoamericanos LAR.
- ✓ AIC C08/08 A08/08 del 25 de septiembre de 2014.
- ✓ Políticas UAEAC para RPAS revisadas (Oficio 5102.109.14-2014010749)

- ✓ AIP COLOMBIA - AIP En Ruta - ENR 1.1 Reglas Generales 12. Aeronaves Remotamente Tripuladas.

Para el uso y aplicación de la IA fue necesario el uso de modelos pre-entrenados como lo es YOLO, este modelo principalmente usado en la app ultalytics es de uso libre, permitiendo la modificación y personalización de los parámetros de entrenamiento de la Red Neuronal Convolutacional.

Para los softwares de diseño y simulación se utilizaron las licencias para estudiante que ofrecen las compañías diseñadoras de los programas utilizados, para el desarrollo del prototipo a realizar.

[9]

3.3 Conceptos Básicos Drones de Ala fija

3.3.1 Dron de Ala fija

Este tipo de aeronaves tripuladas remotamente son aquella que cuentan con una superficie alar y perfiles aerodinámicos los cuales permiten a la aeronave mantenerse en el aire a través de la sustentación que se genera en sus planos, este tipo de aeronaves mantienen una alta autonomía de vuelo. Existen diferentes tipos de drones de este tipo estos se pueden categorizar entre híbridos y ala fija (figura 3), para los drones de ala fija los podemos clasificar de acuerdo a su configuración alar, así:

1. Ala recta
2. Ala elíptica
3. Ala en flecha
4. Ala en flecha con barrido
5. Ala Delta

La configuración más elegida para la industria y entretenimiento son los drones con ala tipo delta, debido a su facilidad de fabricación, control y eficiencia. Las aplicaciones para este tipo de aeronaves principalmente son la agricultura de precisión, fotogrametría, en general para actividades que requieren abarcar grandes cantidades de tierra. Este tipo de aeronave tiene la característica que para su despegue necesitan de una catapulta o del impulso por parte de un humano, mientras que para su aterrizaje es necesario tener grandes extensiones de tierra, que permitan un aterrizaje controlado y seguro. [10]

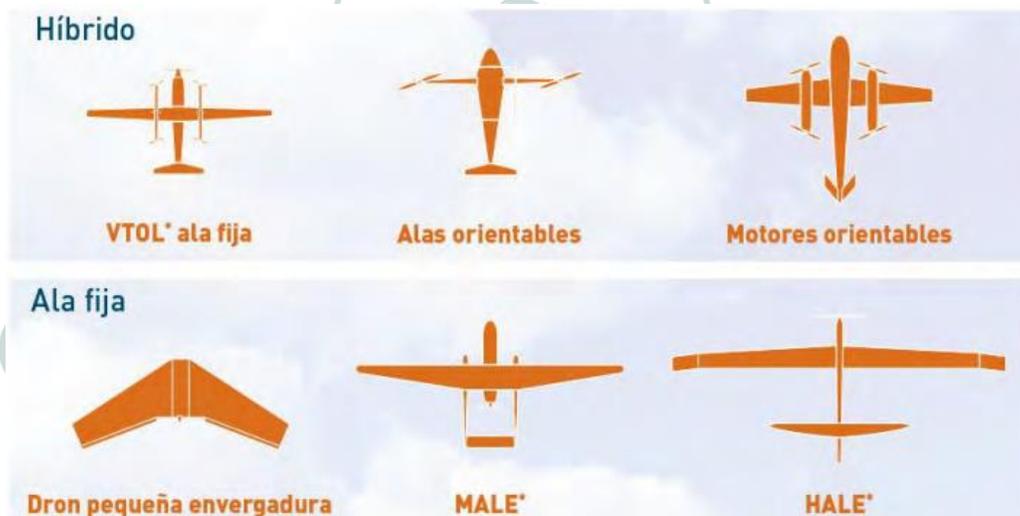


Figura 3: Drones de tipo ala Fija. [10]

3.3.2 Sistema de Control Aeronaves RPAS

Las aeronaves pilotadas a distancia de ala fija son aeronaves que dependiendo de su aplicación y configuración cuentan con diferentes tipos de sistemas de control, a grandes rasgos y semejándose a las aeronaves tripuladas de mayor tamaño, estas aeronaves utilizan sistemas de control de lazo abierto los cuales el piloto es el encargado de realizar las correcciones y guía para la operación de la aeronave y sistemas de lazo cerrado el cual tiene la característica de realizar una retroalimentación dentro del sistema automatizando correcciones y control de la aeronave durante

su operación, para este tipo de aeronaves existen diferentes métodos para el control de la misma.
[11]

Este tipo de sistemas se componen de:

Señales: Magnitud de interés.

Entrada: Estimulo o señal de actuación.

Proceso: Cualquier operación que se vaya a controlar.

Planta: Conjunto de elementos.

Controladora: Elemento encargado de gobernar la actuación del proceso o planta.

Salida: Resultado obtenido por la entrada.

Perturbación: Es una señal que afecta negativamente el proceso.

Error: Diferencia del valor real y el de salida.



Figura 4: Sistema de lazo abierto [12]

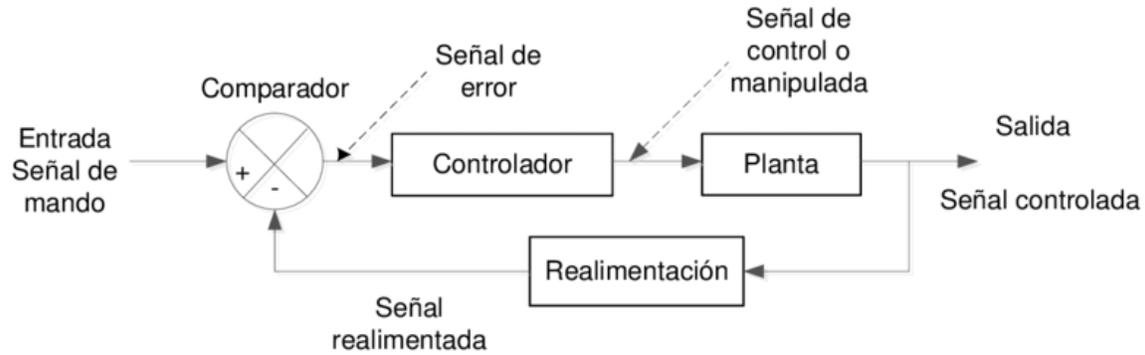


Figura 5: Sistema de lazo cerrado. [13]

En donde cada una de las etapas del sistema permite el control de la aeronave en tiempo real ya sea de manera manual para el caso de lazo abierto o asistido para el caso de lazo cerrado. [11]

3.3.3 Sistema FPV

El sistema FPV (First Person View) por sus siglas en inglés o visión en primera persona, consiste en una cámara a bordo de una aeronave no tripulada el cual capta imágenes que pueden ser transmitidas en tiempo real al operario de la aeronave en tierra, esta transmisión puede ser adquirida desde gafas de realidad virtual las cuales ofrecen al piloto una operación más real o a una estación terrestre la cual permite el análisis y procesamiento de las imágenes con los fines específicos en los que se espera ser aplicados, esta técnica es posible realizarla de forma casera con el uso de los componentes y elementos necesarios para garantizar una óptima telemetría entre la aeronave y el operario, las frecuencias usadas pueden variar dependiendo el uso que se prevé dar a la aeronave así mismo el tipo de aeronave que se opera. [11]

3.4 Conceptos Básicos Inteligencia Artificial

La Inteligencia Artificial se puede entender como un sistema que busca asemejar los procesos que la mente humana es capaz de hacer, razonando con competencias psicológicas como la percepción, asociación, predicción, planificación y control. Para el desarrollo de tareas complejas, este tipo de tecnologías ha sido aplicado y utilizado en diferentes áreas que van desde prácticas en el hogar, conducción de vehículos, hasta la programación de videojuegos, motores de búsqueda, Robots, satélites, etc. [14]

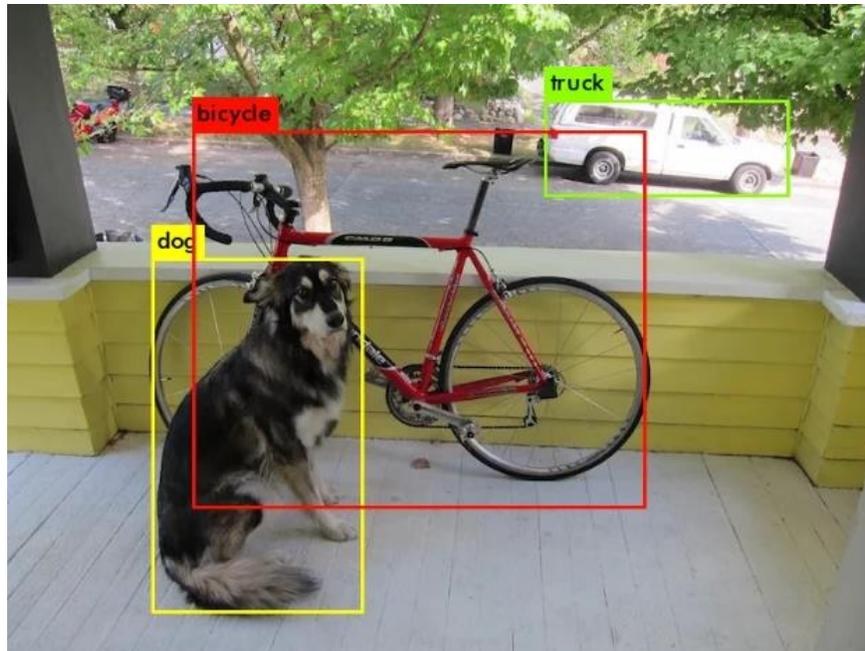
Los primeros indicios de este tipo de tecnología se remontan 384-322 a.C. cuando Aristóteles se dispuso a codificar y analizar ciertos tipos de razonamientos que llamó silogismos, los cuales consistían en el análisis y razonamiento de las máquinas. [15]

3.4.1 Reconocimiento de imágenes

El reconocimiento de imágenes comprende principalmente en la detección de objetos o clasificación de estas de los objetos de interés que se encuentre dentro de una imagen o fotograma en dado el caso se realice en videos, este campo ha generado un desarrollo alto en los últimos años en campos como la morfología de imágenes y el uso de redes neuronales artificiales, así como el procesamiento de las imágenes a color y/o escalas de grises, dando así un amplio campo de aplicación como lo es, el reconocimiento de rostros, reconocimiento de firmas y caracteres. [16]

En la actualidad este procesamiento de imágenes por computador realiza la clasificación por los pixeles ya sea una imagen vectorial o rasterizada, en las imágenes rasterizadas los pixeles se organizan en forma de cuadrícula mientras que las imágenes de tipo vectorial se organizan como polígonos de diferentes colores, para realizar este proceso es necesario la organización y categorización de cada imagen en donde se extraen las características físicas por medio de la

etiquetación de estas y posterior se realice el modelo de entrenamiento para la visión artificial reconociendo los patrones a partir de las imágenes que se detecten. [17] [18]



LOS LIBERTADORES
Figura 6: Reconocimiento de imágenes. [19]
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

3.4.2 Red Neuronal Convolutiva

Las Redes Neuronales Convolutivas son un tipo de red neuronal artificial que se usa para regular en el análisis de imágenes, esto debido a que su utilización es realizada con matrices bidimensionales conocidas como filtros los cuales fraccionan la imagen por píxeles e identificando los colores y características de la imagen, multiplicando y sumando los píxeles de acuerdo a cada valor de la ubicación de la matriz que procesa la imagen, variando así la salida de la imagen, lo que la hace efectiva para tareas de visión artificial, detección de objetos, clasificación, etc.

El termino Convolución en matemáticas y análisis fundamental se considera como un operador matemático conmutativo el cual transforma dos funciones en una nueva función con valores reales como argumentos, la cual se define como formula (1),

$$s(t) = \int x(a)w(t - a)da \quad (1)$$

En donde sus variables se definen así:

x es la entrada del sistema (input).

t tiempo.

$w(a)$ se define como núcleo, filtro o mapa de características.

