



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE ESTRUCTURA PARA VANT MULTIRROTOR EN
CONFIGURACIÓN CUADRICÓPTERO**

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTADO POR:

21541012 FRANCISCO DANIEL MARTÍNEZ OSORTO

ASESOR: JOSÉ LUIS ORDOÑEZ ÁVILA

CAMPUS: SAN PEDRO SULA; OCTUBRE, 2020

Dedicatoria

Este trabajo esta dirigido primeramente a mis padres, Juan Francisco Martinez López y Delmy Lorena Osorto Acosta ya que, con su apoyo incondicional en todo momento, he logrado llegar hasta donde estoy.

Seguidamente a todas esas personas que ayudaron en mi formación personal y profesional, que me apoyaron en las buenas y en las malas ya sea dentro o fuera de la universidad.

Agradecimiento

Un especial agradecimiento a mis padres Francisco Martinez y Delmy Osorto por su apoyo, consejos y amor. Con sus sacrificios, regaños y confianza en mis decisiones ha sido posible mi desarrollo a lo largo de mi vida académica.

A mis hermanos Luis Martinez y Sofia Martinez por siempre brindarme amor, confianza y apoyarme en todos los aspectos de mi vida.

A mis primas que más que primas son mis hermanas, Sandra Ayala y Nuvia Ayala por la confianza y consejos durante todos estos años. A todos mis tíos y tías por ser parte de mi formación personal y servir como ejemplos de vida. A mi abuela que ha sido una fuente de amor y cariño indispensable.

A mi novia Sarah Handal que con su cariño me ha ayudado a llevar de mejor manera mis últimos años universitarios brindando siempre palabras de aliento y motivación, siendo un apoyo independiente de la situación.

Al señor Amon Ronen y la señora Ela Ronen por su bondad, amabilidad y generosidad, así como la confianza brindada a mis padres y a mi persona para completar una etapa académica más.

A mis amigos, María Fernanda Jackson, Josué Vargas, Gabriel Guevara, Isaac Vásquez, Carlos Chinchilla, Kevin Villacorta ya que juntos, directa o indirectamente, nos hemos apoyado en las buenas y en las malas para salir adelante en cualquier escenario que se nos pudo presentar.

Finalmente, un agradecimiento general a todos los catedráticos dentro y fuera de UNITEC por aportar a mi desarrollo como profesional y en el ámbito personal. Gracias a sus experiencias, anécdotas y conocimiento adquiridos he podido tener un panorama mas amplio de lo que depara el futuro una vez egresado de la universidad.

Epígrafe

**“El futuro mostrará los resultados
y
juzgará a cada uno de acuerdo a sus logros.”
-Nikola Tesla**

Resumen Ejecutivo

La introducción de drones / VANT en el campo de la seguridad pública y privada ya se ha convertido en una realidad. Los drones son dispositivos muy rápidos, en caso de una amenaza, nos ayuda a comprender de forma inmediata el entorno y obtener información remota en tiempo real. Este rápido análisis que podemos hacer desde el aire sin poner en peligro a los guardias de seguridad, nos facilitará dar una respuesta cada vez mejor. El objetivo principal del proyecto es brindar soporte a las soluciones de vigilancia residencial existentes de manera segura y confiable, tomando diferentes ángulos de los tradicionales. El diseño y desarrollo de una estructura para un dron de vigilancia será una de las principales actividades a realizar en esta investigación. El modelo en espiral se utilizó para el desarrollo del marco, así como la configuración de los GPS que incluirá el sistema de vigilancia. Dentro de este modelo, se investigan variables como el costo de elaboración, el peso de despegue soportado por la combinación de motores / hélices y las deformaciones estructurales debidas a fuerzas externas. Como análisis principal, se tiene el primer punto que el costo total de fabricación de un dron de vigilancia listo para volar es de \$ 603 y el peso total de la estructura sin motorización es de 810 gramos. Además, se determinó que el mejor material para esta aplicación era el PETG, utilizando fabricación aditiva FDM. Se decidió utilizar este material por su alta densidad en comparación con otros materiales comparados como el ABS y TPU. Se concluyó que el diseño de chasis o estructura realizado a lo largo de la investigación cumple con características como resistencia, fácil mantenimiento y es estéticamente agradable a la vista.