En 1989 Yann Lecun realizo una de las primeras introducciones para las redes neuronales para el reconocimiento de números manuscritos en cheques bancarios, esta arquitectura se basó en como los seres vivos realizan el análisis de las imágenes realizando un escaneo por toda la imagen e identificando patrones, esta misma arquitectura de detección fue implementada para la arquitectura de este tipo de redes neuronales, dividiendo en campos receptivos que alimentan una capa convolucional que extrae las características de la imagen de entrada, seguido a ello utiliza pooling, la cual disminuye la dimensionalidad de las características extraídas manteniendo la información más importante, reduciendo la muestra de la salida de las capas convolucionales pasando el filtro a través de la imagen y calculando el máximo o promedio de la entrada, realizando nuevamente una operación convolucional y otra pooling la cual alimenta una red retroalimentada multicapa. Generando en la salida un grupo de nodos que clasifican el resultado. [20]

El procesamiento para este tipo de redes utiliza los datos de entrada con los pixeles de una imagen. Dependiendo si de color utiliza los tres colores RGBA, seguido a ello la red neuronal ejecuta sus

capas ocultas las cuales pueden ejecutarse con un tamaño del núcleo y una cantidad de filtros o con un submuestreo el cual consiste en la recopilación de datos en varias etapas, obteniendo la capa de salida en donde las neuronas clasifican los valores recopilados por los pixeles, lo que nos permite comenzar con un aprendizaje el cual por lo general es supervisado, realizando una interconexión entre las capas unidas por los pesos programados, obteniendo finalmente la salida deseada, [21] Resumiendo la red se puede dividir simplídicamente en tres diferentes capas las cuales son:

1. Entrada
2. Perceptrón
3. Salida



La entrada consiste en las variables que se seleccionan con anterioridad para la ejecución de la tarea, lo siguiente es la elaboración de perceptrones los cuales determinan y evalúan la entrada, calculando por sí misma el resultado, estas capas tienen unas conexiones las cuales cuentan con unos pesos que es un valor que el modelo asigna entre las uniones de las redes y los sesgos los cuales son valores que ejecuta en la salida del modelo, estas dos variables las ajusta por si sola, a medida que realiza un aprendizaje autónomo, obteniendo así resultados más verídicos, la precisión de estos modelos se basa en la cantidad de redes o capas con las que cuente el sistema, existen diversos modelos, los cuales han sido desarrollados por grandes compañías como Google que han sido ya entrenada con tareas similares, por lo que es posible hacer uso de estas redes pre-entrenadas personalizando las capas, para este caso se eligió el modelo que nos ofrece YOLO (You Only look Once) el cual permite al usuario personalizar un algoritmo de machine learning, brindándonos un modelo pre-entrenado para la detección de objetos en imágenes y videos en tiempo real con menos

de 25 milisegundos de latencia, este modelo trabaja dividiendo una imagen en n cuadrículas cada una de ellas delimitadas de igual tamaño realizando un barrido genérico por la imagen o el fotograma que se está analizando, YOLO contiene una arquitectura (Figura 7) de autoaprendizaje por medio de sus capas ya establecidas.

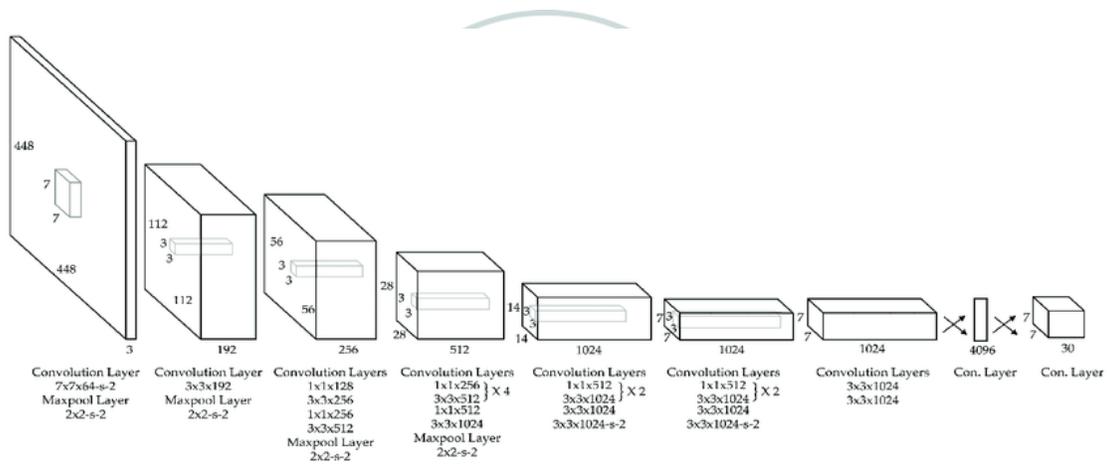


Figura 7: Capas de inferencia IA. [17]

El entrenamiento de este modelo consiste en un conjunto de datos el cual es realizado de manera manual por el usuario realizando un etiquetamiento de las imágenes para luego realizar un entrenamiento de las redes neuronales, para este caso se obtendrá el video en directo desde la aeronave a la estación en tierra, en donde se procesará el video recibido por medio de un código realizado con Python. [15]

Una vez se hace el proceso de convolución el cual consiste en una operación para la detección de los cambios de imagen en contraste y texturas, las redes neuronales procesan cada capa filtrada, así las neuronas clasifican en diferentes tipos de los objetos detectados.

4.1 Metodología Aplicada

La metodología de este trabajo consiste en una investigación aplicada, debido a que los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería aeronáutica se unifican para la solución de la problemática planteada en forma de innovación tecnológica. El desarrollo de la metodología se realiza en tres fases de diseño.

La primera etapa inicial comprende el diseño conceptual del proyecto. Este incluye los requerimientos dados por la carrera AESS, la estimación de costos de la fabricación de ala y electrónica de la misma, los cálculos de la geometría y rendimiento del ala a diseñar, además de las diferentes simulaciones necesarias para un vuelo controlado. En la figura 8 se determina esta fase por el color verde turquesa.

Para la segunda fase se trabaja en el diseño detallado del ala; así, se selecciona los componentes tanto para la fabricación, como los elementos electrónicos del ala para obedecer con la estimación de costos estimada en el diseño conceptual. También se construye el prototipo y se demuestra su cumplimiento con los cálculos realizados anteriormente y si es este viable.

En la tercera y última fase se lleva a cabo el diseño detallado, en el cual se realiza la fabricación del modelo, se comprueba si el vuelo es exitoso, también se ajustan detalles de presentación y organización del ala, se trabaja la identificación de imágenes utilizando redes neuronales convolucionales, modificando el diseño del ala para la implementación de la IA en esta, cumpliendo finalmente el objetivo propuesto.

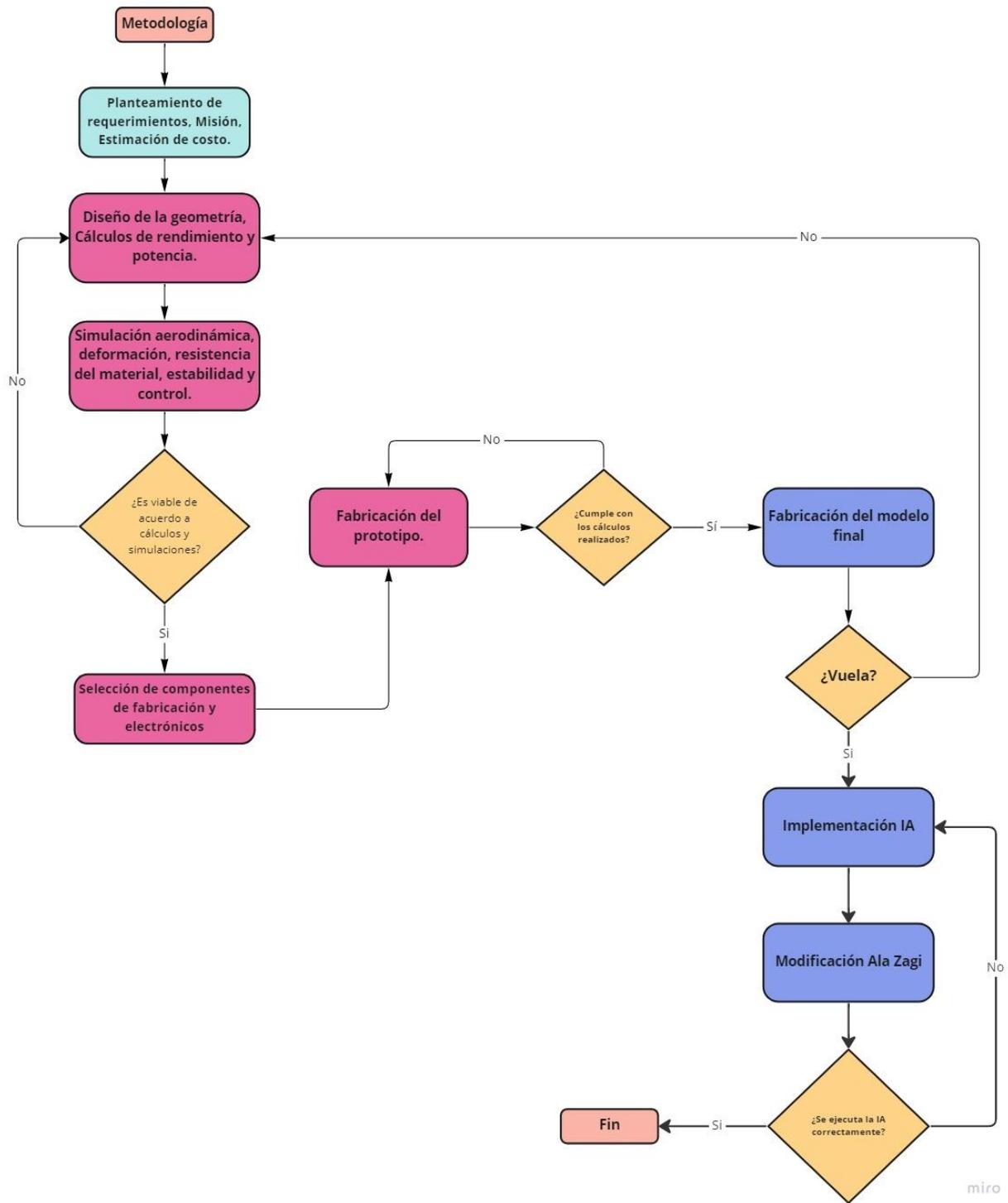


Figura 8: Metodología Aplicada. [22]

5.1 Diseño Conceptual

En esta primera etapa de diseño se conceptualiza los requerimientos dados por la carrera AESS para el diseño y fabricación del tipo de aeronave, así como su misión a realizar, junto con su estimación de costo inicial.

5.1.1 Requerimientos carrera AESS

La fabricación se desarrolló proyectando el prototipo para la participación en la Carrera Zagi AESS Race 2022, por lo que el prototipo fue diseñado, pensado en cumplir los requisitos y parámetros que tuvo la carrera para su participación en la categoría básica RF, los cuales fueron:

- Cada equipo no podrá superar la suma de \$1'300.000 (Un millón trescientos mil pesos colombianos) para la fabricación y electrónica en la categoría de radio frecuencia. Este valor sin incluir radio control.
- Cada prototipo estará compuesto al menos por: Fuselaje, Radiocontrol (preferiblemente no FM y/o AM) y su respectiva electrónica antes seleccionada para la categoría a aplicar.
- Cada equipo deberá contar con un control RF auxiliar, un solo prototipo de Ala Zagi y máximo tres fuselajes de repuesto (Dichos fuselajes pueden presentar variaciones en la electrónica).
- La envergadura del Ala deberá tener como mínimo 60 centímetros y como máximo 140 centímetros.
- Cada equipo deberá adjuntar un análisis aerodinámico justificado.
- Completar el circuito demostrado en las imágenes.

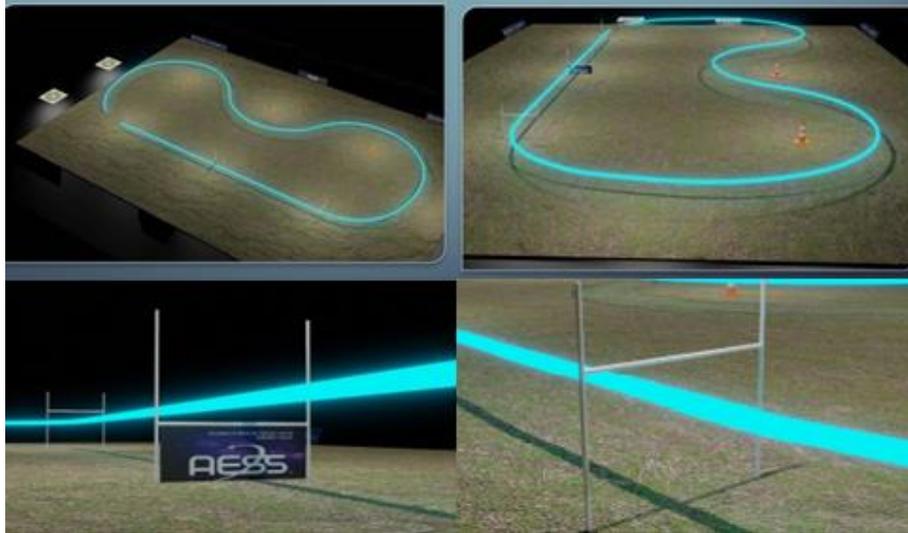


Figura 9: Circuito para carrera AESS 2022. [23]

5.1.2 Tipo de Aeronave

Aeronave de ala Fija, tipo Zagi, capaz de operar a bajas velocidades, con un sistema de operación a distancia por medio del uso de un Radio Control, configurado para el control de las superficies y propulsión de la aeronave.

5.1.3 Misión

Recorrer el circuito en el menor tiempo posible, garantizando un vuelo controlado aplicando los conceptos de aerodinámica, aviónica y estructuras para la fabricación y cumplimiento de cada uno de los objetivos establecidos para la competencia e implementación de una inteligencia Artificial.

5.1.4 Estimación de costo inicial.

De acuerdo con los requerimientos dados por el concurso AESS, la estimación de costo inicial no superará el valor de 1.000.000 (Un millón de pesos), incluyendo el valor de fabricación y radio control.

5.2 Diseño Preliminar

El Diseño Preliminar es la fase donde se desarrolla el diseño y construcción de la aeronave, incluyendo sus simulaciones y cálculos en donde se estima el rendimiento de esta

5.2.1 Elección del Perfil

Para la selección del perfil de raíz y de punta, se toma en consideración siete diferentes perfiles. Se realiza una línea base con los perfiles alares seleccionados y se analizan en el programa XFLR5, esto para determinar sus propiedades de CI teniendo en cuenta su ángulo de ataque, junto con porcentajes de su diseño. La selección se hizo tomándose en cuenta la aplicación del perfil y consejos del personal administrador del concurso.

Los perfiles seleccionados fueron:

- NACA 0012
- NACA 2312
- NACA 2412
- NACA 4415
- ZAGI 08
- ZAGI 10
- ZAGI 12

Se observa su porcentaje en grosor y cuerda para determinar cuál es de más utilidad para la construcción, junto con el diseño.

Tabla 2: Porcentajes grosor y cuerda de perfiles seleccionados

	Name	Thickness (%)	at (%)	Camber (%)	at (%)
1	Spline Foil	9.04	29.40	0.00	0.00
2	NACA 0012	12.00	29.03	0.00	0.00
3	NACA 2312	12.00	29.03	2.00	31.53
4	NACA 2412	12.00	29.03	2.00	39.54
5	NACA 4415	15.00	29.03	4.00	39.54
6	ZAGI 08	7.95	30.03	1.33	30.03
7	ZAGI 10	9.93	30.03	1.99	30.03
8	ZAGI 12	11.90	30.03	1.99	30.03

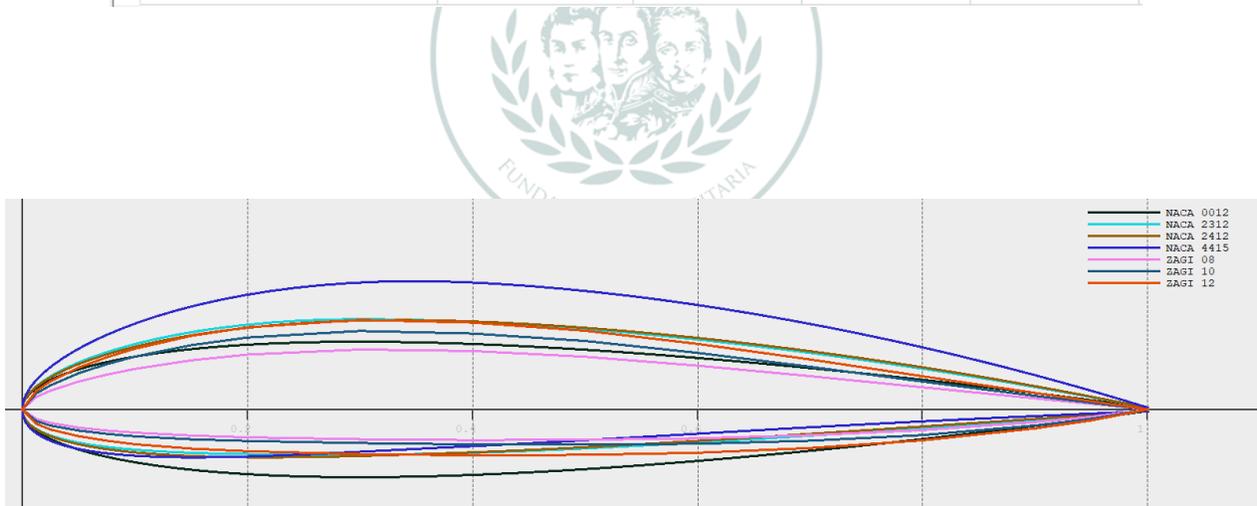


Figura 10: Diseño perfiles alares seleccionados.

Primero se realizó el análisis al Cl a partir del ángulo de ataque para determinar su máximo, antes de entrar en pérdida.

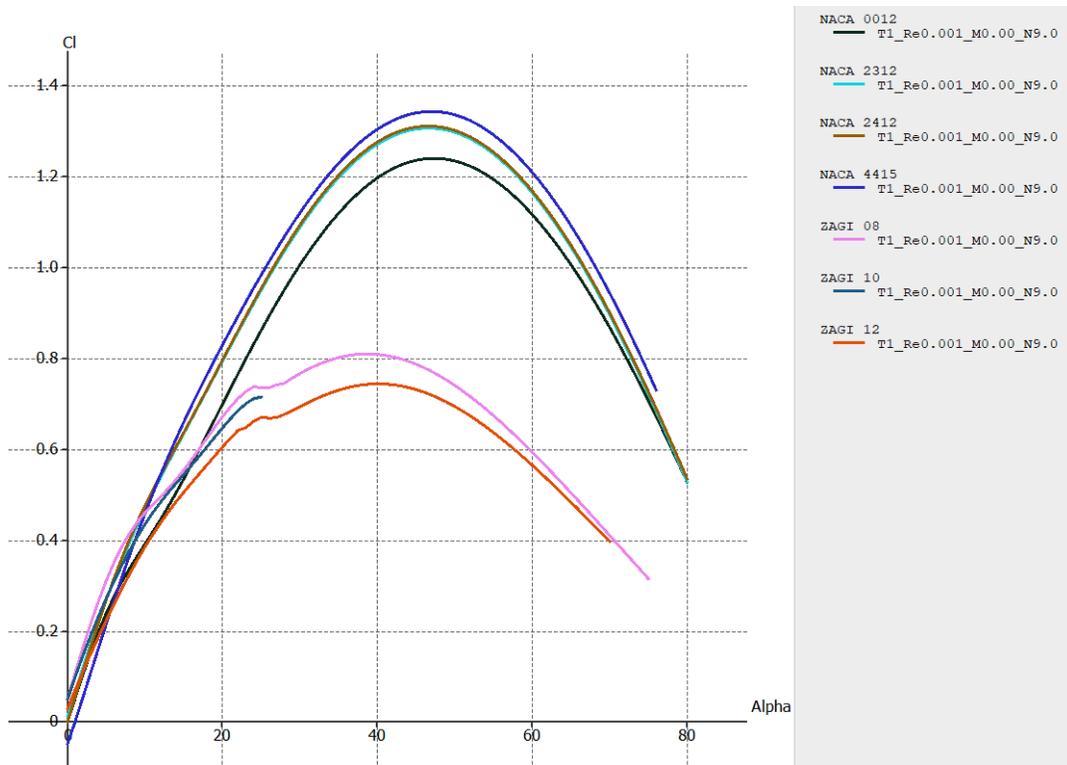


Figura 11: Gráfica Cl vs. Alpha.

De la figura 10 y 11 se determina que el perfil NACA 4415, cuenta con el máximo porcentaje de espesor y cuerda, además de que su forma de perfil es semi - simétrico lo que genera una gran relación sustentación – resistencia, por ello presenta un Cl con valor de 1.33, mientras que su máximo ángulo de ataque es de 47°. Por ello es un perfil seleccionado.[24]

La forma de los perfiles ZAGI se define como auto estable, o de estabilidad positiva, lo cual, ante cualquier perturbación, este tiende a volver a su posición de equilibrio, es decir su posición inicial; es por ello que son usados para este tipo de dron debido a que no genera alto Cl. Para su selección se tomó en cuenta el porcentaje de grosor, por lo tanto, se selecciona el perfil ZAGI 12. [25]

De esta manera se selecciona el perfil NACA 4415 como perfil de raíz, por su alto Cl lo que generará la sustentación del ala.

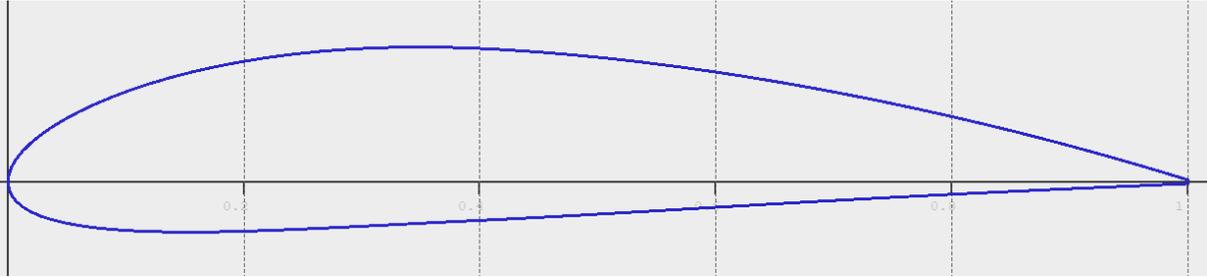


Figura 12: Perfil NACA 4415.

Para la punta se selecciona el perfil ZAGI 12, este perfil usado mayormente debido a que produce más estabilidad.



Figura 13: Perfil ZAGI 12.

5.2.2 Diseño de la Geometría.

De acuerdo con los requerimientos antes mencionados se realizó un diseño utilizando el software SolidWorks, realizando un primer prototipo del modelo teniendo en cuenta las características y eficiencia de los perfiles anteriormente seleccionados, dejando los espacios necesarios para cada elemento de electrónica.

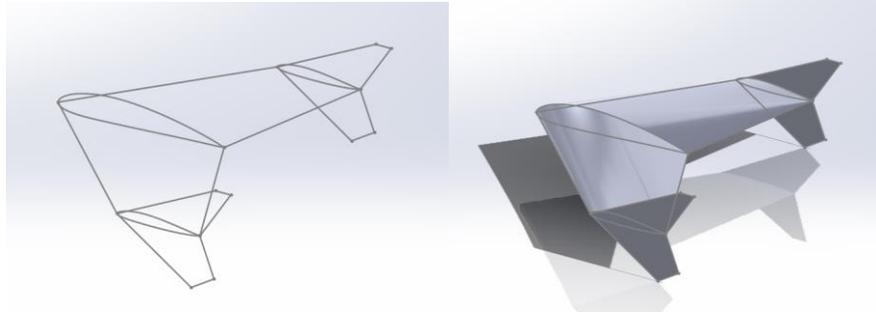


Figura 14: Diseño de Ala Zagi.

De igual forma se realizó la estimación de los materiales a utilizar en el ala, realizando diferentes pruebas de resistencia mecánica brindándonos una relación de costo beneficio, eligiendo materiales principales el poliéster expandido de alta densidad, Balso y poliestireno, distribuidos como se observa en la figura 15.

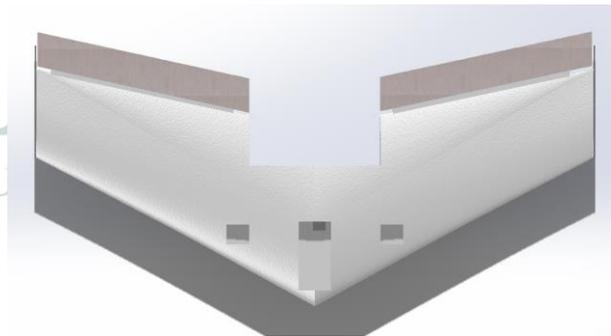


Figura 15: Ala Zagi con material.

5.2.3 Cálculos

Cálculos Geometría

Envergadura

$$b = 80 \text{ cm}$$

Cuerda raíz

$$C_r = 27 \text{ cm}$$

Cuerda de punta

$$C_t = 13.5 \text{ cm}$$

Cuerda promedio

$$C_{avg} = \frac{C_r + C_t}{2} \quad (2)$$

$$C_{avg} = 20.25 \text{ cm}$$

Área ala Tener en cuenta el hueco hélice

$$s = b \left(\frac{C_r + C_t}{2} \right) \quad (3)$$
$$s = 1620 \text{ cm}^2$$

Área espacio motor

$$A_{motor} = 20 \text{ cm} \cdot 10 \text{ cm}$$

$$A_{motor} = 200 \text{ cm}^2$$

Razón de taperado

$$\lambda = \frac{C_t}{C_r} \quad (4)$$

$$\lambda = 0.5$$

Aspect Ratio

$$AR = \frac{b^2}{s} \quad (5)$$

$$AR = 3.9506$$

Cálculos de Rendimiento

A la hora de diseñar una aeronave no tripulada, es imperativo conocer la misión que se va a realizar, para esto es importante también conocer el tiempo máximo de vuelo, este cálculo se presenta en la siguiente sección en base a la capacidad de la batería y el consumo de energía del motor, tanto al 50% de la aceleración, como para el 100%.

Ya se conoce que la capacidad de la batería es de 2200 mAh y su eficiencia es del 70%. Por otro lado, el motor consume 11 Amperios al 50% de la aceleración y 20 Amperios al 100%. Con estos datos se puede aplicar la siguiente ecuación.

$$C = 2200 \text{ mA h} \left(\frac{1 \text{ A}}{1000 \text{ mA}} \right) \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \right) = 132 \text{ A min}$$

Ahora se puede calcular tanto el tiempo mínimo de vuelo, como el tiempo máximo.

$$T_{\text{vuelo}_{\min}} = \frac{132 \text{ A min}}{20 \text{ A}} = 6.6 \text{ min}$$

$$T_{\text{vuelo}_{\max}} = \frac{132 \text{ A min}}{11 \text{ A}} = 12 \text{ min}$$

Aunque los resultados que se pueden observar son muy esperanzadores, no son del todo ciertos, ya que las ecuaciones solo tienen en cuenta la cantidad de corriente que puede entregar la batería cada minuto y el consumo relativo del motor a condiciones ambientales, todo esto también sin tener en cuenta la carga adicional de mover la aeronave, así como todo el sistema eléctrico.

Fases de vuelo

Lanzamiento

Para los datos de velocidad de lanzamiento se toma el peso de la estimación de pesos realizado anteriormente, y se mide el brazo de la persona encargada para lanzarlo. El rango de fuerza se tomará general.