Palabras clave

Dron, Chasis, GPS, Vigilancia, FDM, PETG, Honduras, 3D.

Abstract

The introduction of drones / UAVs in the field of public and private security has already become a reality. Drones are very fast devices, in case of a threat, they help us to immediately understand the environment and obtain remote information in real time. A rapid analysis that we can do from the air without endangering the security guards will facilitate us to give an increasingly better response. The main objective of the project is to provide support to the existing residential surveillance solutions in a safe and reliable way, taking different angles from the traditional ones. The design and development of a structure for a surveillance drone will be one of the main activities to be carried out in this research. The spiral model was used for the development of the framework, as well as the configuration of the GPS that will include the surveillance system. Within this model, variables such as manufacturing cost, take-off weight supported by the engine / propeller combination and structural deformations due to external forces are investigated. As a main analysis, the first point is that the total cost of manufacturing a ready-to-fly surveillance drone is \$ 603 and the total weight of the structure without motorization is 810 grams. In addition, the best material for this application was determined to be PETG, using FDM additive manufacturing. It was decided to use this material because of its high density compared to other compared materials such as ABS and TPU. It was concluded that the chassis or structure design carried out throughout the investigation complies with characteristics such as resistance, easy maintenance and is aesthetically pleasing to the eye.

Keywords

Drone, Chassis, GPS, Surveillance, FDM, PETG, Honduras, 3D.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| Índice de Ilustraciones..... | 11 |
| Índice de Tablas..... | 12 |
| Capítulo I. Introducción | 13 |
| Capítulo II. Planteamiento del Problema | 14 |
| 2.1 Precedentes del Problema..... | 14 |
| 2.2 Definición del Problema | 15 |
| 2.3 Justificación | 16 |
| 2.4 Preguntas de Investigación..... | 16 |
| 2.5 Objetivos..... | 16 |
| 2.5.1 Objetivo General..... | 17 |
| 2.5.2 Objetivos Específicos | 17 |
| Capítulo III. Marco Teórico | 18 |
| 3.1 Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT)..... | 18 |
| 3.1.1 Precedentes..... | 18 |
| 3.1.2 Clasificación..... | 19 |
| 3.1.3 Materiales y Componentes más Utilizados | 26 |
| 3.1.4 Usos y Aplicaciones..... | 33 |
| 3.1.5 Fuentes de Energía | 35 |
| 3.2 Sistema de Posicionamiento Global (GPS) | 37 |
| 3.2.1 Tipos..... | 38 |
| 3.2.2 Uso de GPS en UAVs..... | 40 |
| 3.3 Cámaras de Vigilancia | 41 |
| 3.3.1 Tipos..... | 42 |
| 3.4 Software CAD/CAE..... | 44 |
| 3.4.1 Solidworks | 45 |