Datos:

- $m = 441 \text{ g} = 0.441 \text{ kg}$
- $F = 90 \text{ N}$
- $L = 53 \text{ cm} = 0.53 \text{ m}$

Formula:

Primero se halla la aceleración, tomado de la ecuación de fuerza:

$$F = m \cdot a \quad (6)$$

$$a = 204.08 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Y ahora usamos la fórmula para hallar la velocidad de lanzamiento:

$$V = \sqrt{2 \cdot a \cdot L} \quad (7)$$

$$V = 14.7 \frac{m}{s} = 52.5 \frac{km}{h}$$

Crucero

A diferencia de un dron multirroto, el Ala Zagi no vuela de manera vertical por mucho tiempo, la mayoría de las maniobras se realizan en el plano horizontal, los cálculos de la velocidad horizontal se encuentran a continuación.

Datos:

- $W = 4.326 \text{ N}$
- $\rho = 0.9434 \frac{kg}{m^3}$
- $A_{eff} = 0.01189 \text{ m}^2 + 0.0182 \text{ m}^2 = 0.03009 \text{ m}^2$
- $CD = 0.07$
- $TR = 1.01$

El área efectiva no se puede calcular de la misma manera que para un motor multirroto, ya que en esa área se tiene en cuenta la distancia de los motores, así como la suma de las áreas de las distintas hélices. En el caso de este proyecto solo se tiene una hélice y un motor, por lo tanto, se sumaron las áreas del ala y la de la hélice. Y el coeficiente de Drag es extraído de los datos del perfil.

$$V_H = \sqrt[4]{1 - \frac{1}{TR^2}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho \cdot C_D \cdot A_{eff}}} \cdot TR \quad (8)$$

$$V_H = 25.1672 \frac{m}{s} = 90.6019 \frac{km}{h}$$

Aterrizaje

Para hallar la velocidad de aterrizaje se realiza con la fórmula de peso en función del coeficiente de Lift del perfil usado. Así los datos usados son:

Datos:

- $W = 4.3948 \text{ N}$
- $\rho = 0.9434 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$
- $S = 1620 \text{ cm}^2 = 0.1620 \text{ m}^2$
- $CL = 1.5$

Aplicamos la formula y despejamos la velocidad.

$$W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot C_L \cdot V^2 \quad (9)$$

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot W}{\rho \cdot S \cdot C_L}} \quad (10)$$

$$V = 7.22 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 26.0172 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Se presenta tanto la velocidad de despegue como aterrizaje, se evidencia que su velocidad de lanzamiento es dependiente de la forma en que se lanzará, y se deben tener en cuenta factores como la fuerza de la persona y así mismo su distancia del brazo, para tener un rango de proximidad.

Así mismo se evidencia que la velocidad de aterrizaje es mucho menos, y en este caso ya influye mayormente por el peso del ala, que, aunque es constante en todo el vuelo, su valor es mayor al empuje.

5.2.4 Peso y Balance

La estimación de pesos se realiza tomando los pesos de cada elemento, con lo que se puede estimar la afectación que se tendrá sobre el modelo determinado en dos variables, peso y la distancia a la que se encuentran los elementos respecto la línea DATUM, como se ve en la figura 16.

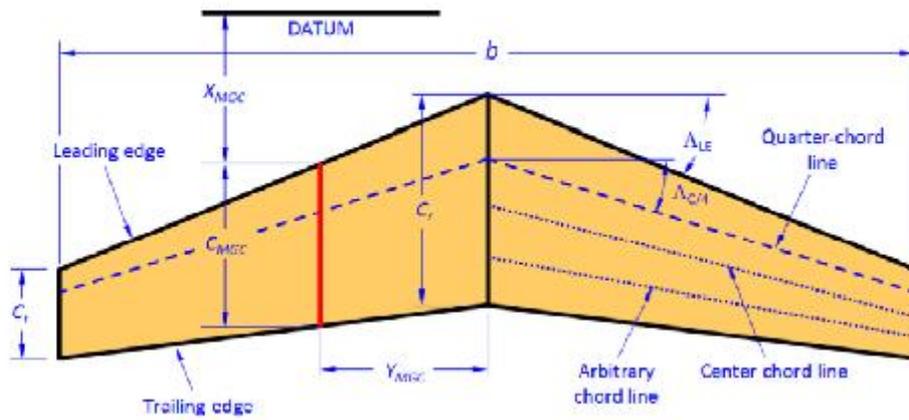


Figura 16: Dimensionalidad Ala Zagi [26]

Tabla 3: Componentes electrónicos

Elemento	Peso (gr)	Brazo (mm)	Momento (gr*mm)
W0 del modelo	213	-	-
Batería	80	24	1,920
Motor	48	174	8,352
ESC	27	86	2,322
Servomotor	18	50	900
Bancada de motor	34	170	5,780
Receptor	17	86	2,322
Hélice	4	180	720
Cámara FPV	9	86	774
Transmisor FPV	39	86	3354

En la Tabla 3 se discrimina cada elemento por peso y distancia con lo que calculamos el momento que cada elemento ejerce sobre la estructura de la aeronave, con lo cual podemos analizar si la distribución de los elementos será óptima para el modelo y obtener el mejor rendimiento tanto aerodinámico como eléctrico.

5.2.5 Centro de Gravedad

De la ecuación 1, la cual fue usada para hallar la cuerda promedio. Se escoge el 33% del valor para conocer el valor de la ubicación del centro de gravedad de sentido lateral del ala.

$$CG_{lateral} = C_{avg} \times 33\% \quad (11)$$
$$CG_{horizontal} = 20.25 \text{ cm} \times 33\%$$
$$CG_{horizontal} = 6.68 \text{ cm}$$

Ahora para su centro de gravedad de forma longitudinal se toma el 25% del valor de la cuerda promedio.

$$CG_{longitudinal} = C_{avg} \times 25\% \quad (12)$$

$$CG_{longitudinal} = 20.25 \text{ cm} \times 25\%$$

$$CG_{longitudinal} = 5.06 \text{ cm}$$

Estos valores se evidencian en la figura 16, donde con la calculadora virtual.

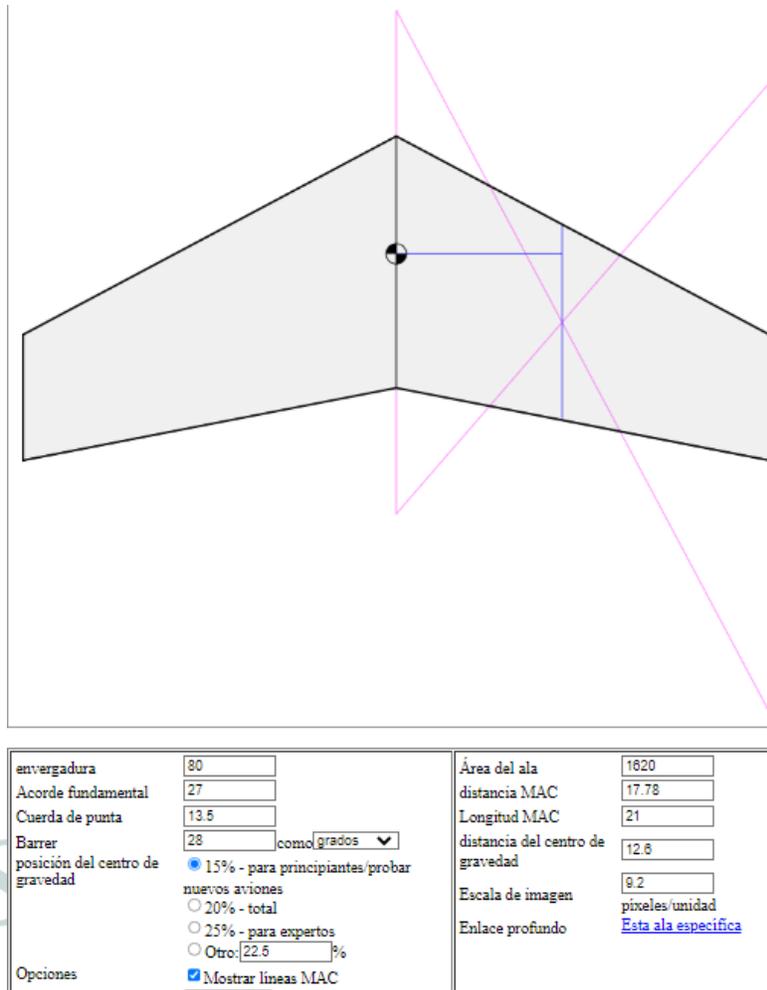


Figura 17: Calculadora CG [27]

5.2.6 Simulación Aerodinámica

Para la simulación aerodinámica del Ala Zagi, se usó el software gratuito XFLR5. Allí se realiza el modelo diseñado anteriormente con los perfiles y dimensiones ya estudiadas y seleccionadas.

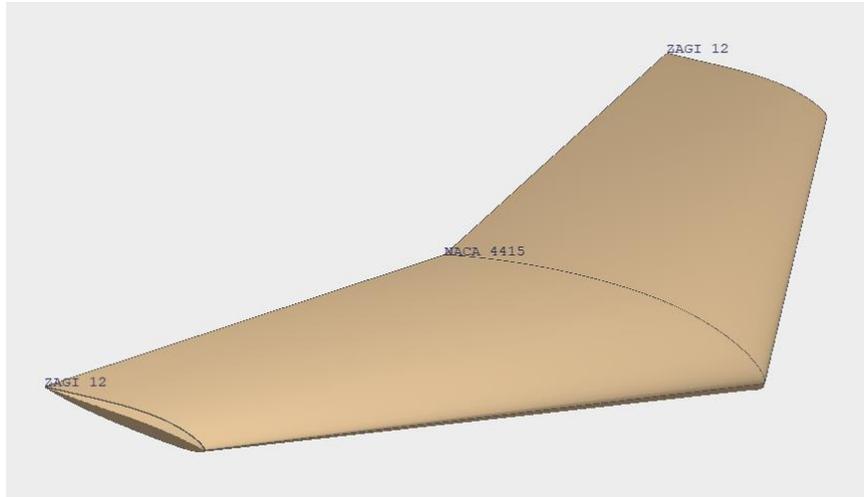


Figura 18: Ala Zagi en software XFLR5.

De este modo el programa toma el diseño como una sola figura y se podrá observar su comportamiento con los valores y propiedades ya determinadas anteriormente en los cálculos.

Para su análisis se usa la velocidad crucero de la ecuación 9, el valor de densidad y un rango para el ángulo de ataque del ala. En este caso será entre -3° y 45° y un aumento de 0.5° .

El software realiza la simulación con las propiedades dadas y en su resultado se puede evidenciar tanto la sustentación generada del diseño, como el drag inducido del perfil.

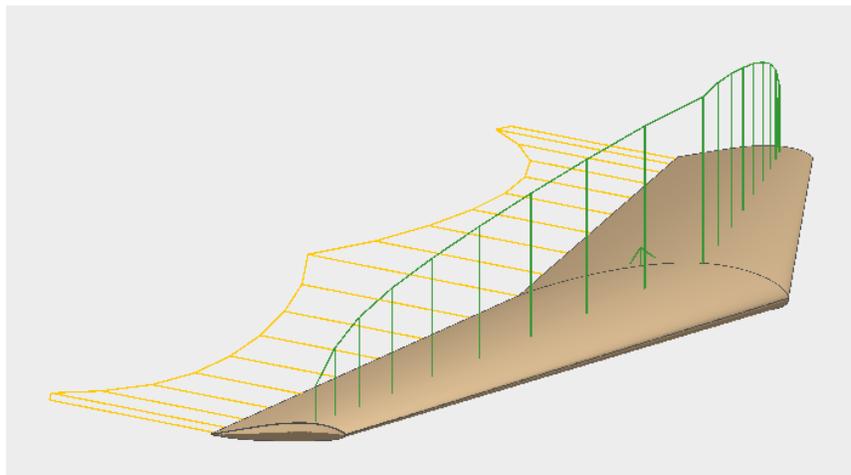


Figura 19: Ala Zagi con 10° de ángulo de ataque.

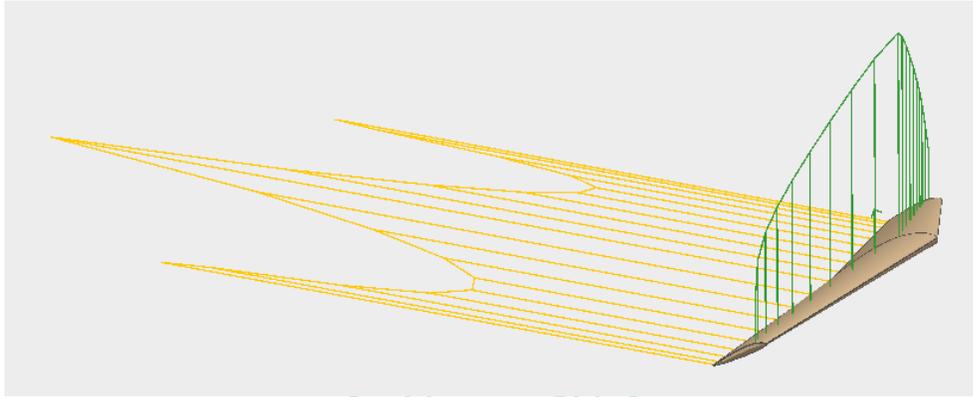


Figura 20: Ala Zagi con 30° de ángulo de ataque.

Con la simulación se puede determinar que al aumentar su ángulo de ataque también aumentará tanto su sustentación como su drag inducido. Y el modelo del Ala Zagi diseñado entrará en pérdida a un ángulo de 39°. Lo cual da un amplio rango para el manejo y control de este diseño de Ala

Zagi.

El software también nos permite observar la distribución de la sustentación por toda la envergadura, esto para determinar por cual zona del ala sería más probable que entre en pérdida.

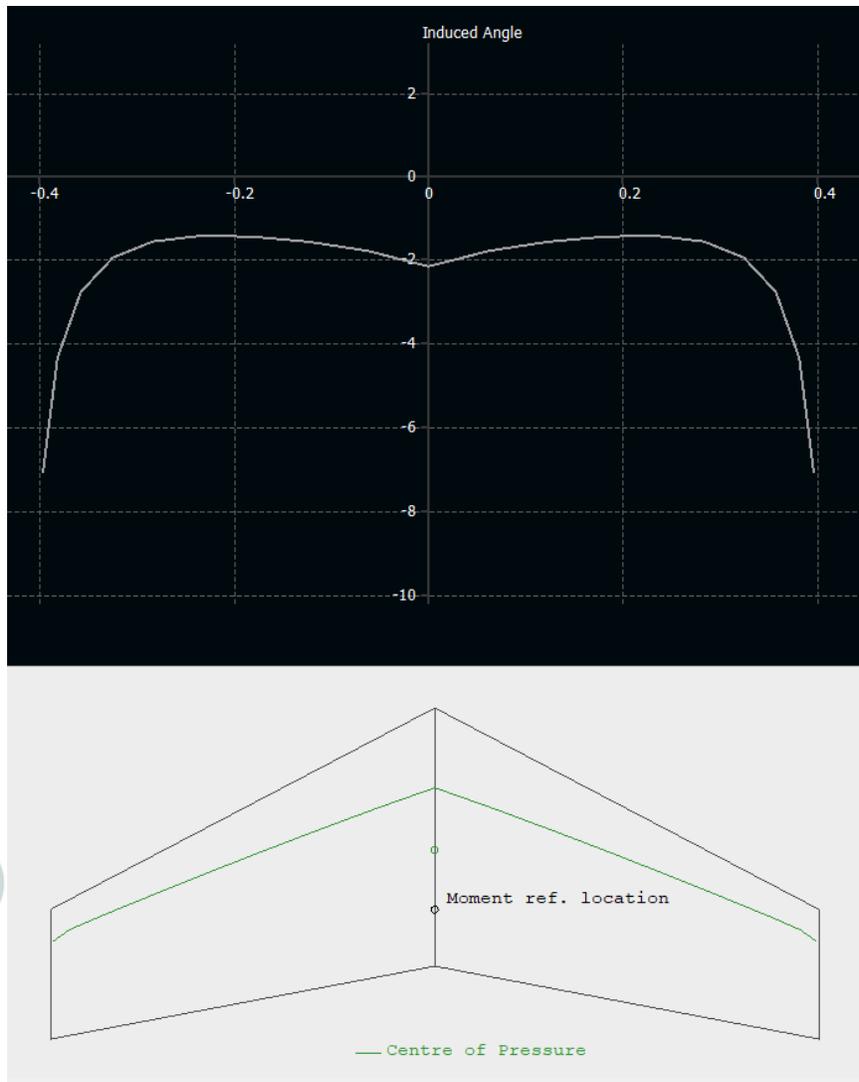


Figura 21: Distribución de sustentación Ala Zagi con 10° de ángulo de ataque.

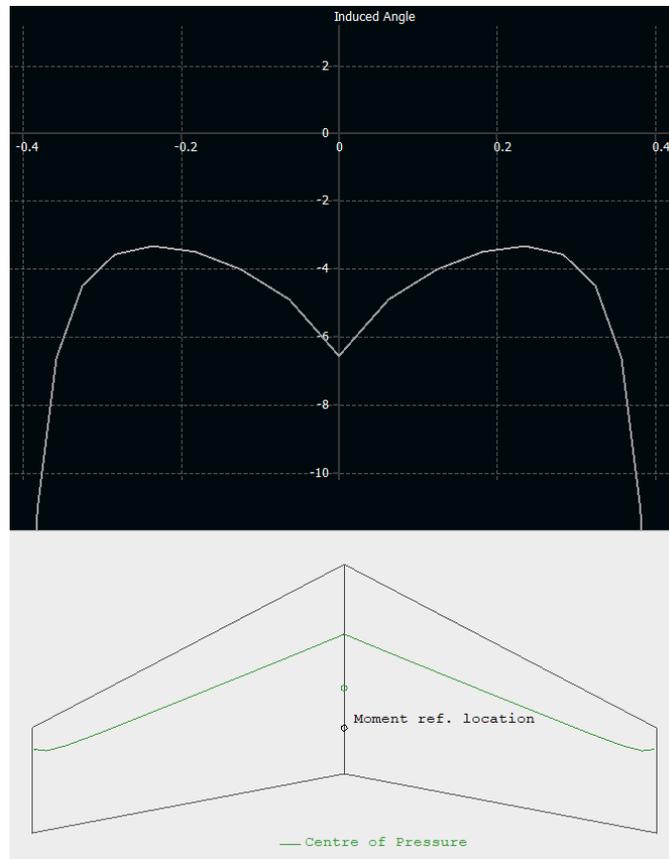


Figura 22: Distribución de sustentación Ala Zagi con 30° de ángulo de ataque.

Se puede determinar que con ángulo de ataque de 10° existirá más sustentación en el Ala, y por lo tanto más control en el vuelo; mientras que con un ángulo de 30° será mucho más probable que entre en pérdida más rápido.

5.2.7 Simulaciones Deformación y Resistencia del material

El diseño de deformación de los materiales se realizó con ayuda del software SolidWorks con el cual se realizó el diseño de la aeronave y la simulación de esfuerzos estático realizando un análisis del comportamiento sometida a diferentes esfuerzos principalmente de los esfuerzos que la aeronave se encuentra sometido por las fuerzas aerodinámicas y posibles choques, este análisis se

realiza teniendo en cuenta las propiedades físicas del material de fabricación, como se relaciona a continuación:

Tabla 4: Propiedades Físicas Poliestireno Expandido.

Propiedades	GPA
Flexión	0.000172
Módulo de Young	3,4

Estos datos son necesarios debido a que SolidWorks en su panel de materiales permite la personalización de las propiedades físicas del material, permitiendo simular de la forma más real el comportamiento del material durante sus fases de vuelo de la aeronave.

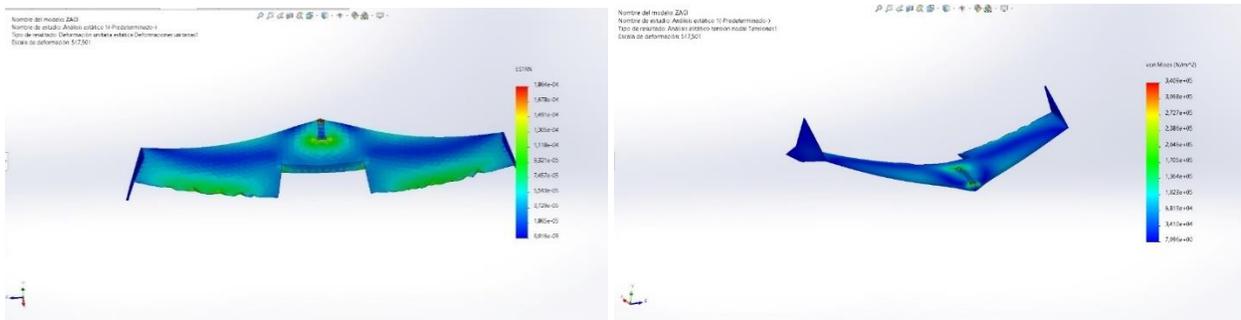


Figura 23: Deformación producida por fuerzas aerodinámicas.

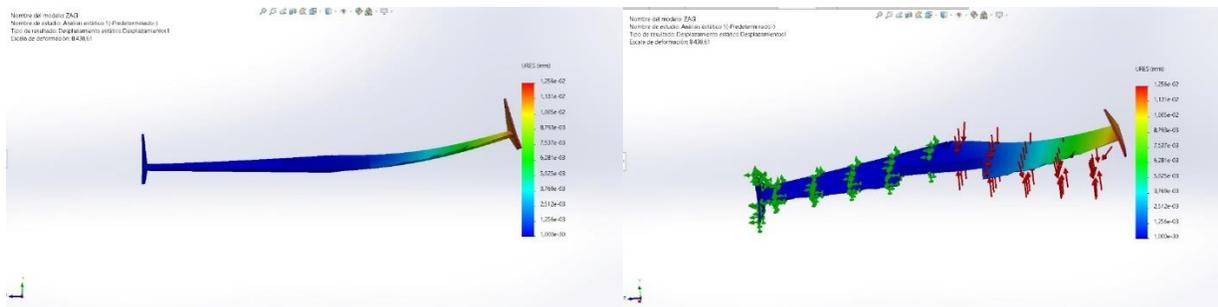


Figura 24: Deformación producida por aplicación de una fuerza externa.

De acuerdo con los resultados obtenidos podemos observar que la forma de la aeronave tiende a tener puntos débiles acercándose a los extremos de sus planos por lo que es necesario añadir un refuerzo en esas zonas al igual que fortalezca la estructura en los lugares donde es necesario retirar material para el acoplamiento de elementos electrónicos.

5.2.8 Simulación Estabilidad y Control

Para esta simulación, se utiliza el software XFLR5. Este permite obtener datos necesarios para evaluar la respuesta frente a perturbaciones que puedan ocurrir en la condición de vuelo del modelo diseñado. [28]

Para realizar esta simulación es muy importante conocer los tres marcos de referencia en los que se basa el programa. Comenzando por el eje de fuselaje, que se ubica dependiendo la dirección y el eje en el que se fije el cuerpo del modelo. Por lo tanto, la nariz de la aeronave o borde de ataque del perfil de raíz estará ubicado en el eje X, el eje Y de forma perpendicular y el eje Z de forma vertical. Sigue con el eje geométrico en el cual el diseño y geometría fue definida. Y los ejes de estabilidad en el cual el movimiento cuando se encuentre estable será más fácil describir.

Para iniciar esta simulación se define la geometría junto con las masas de los elementos que determinarán el control y estabilidad del Ala Zagi. [29]

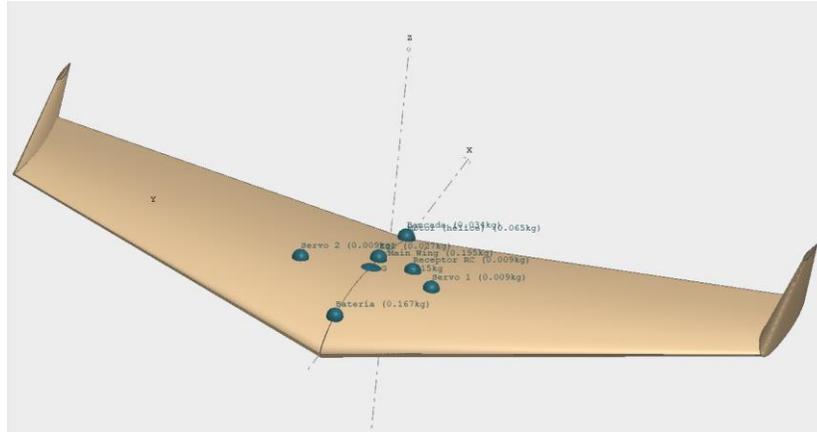


Figura 25: Ala Zagi con masas.

Seguidamente se corre la simulación con los datos entregados al programa para poder realizar el respectivo análisis de estabilidad tanto longitudinal como lateralmente.

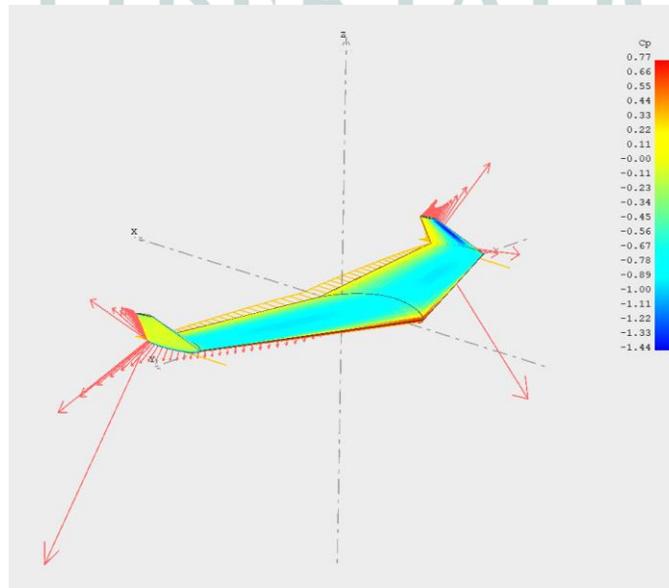


Figura 26: Simulación de estabilidad Ala Zagi.

En la imagen se observa la presión en términos de C_p (Coeficiente de presión relativa) que se presenta en las diferentes secciones del Ala Zagi. Esto demostrando mayor presión en el borde de ataque y disminuyendo en el extrados en comparación con el intrados, lo que permite una mayor diferencia de presiones y por lo tanto una mayor sustentación del ala con un vuelo estable y controlado.

De esta simulación se observa también, al finalizar el borde de salida con flechas rojas hacia distintos sentidos, el efecto de downwash; que se genera debido a la geometría del perfil alar, y como resultado este produce el drag o arrastre inducido.

5.2.9 Simulación Rendimiento Eléctrico

El rendimiento electrónico se realiza con el uso del software **eCalc** en el cual podemos obtener datos asociados al comportamiento eléctrico que la aeronave tiene durante su operación obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 5: Resultados simulados eCalc.