| | |
|---|----|
| 3.4.2 Fusion 360 | 46 |
| 3.5 Metodología Espiral | 47 |
| Capítulo IV. Metodología | 49 |
| 4.1 Enfoque | 49 |
| 4.2 Variables de Investigación | 49 |
| 4.3 Técnicas e Instrumentos Aplicados | 50 |
| 4.4 Materiales | 51 |
| 4.5 Metodología de Estudio | 51 |
| 4.5.1 Ciclo 1 Selección de Materiales y componentes | 52 |
| 4.5.2 Ciclo 2 Diseño CAD de chasis para dron de Vigilancia | 54 |
| 4.5.3 Ciclo 3 Pruebas de Resistencia de Materiales y Programación GPS | 56 |
| 4.5.4 Ciclo 4 Prueba de Aerodinámica y Validación del Prototipo | 58 |
| 4.6 Metodología de Validación | 59 |
| 4.7 Cronograma de Actividades | 60 |
| Capítulo V. Análisis y Resultados | 61 |
| 5.1 Análisis de Marco Teórico | 61 |
| 5.2 Resultados Metodología de Estudio | 66 |
| 5.2.1 Ciclo 1 Selección de Materiales Y Componentes | 66 |
| 5.2.2 Ciclo 2 Diseño CAD de chasis para dron de Vigilancia | 73 |
| 5.2.3 Ciclo 3 Pruebas de Resistencia de Materiales y Programación GPS | 75 |
| 5.2.4 Ciclo 4 Prueba de Aerodinámica y Validación del Prototipo | 79 |
| 5.3 Costos | 84 |
| Capítulo VI. Conclusiones | 87 |
| Capítulo VII. Recomendaciones | 88 |
| Bibliografía | 89 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1 – Clasificación de aeronaves por su forma de sustentación..... | 20 |
| Ilustración 2 – Clasificación de UAV Multirotor..... | 22 |
| Ilustración 3 – Skydio X2 UAV autónomo..... | 24 |
| Ilustración 4 – Efectos del paso de una hélice..... | 29 |
| Ilustración 5 – MQ-9..... | 33 |
| Ilustración 6 – Metodología espiral..... | 48 |
| Ilustración 7 – Variables de Investigación para Dron de Vigilancia..... | 50 |
| Ilustración 8 – Ciclo 1 Selección de Materiales y Componentes..... | 52 |
| Ilustración 9 – Ciclo 2 Diseño CAD de Chasis para Dron de Vigilancia..... | 54 |
| Ilustración 10 – Ciclo 3 Pruebas de Resistencia de Materiales y Programación GPS..... | 56 |
| Ilustración 11 – Ciclo 4 Prueba de Aerodinámica y Validación del Prototipo..... | 58 |
| Ilustración 12 – Cronograma de Actividades..... | 60 |
| Ilustración 13 – Configuración GPS BN-880 mediante INAV..... | 62 |
| Ilustración 14 – Diseño Renderizado de Brazo para Dron..... | 73 |
| Ilustración 15 – Diseño Renderizado de Placa Superior para Dron..... | 74 |
| Ilustración 16 – Diseño Renderizado de Placa Inferior para Dron..... | 74 |
| Ilustración 17 – Prueba de Desplazamiento y Deformación de Brazo para Dron..... | 75 |
| Ilustración 18 – Prueba de Tensión de Brazo para Dron..... | 76 |
| Ilustración 19 – Prueba de Desplazamiento y Deformación de Placa Superior para Dron..... | 77 |
| Ilustración 20 – Prueba de Tensión de Placa Superior para Dron..... | 77 |
| Ilustración 21 – Prueba de Desplazamiento y Deformación de Placa Inferior para Dron..... | 78 |
| Ilustración 22 – Prueba de Tensión de Placa Inferior para Dron..... | 79 |
| Ilustración 23 – Trayectoria de Partículas de Aire Alrededor de Modelo De Dron..... | 80 |
| Ilustración 24 – Presión Generada por Aire Alrededor del Modelo Diseñado para Dron..... | 81 |
| Ilustración 25 – Flujo de Aire y Creación de Vórtices alrededor del Modelo..... | 82 |
| Ilustración 26 – Ensamble Renderizado de Prototipo de Dron..... | 82 |
| Ilustración 27 – Prueba Física de los Brazos del Prototipo de Dron..... | 83 |
| Ilustración 28 – Resultado sin Deformaciones de Prueba Física..... | 83 |
| Ilustración 29 – Ensamblaje de Piezas Impresas en 3D Utilizando PETG..... | 84 |
| Ilustración 30 – Valores de Entrada para Calcular Propiedades del Dron..... | 86 |
| Ilustración 31 – Propiedades Físicas, Eléctricas y Mecánicas del Dron..... | 86 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 – Niveles de control autónomo | 23 |
| Tabla 2 – Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la manufactura aditiva..... | 31 |
| Tabla 3 – Materiales compuestos de carbono..... | 32 |
| Tabla 4 – Tipos de baterías y sus características | 37 |
| Tabla 5 – Módulos GPS para UAVs..... | 63 |
| Tabla 6 – Cámaras FPV para UAVs..... | 64 |
| Tabla 7 – Controladora de Vuelo ara UAVs..... | 65 |
| Tabla 8 – Transmisores de Video para UAVs..... | 66 |
| Tabla 9 – Materiales Plásticos para FDM..... | 67 |
| Tabla 10 –Recibidores de Radio Control..... | 68 |
| Tabla 11 – Hélices a Considerar