Ítem	SUE 1
Tiempo de vuelo mínimo	6,6 min
Tiempo de vuelo máximo	12 min
Velocidad de pérdida	3,12 m/s
Velocidad máxima	25,16 m/s
Sustentación crucero	32,24 N
Sustentación máxima	132,27 N
Carga alar	0,15

Masa	286 g
Régimen de ascenso	19,3 ft/min



Figura 27: Resultados simulación de rendimiento eléctrico.

Con esta simulación se logra estimar el comportamiento de los componentes electrónicos utilizando los indicadores (Figura 26) del rendimiento en factores, como la carga necesaria que la batería tiene funcionando en conjunto con el motor, así mismo se puede analizar el tiempo de vuelo medio que tiene la aeronave utilizando las características de los elementos electrónicos preseleccionados, logrando analizar si este se encuentra en un rango óptimo para su funcionamiento.

Así como la potencia eléctrica necesaria que la aeronave utiliza durante el vuelo, los datos como Empuje-Peso y velocidad del aire nos ayudan a verificar el performance de la aeronave analizando

que tan eficiente será esta, garantizando una combinación eficiente y con características de peso y costo que se acogen a los requerimientos de la carrera ZAGI AESS RACE 2022.

5.2.10 Estimación de Costos

En la tabla 6 y 7 se encuentra los materiales necesarios para la fabricación y componentes eléctricos del prototipo y modelo final, junto con su cantidad necesaria y precio final asequible de acuerdo al presupuesto estipulado en los requerimientos.

Tabla 6: Costo Materiales Fabricación.

MATERIALES FABRICACIÓN ALA				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNT. (\$)	PRECIO TOTAL (\$)
1	LAMINA ICOPOR (1.5 m x 1.5 m)	1	\$42.000	\$42.000
2	SILICONA FRIA (100 ml)	2	\$6.000	\$12.000
3	SILICONA CALIENTE (Barras)	4	\$500	\$2.000
4	VELCRO (m)	1	\$800	\$800
5	CINTA ROJA (9 m)	1	\$6.000	\$6.000
6	CINTA VERDE (9 m)	1	\$6.000	\$6.000
7	CINTA BLANCA (9 m)	1	\$6.000	\$6.000
8	PALOS DE CEDRO (0.5 cm x 0.5 cm)	4	\$3,200	\$12,800
9	TABLA DE BALSO (3 mm)	1	\$2,500	\$2,500
10	SOPORTE DE MOTOR	1	\$18.000	\$18.000
11	CUERNOS	4	\$4.000	\$16.000
12	LAMINA CARTON PLAS (70 cm x 100 cm)	1	\$5.000	\$5.000

Tabla 7: Costo Materiales Componentes Eléctricos.

MATERIALES ELECTRONICA				
ITEM	DESCRIPCIÓN	CANT	PRECIO UNT.	PRECIO TOTAL (\$)
1	ESC 30	1	\$40.000	\$40.000
2	MOTOR BRUSHLESS / 1400KV	1	\$90.000	\$90.000
3	SERVO MOTOR METALICO	2	\$16.000	\$32.000
4	RECEPTOR Y CONTROL R/C	1	\$320.000	\$320.000
6	CAMARA FPV RUMCAM	1	\$180.000	\$180.000
7	RECEPTOR FPV	1	\$80.000	\$80.000
8	TRANSMISOR FVP	1	\$170.000	\$170.000
9	CAPTURADOR DE IMAGEN RCA	1	\$20.000	\$20.000
10	BATERIA 3S 2200mAh	1	\$120.000	\$120.000
11	HELICE 7X6E	2	\$6.000	\$12.000

A partir de las tablas, se evidencia que el costo de los componentes tanto de fabricación como electrónicos, sin incluir radiocontrol, ni cámara FPV debido a que no fue usada en el concurso, fue de un total de \$ 673.100 pesos, lo cual afirma que cumple con el presupuesto inicial planeado.

5.2.11 Elección de Componentes

De acuerdo con lo simulado en el software e-calc se logra determinar que los componentes con los que se logra garantizar un máximo de eficiencia y rendimiento de la aeronave son:

Tabla 8: Características Motor Brushless

<u>Motor</u>	<u>Diámetro (mm)</u>	<u>Altura (mm)</u>	<u>Voltaje batería</u>	<u>KV</u>	<u>Corriente (A)</u>	<u>Eficiencia</u>	<u>Empuje (G)</u>	<u>Poder (W)</u>	<u>RPM</u>
XA2212 1400 Kv 10T	22	12	11.1	1400	2.2	4.1825	845.5	213.22	10187.5

Tabla 9: Rendimiento Motor Brushless

XA 2212 Brushless motor test record							
Motor type	The voltage (V)	Prop. Size	Current (A)	Thrust (G)	Power (W)	Efficiency (G/W)	RPM
XA 2212 820KV	12	APC 11*4.7	12	830	144	5.8	5720
	8	APC 11*4.7	7.3	500	58.4	8.6	4650
XA 2212 980KV	12	APC 10*4.7	15.1	880	181.2	4.9	6960
	8	APC 10*4.7	9.5	550	76	7.2	5470
	12	APC 9*6	12.3	730	147.6	4.9	8220
	8	APC 9*6	7.1	400	56.8	7.0	6090
XA 2212 1400KV	12	APC 8*4	16.4	930	196.8	4.7	12020
	8	APC 8*4	9.1	500	72.8	6.9	8900
	12	APC 8*6	20.6	940	247.2	3.8	10750
	8	APC 8*6	11.9	520	95.2	5.5	8250

De acuerdo con la tabla 10 podemos observar que la mejor elección de hélice para el tipo de motor está en un valor de 8, teniendo en cuenta la eficiencia que entrega con respecto a la batería a utilizar.

Tabla 10: Rendimiento batería.

Celdas	mAh	Razón de descarga (C)	Voltaje
3s	2200	25	11.1

Tabla 11: Rendimiento ESC.

Bec	Amperios (A)
5 v	30

5.3 Diseño Detallado.

El diseño detallado es la última fase durante el diseño del prototipo, por lo que en esta fase se logran evidenciar los resultados de lo calculado, simulado y estimado, en donde se espera colocar a prueba las características y comportamientos del ala, así como mejorar su presentación y organización.

5.3.1 Fabricación Prototipo

La fabricación del prototipo se llevó a cabo de acuerdo con los parámetros y requisitos de la carrera en la que se espera participar, así como teniendo en cuenta los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas.

Para la fabricación se comenzó con la fabricación de un cortador de poliestireno expandido casero con el cual se realiza el corte detallado de los perfiles anteriormente seleccionados.

Para realizar el corte sobre el material fue necesario fabricar una plantilla de los perfiles para seguido de ello usarlos como guía para el corte del poliestireno expandido como lo podemos ver en la figura 28.



Figura 28: Corte de perfiles.

El siguiente paso consiste en la unión de los dos planos cortados anteriormente utilizando silicona fría, la cual garantiza una alta adherencia entre las dos piezas, este proceso dura un aproximado de 1 semana el secado de la unión de esta pieza, obteniendo un resultado como se observa en la figura 29.

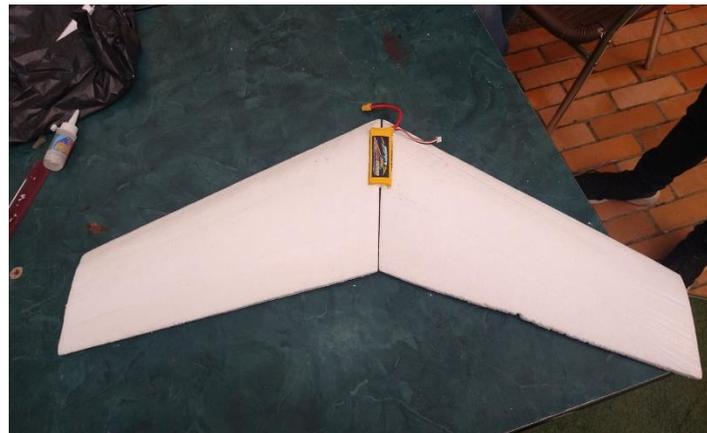


Figura 29: Unión planos.

De acuerdo con lo simulado anteriormente se llegó a la conclusión de que sería necesario realizar refuerzos estructurales sobre la estructura construida, para ello se insertaron refuerzos con palos de cedro ya que este tipo de madera cuenta con una alta rigidez y su peso no afecta el diseño original, manteniendo la estructura rígida y ligera.



Figura 30: Refuerzos estructurales.

Se lleva a cabo un recubrimiento sobre toda la estructura de la aeronave con cinta para embalar la cual da un acabado liso y ayuda a generar rigidez sobre la estructura, evitando que el poliestireno expandido de alta densidad o icopor se quiebre con facilidad, este acabado se logra dirigiendo la cinta a utilizar en el sentido del ángulo de flecha miento del ala.



Figura 31: Recubrimiento Ala.

Después de tener el ala con su recubrimiento, se disponen los componentes electrónicos anteriormente elegidos, en los espacios designados durante el diseño realizado en CAD, como se relaciona en la figura 32.

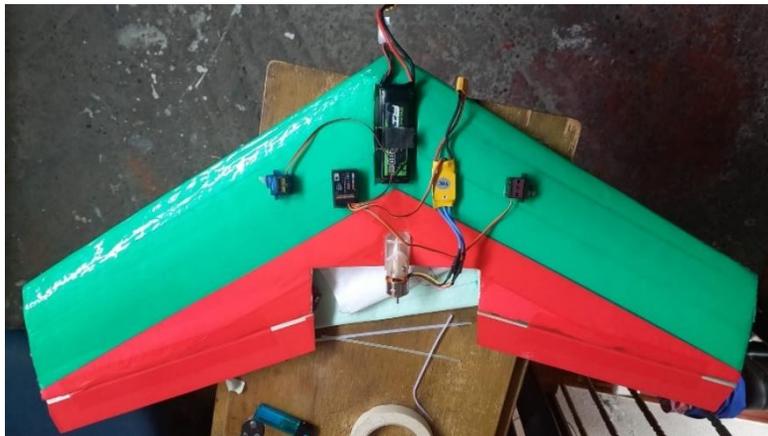


Figura 32: Instalación Electrónica.

Un elemento adicional el cual fue necesario para garantizar la estabilidad de la aeronave y de acuerdo a los resultados obtenidos durante la simulación de estabilidad se realizaron con una lámina de cartón-plast y asegurándose así la estabilidad del diseño.

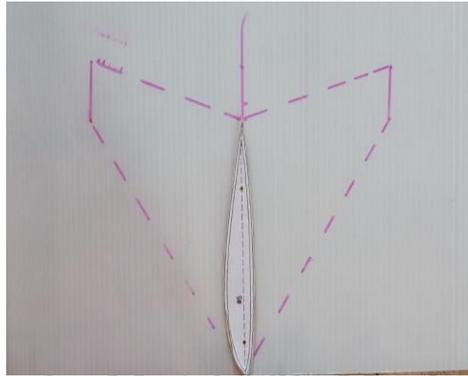


Figura 33: Fabricación Winglets.

Finalmente realizamos la comprobación el movimiento de los componentes y la telemetría, realizando ensayos en tierra de su correcto funcionamiento, teniendo en cuenta lo simulando para obtener los mejores resultados durante el vuelo de comprobación.



Figura 34: Resultado Final.

5.3.2 Vuelos de comprobación

Los vuelos de comprobación se realizan en una zona despejada, donde sea seguro su vuelo, por lo tanto, se escoge Mondoñedo, municipio de Cundinamarca. Este es un espacio autorizado y frecuentado por aficionados en el tema, para UAV de categoría micro.



Figura 35: Vuelo de comprobación 1.

LOS LIBERTIADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA



Figura 36: Vuelo de comprobación 2.

Después de realizar los vuelos de prueba se entiende que es muy importante el control y delicadeza al maniobrar un Ala Zagi, debido a que cualquier movimiento brusco hacia el control también se moverá los servomotores y el Ala podría entrar en pérdida en cuestión de segundos, sin poder recuperarla.

Para su lanzamiento es importante mantener el motor en su 100% de potencia y lanzarse en contra del viento. Cuando se estabilice se ubica a 50% de potencia por ahorro de batería y una mejor maniobrabilidad.

El radiocontrol se encontraba en modo 1, así que el mando izquierdo se encargaba de la potencia del motor, mientras que el mando derecho era el responsable del movimiento de los alerones.

5.4 Participación Carrera AESS

La participación en la carrera se desarrolló los días 26 y 27 del mes agosto del año 2022 en la Escuela de Ingenieros Julio Garavito, con el equipo SUE en representación de la Fundación Universitaria Los Libertadores, a cargo de los docentes Didier Aldana y Cristian Tafur.

El concurso fue diseñado en dos etapas; la primera, donde se expuso el diseño y fabricación del Ala Zagi que competía, juntos con sus cálculos y simulaciones requeridas, y como segunda etapa, el vuelo en el circuito establecido de la figura 6.

Como resultado el equipo obtuvo el cuarto puesto de la competencia.



Figura 39: Premiación Carrera AEES Equipo SUE.

5.5 Evaluación para la Implementación de la Detección de Objetos

En la actualidad las aeronaves no tripuladas cuentan con diversas funciones y todas ellas se encuentran encaminadas a facilitar tareas del día a día o trabajos más especializados, uno de ellos es la detección de objetos por medio de sistemas de video, integrado a la aeronave, las aplicaciones más comunes que se pueden encontrar son la vigilancia, reconocimiento facial, identificador de amenazas, este proyecto está encaminado a la búsqueda de personas en situaciones de alto riesgo, como incendios, inundaciones, terremotos, o en su defecto que la persona se encuentre perdido en una zona hostil o de difícil acceso, de acuerdo a los análisis realizados durante la construcción y fabricación del Ala Zagi, se puede concluir que este tipo de aeronaves brindan un alto rendimiento abarcando grandes extensiones de tierra utilizando un consumo menor a diferencia de otro tipo de

aeronaves no tripuladas, al igual que su bajo costo de fabricación, lo hace un vehículo idóneo para este tipo de actividades.

Teniendo en cuenta lo anterior, se conceptualizó la manera más eficiente para llevar a cabo la detección de objetos y consecuente a ello un contador de personas, para esto se tiene presente que la aeronave opera con una velocidad promedio de 25 m/s en crucero lo cual dificulta la observación de un operario y analizar la grabación del recorrido de la aeronave llevaría tiempo crucial para las personas que se encuentran en dichas situaciones, la automatización del sistema lograría llevar a cabo la tarea de forma más eficiente y rápida, este tipo de tareas se logra mediante la programación de un modelo el cual sea capaz de categorizar objetos dentro de una imagen o fotograma, en base al trabajo de grado “Implementación de un sistema de detección y evasión de obstáculos de bajo costo para drones de ala fija” de la Fundación Universitaria Los Libertadores, en el cual se realizó una programación capaz de detectar objetos por medio del uso de 3 sensores (LIDAR, Cámara, Infrarrojo), los cuales brindaban una retroalimentación para la detección de un obstáculo, a pesar de contar con una cámara este sistema no contaba con la capacidad de clasificar o detectar de manera individual el objeto escogido, este concepto de la programación tradicional desarrolla una limitación en la realización de la tarea. Ya que esta no permite variaciones durante la ejecución del programa volviendo el sistema poco eficiente en su desarrollo, por ello se considera el uso de un modelo de Inteligencia Artificial haciendo uso de Perceptrones multicapas o mejor conocidos como redes neuronales, las cuales determinan mediante una entrada y una salida la toma de decisiones para de este modo llegar a la respuesta más conveniente para el sistema, para entender mejor en qué consisten las redes neuronales se dará una explicación de su tipo de modelo y funcionamiento realizando un enfoque a la composición de la tarea deseada.

5.5.1 Red Neuronal Convolutacional Visión Artificial

La ejecución de la red neuronal convolutacional se llevó a cabo en la herramienta de Google Colab, la cual nos ofrece un editor de código online el cual nos permite realizar operaciones complejas con un bajo costo computacional, usando Python como lenguaje de programación y base para el desarrollo.

El detector Yolo se conecta a Drive, por lo que se crea una carpeta con las imágenes a procesar, y se permite el acceso al detector.

Debido a que Colab se trabaja online, se ejecuta el acceso al repositorio de Yolo para la detección y reconocimiento de imágenes una vez. El modelo trabajado es pre-entrenado desde la versión 4 de Yolo.

Se realiza la exportación de la imagen o video desde la carpeta creada en Drive, y se ejecuta el detector para su procesamiento, junto con su visualización del resultado en el editor.

Finalmente se permite enviar y guardar el resultado del detector a la carpeta creada en Drive para sus futuros análisis.

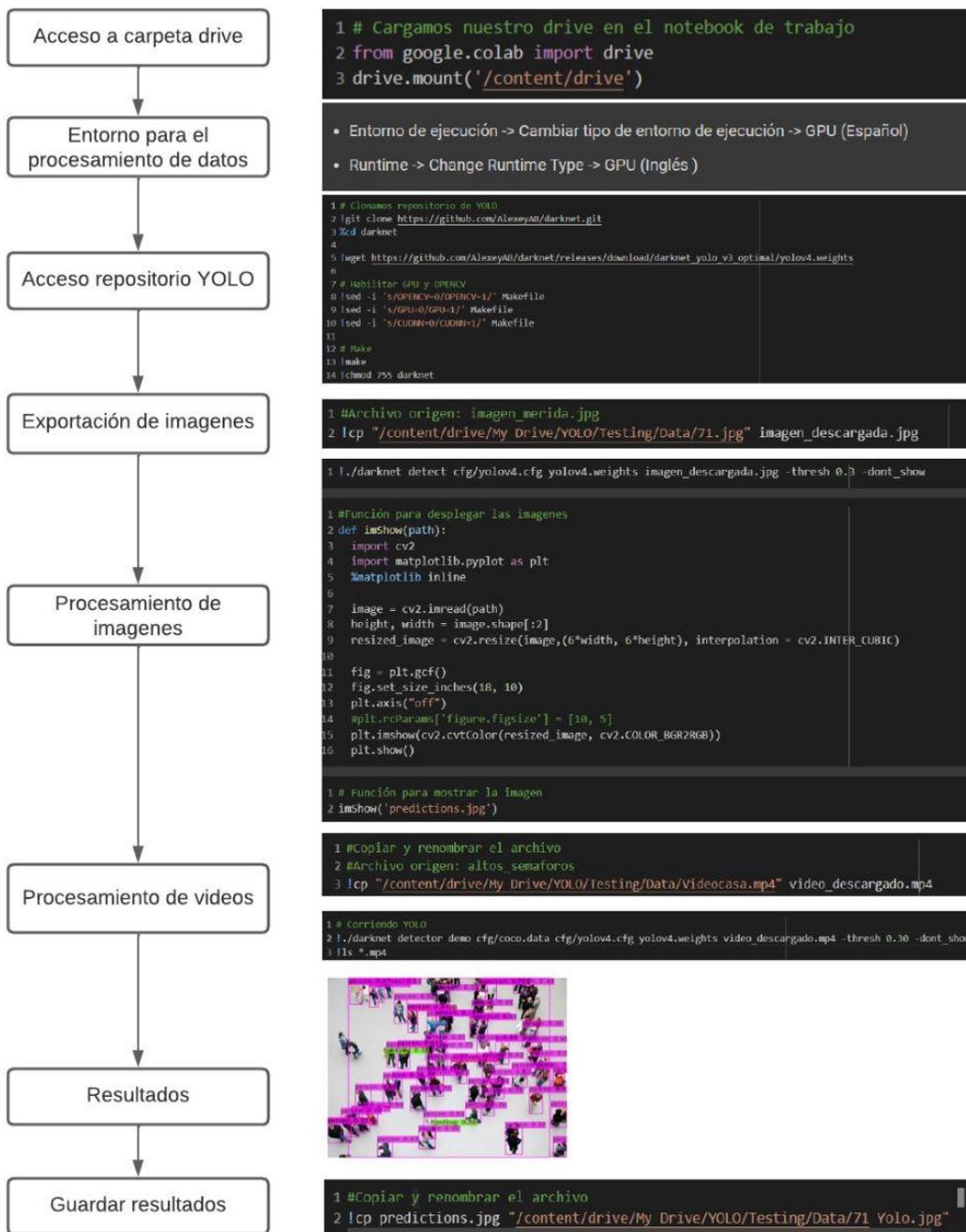


Figura 40: Diagrama de fases entrenamiento red neuronal.

5.5.2 Error relativo

Para calcular el porcentaje de error relativo de la red neuronal convolucional a utilizar, se comparó la cantidad de personas analizadas de manera manual con el programa online MakeSense (figura 41), y usando la red neuronal convolucional pre-entrenada YOLO V4 (figura 42). En donde se compararon 15 imágenes diferentes.

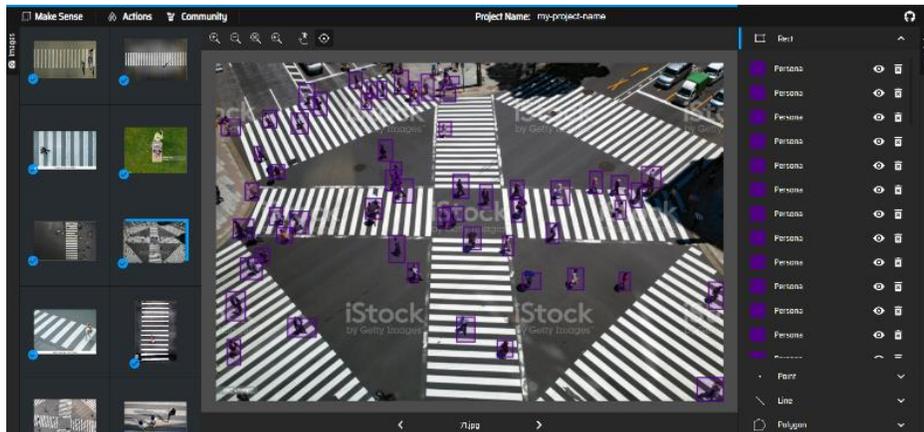


Figura 41: Etiquetado manual de imágenes.

LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

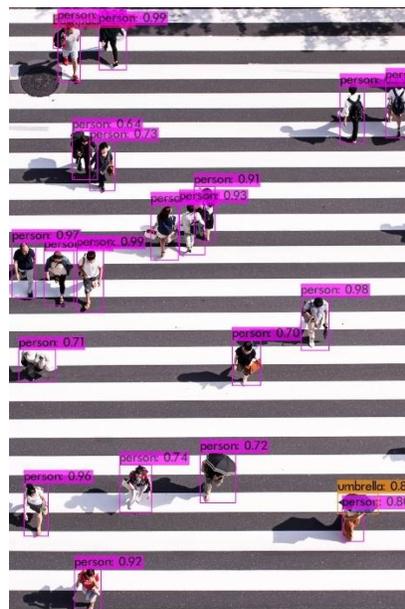


Figura 42: Reconocimiento de imágenes con programación. [30]

Para conocer el error relativo de la red neuronal se utiliza la fórmula 13.

$$error_{relativo} = \frac{|Valor\ real - Valor\ absoluto|}{Valor\ real} \quad (13)$$

Se tomó como valor real el etiquetamiento manual de las imágenes, y como valor absoluto la salida de la red neuronal.

Tabla 12: Error relativo IA.

Imagen	Etiquetamiento Manual	Programación	Porcentaje
1	68	38	44.12%
2	65	69	6.15%
3	20	20	0.00%
4	12	11	8.33%
5	3	4	33.33%
6	4	4	0.00%
7	1	1	0.00%
8	23	24	4.35%
9	4	4	0.00%
10	19	21	10.53%
11	8	8	0.00%
12	7	8	14.29%
13	8	8	0.00%
14	5	5	0.00%
15	8	8	0.00%
Promedio			8.07%

De la tabla 12, se demuestra que la IA presenta un 8% de error, sin embargo, se demuestra que esta presenta una base de datos robusta y una cantidad de capas y redes neuronales que permiten una alta precisión, debido a que clasifica como persona cuando se observa solamente alguna extremidad del cuerpo.

5.5.3 Validación Detección de Objetos

Para la validación se realizó en dos etapas, la primera realizando comprobaciones desde tierra con el sistema FPV que después será utilizado durante esta etapa se evalúa la precisión de la Red Neuronal Convolutiva entrenada anteriormente.



Figura 43: Sistema FPV

Para la segunda etapa de esta validación se realiza un montaje en la aeronave de este sistema de FPV anteriormente comprobado en la imagen 43. Y se realizan pruebas en tierra comprobando que todo el sistema implementado transmite en tiempo real a la estación en tierra en donde se realizan las capturas de las imágenes y el grabado del vuelo.

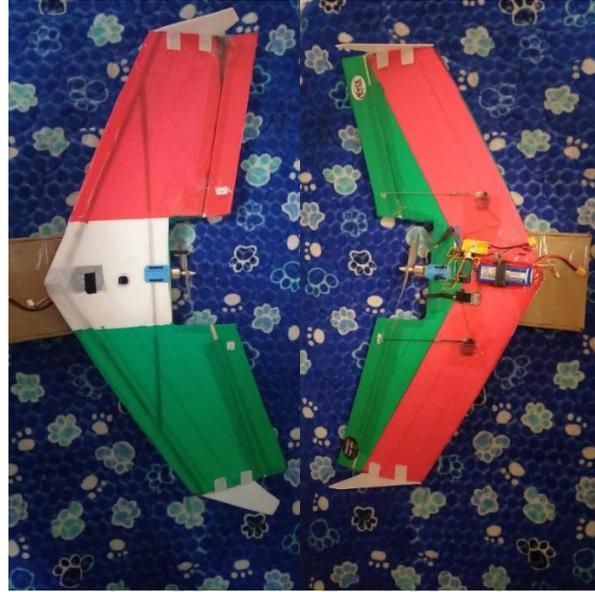


Figura 44: Montaje Sistema FPV

La última fase para la validación se realizó en vuelo, en donde el Colegio Militar Antonio Nariño nos permitió usar sus instalaciones para realizar un vuelo de prueba, Imagen 45.



Figura 46: Prueba de vuelo con IA.

Durante las pruebas de vuelo se logró realizar un reconocimiento de la zona tomando las fotografías y videos con éxito, como se observa en la imagen 46. Las cuales seguido a ello fueron procesadas y validadas por la inteligencia artificial programada en Python y usando la red Neuronal Convolutiva de Yolo V4.

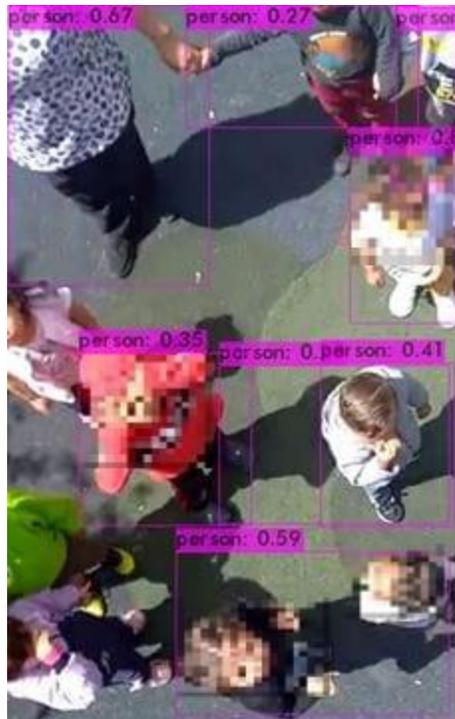
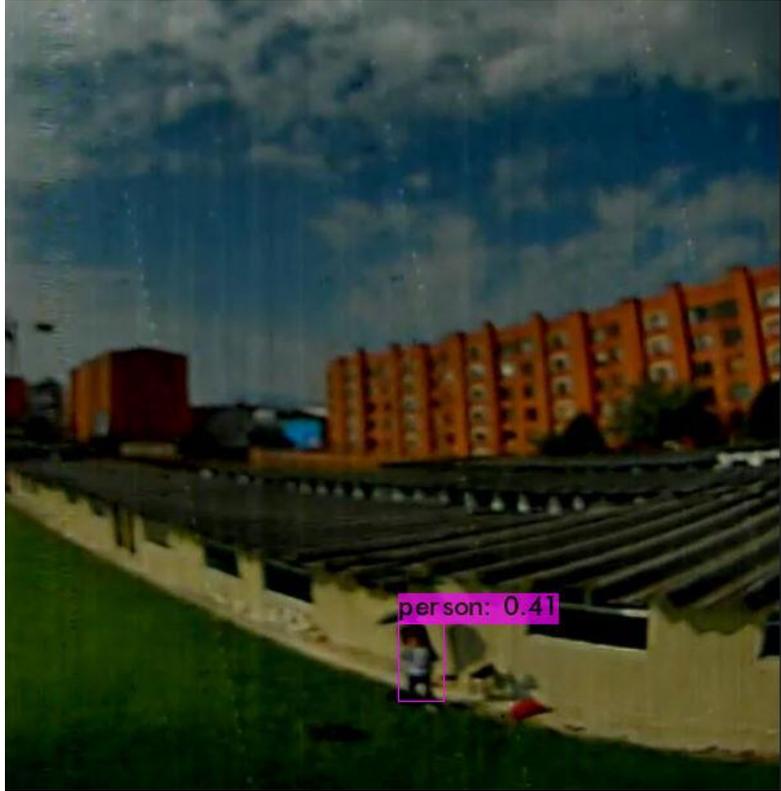


Figura 47: Prueba en tierra.

LOS LIBERTADORES



Figura 48: Prueba en tierra 2.



LOS LIBERTADORES

Figura 47: Prueba de Vuelo 1.



Figura 48: Prueba de Vuelo 2.



Figura 49: Prueba de Vuelo 3.



Figura 50: Prueba de Vuelo 4.

6.1 Conclusiones

El diseño del ala volante tipo Zagi, ha permitido dar aplicación a los conocimientos adquiridos durante el pregrado, como: Aerodinámica en la elección de los perfiles, diseño de la geometría, cálculos y simulaciones que permitieron determinar el comportamiento que el prototipo mantendrá durante su vuelo, Análisis estructural en donde se determinó la resistencia que el material tiene donde se logró analizar que sería necesario utilizar refuerzos a la estructura a lo largo de los planos, Se lograron aplicar conceptos básicos de Electrónica, en la conexión de los componentes para la telemetría del control y el sistema FPV.

La fabricación del ala se realiza de acuerdo con lo estimado en las simulaciones y los requerimientos de la competencia ZAGI RACE 2022, utilizando materiales asequibles al presupuesto dispuesto para la ejecución del prototipo.

La programación se realiza utilizando Redes Neuronales Convolucionales validándolo en tres diferentes fases en donde se realiza una comprobación de los objetos con base en las imágenes obtenidas de internet, comparando la precisión que tiene la Inteligencia Artificial entrenada y la detección realizada por una persona con un error relativo del 8%, seguido a ello se realizó la toma de imágenes y videos utilizando el sistema FPV en tierra y en vuelo la cual se evidenció una precisión entre 2% y el 96%.

Durante los vuelos de comprobación se logró validar el funcionamiento del sistema FPV y su telemetría, con base en las imágenes obtenidas durante el vuelo podemos analizar que la calidad y posicionamiento para la toma de imágenes, son los factores más influyentes en la detección de

los objetos y su precisión alcanzada, el vuelo que se realizó se garantizó el cumplimiento de la normativa y circulares publicadas por la Aerocivil.



LOS LIBERTADORES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Bibliografía

- [1] J. Martínez. (2020, octubre 04). Estudio y Caracterización de Materiales Estructurales para Drones. [Online]. Available: <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/8904/tfg-mar-est.pdf?sequence=1#:~:text=Teniendo%20en%20cuenta%20de%20que,veh%C3%ADculos%20data%20del%20a%C3%B1o%201849>.
- [2] C. Cuerno, L. García, A. Sánchez, A. Carrio, J. Sánchez, P. Campoy. (2016, mayo). Evolución histórica de los vehículos aéreos no tripulados hasta la actualidad. [Online]. Available: https://oa.upm.es/40803/1/INVE_MEM_2015_203893.pdf
- [3] Imperial War Museums. The V1 Flying Bomb Hitler's vengeance weapon. [Online]. Available: <https://www.iwm.org.uk/history/the-v1-flying-bomb-hitlers-vengeance-weapon>
- [4] J. Keane, S. Carr. (2013). A Brief History of Early Unmanned Aircraft. Johns Hopkins Apl Technical Digest. Vol. 32. No 3.
- [5] D. Irvin, *History of Strategic Drone Operations*. Paducah, KY, United States: Turner Publishing Company, 2003.
- [6] D. Craig. (2020, enero 10). Remote Controlled Drones History of: Past, Present, and Future. [Online]. Available: <https://airadrone.com/remote-controlled-drones-history-of-past-present-and-future/>
- [7] G. Gutiérrez, M. Searcy, "Introduction to the UAV special edition," *The SAA Archaeological Record*, vol. 16, no. 2, marzo 2016.
- [8] A. Usama, M. Dora, M. Elhadidy, H.Khater, O. Alkelany. First Person View Drone – FPV. [Online]. Available: https://iugrc.journals.ekb.eg/article_246400_22283097fe2a70cb24ce08e41dd3b518.pdf

- [9] UAEAC. Reglamento Aeronáutico Colombiano, RAC. [Online]. Available: <https://www.aerocivil.gov.co/normatividad/RACHISTORICO2018DICIEMBRE/RAC%20%2091%20-%20Reglas%20Generales%20%20de%20Vuelo%20y%20de%20Operaci%C3%B3n.pdf>
- [10] F. Reuter, A. Pedenovi, “Los drones y sus aplicaciones a la ingeniería,” *Facultad de ciencias forestales*, vol. 43, marzo 2019. [Online]. Available: https://fcf.unse.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/SD-43-Drones-y-su-aplicacion-a-la-ingenieria-REUTER_r.pdf
- [11] B. Kuo, *Sistemas De Control Automático*. 1^a ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 1996.
- [12] Infoagro Systems, S.L. [Online]. Available: [https://www.infoagro.com/documentos/images/778.asp?foto=figura_5_diagrama de bloques de un proceso de control en lazo abierto](https://www.infoagro.com/documentos/images/778.asp?foto=figura_5_diagrama_de_bloques_de_un_proceso_de_control_en_lazo_abierto)
- [13] S. Charre, J. Alcalá, N. López, M. Durán. (2014, agosto 27). Sistema Didáctico de Control de Presión. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Diagrama-a-bloques-de-un-sistema-de-control-en-lazo-cerrado_fig1_267454753
- [14] M. Boden, *Inteligencia Artificial*. 1^a ed. España: Turner Publicaciones, 2017.
- [15] P. Ponce, *Inteligencia Artificial con Aplicaciones a la Ingeniería*. 1^a ed. México: Alfaomega Grupo Editor, 2010.
- [16] P. García, “Reconocimiento De Imágenes Utilizando Redes Neuronales Artificiales”, M.S. thesis, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España, 2012. [Online]. Available: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/23444/1/ProyectoFinMasterPedroPablo.pdf>
- [17] M. Massiris, C. Delrieux, J. Fernández. (2018, septiembre 5). Detección De Equipos De Protección Personal Mediante Red Neuronal Convolutiva Yolo. [Online]. Available:

- https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/8846/1/978-84-09-04460-3_1022.pdf
- [18] S. Pardo. (2018, julio). Aplicación del modelo Bag-of-Words al Reconocimiento de Imágenes. [Online]. Available: https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7107/PFC_Sara_Pardo_Feijoo.pdf?sequence=1
- [19] L. Salcedo. (2020, diciembre 22). YOLO (You Only Look Once): Detección de Objetos en Tiempo Real. [Online]. Available: <https://pythondiario.com/2018/09/yolo-you-only-look-once-deteccion-de.html>
- [20] Data Science Team. (2020). [Online]. Available: <https://datascience.eu/es/matematica-y-estadistica/convolucion/>
- [21] J. Bagnato. Redes Neuronales Convolucionales. [Online]. Available: <https://www.juanbarrios.com/redes-neurales-convolucionales/>
- [22] MIRO. [Online]. Available: <https://miro.com/es/>
- [23] Zagi AESS Race. [Online]. Available: <https://aesscolombia.com/ZAGI/>
- [24] Joyplanes RC. (2021, enero 15). [Online]. Available: <https://joyplanes.com/es/seleccion-de-perfiles-alares-para-aeromodelos/>
- [25] J. Amaro. (2019, agosto). Análisis Aerodinámico del estabilizador horizontal de una aeronave de aviación general. [Online]. Available: <https://cidesi.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1024/436/1/TE-JEAA-2019.pdf>
- [26] J. Roshanian, A. Bataleblu, M. Farghadani, B. Ebrahimi, “Metamodel-based Multidisciplinary Design Optimization of a General Aviation Aircraft,” in 12th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, Braunschweig, Germany, Junio 2017.

- [27] Flying Wing CG Calculator. [Online]. Available: https://fwcg.3dzone.dk/?wing_span=80&root_chord=27&tip_chord=13.5&sweep_type=1&sweep=28&cg_pos=15&show_mac_lines=1
- [28] Guía para XFLR5. (2011, febrero). Versión 6.03. [Online]. Available: <http://www.xflr5.tech/docs/Acerca%20de%20XFLR5%20%20V6.03.pdf>
- [29] Manual de uso de XFLR5. Anexo C. [Online]. Available: <https://docplayer.es/91425382-Manual-de-uso-de-xflr5.html>
- [30] iStock. [Online]. Available: <https://www.istockphoto.com/es/foto/mirar-el-paso-de-peatones-del-cruce-revuelto-desde-arriba-gm674985198-124067443>



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

Anexos

Código de ejecución de Inteligencia Artificial para detección de Objetos

```
# Cargamos nuestro drive en el notebook de trabajo
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
# Ejecución con GPU
# Entorno de ejecución -> Cambiar tipo de entorno de ejecución -> GPU
(Español)

# Clonamos repositorio de YOLO
!git clone https://github.com/AlexeyAB/darknet.git
%cd darknet

!wget
https://github.com/AlexeyAB/darknet/releases/download/darknet_yolo_v3_optimal/
yolov4.weights

# Habilitar GPU y OPENCV
!sed -i 's/OPENCV=0/OPENCV=1/' Makefile
!sed -i 's/GPU=0/GPU=1/' Makefile
!sed -i 's/CUDNN=0/CUDNN=1/' Makefile

# Make
!make
!chmod 755 darknet

#Archivo origen: imagen_merida.jpg
!cp "/content/drive/My Drive/YOLO/Testing/Data/71.jpg" imagen_descargada.jpg
!./darknet detect cfg/yolov4.cfg yolov4.weights imagen_descargada.jpg -thresh
0.3 -dont_show
#Función para desplegar las imagenes
def imShow(path):
    import cv2
    import matplotlib.pyplot as plt
    %matplotlib inline

    image = cv2.imread(path)
    height, width = image.shape[:2]
    resized_image = cv2.resize(image, (6*width, 6*height), interpolation =
cv2.INTER_CUBIC)

    fig = plt.gcf()
    fig.set_size_inches(18, 10)
    plt.axis("off")
    #plt.rcParams['figure.figsize'] = [10, 5]
    plt.imshow(cv2.cvtColor(resized_image, cv2.COLOR_BGR2RGB))
    plt.show()

# Función para mostrar la imagen
imShow('predictions.jpg')

# Copiar y renombrar el archivo
!cp
```

```
predictions.jpg
"/content/drive/My Drive/YOLO/Testing/Data/71 Yolo.jpg"

#DETECCIÓN VIDEO

# Copiar y renombrar el archivo
# Archivo origen: altos_semaforos
!cp
"/content/drive/My Drive/YOLO/Testing/Data/Videocasa.mp4"
video_descargado.mp4
# Corriendo YOLO
!./ darknet detector democfg / coco.datacfg / yolov4.cfg yolov4.weights
video_descargado.mp4 - thresh 0.30 - dont_show - out_filename
video_detectado.mp4
!ls *.mp4

# Copiar y renombrar el archivo
!cp
video_detectado.mp4
"/content/drive/My Drive/YOLO/Testing/Data/Deteccion_Videocasa.mp4"
```



LOS LIBERTADORES
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA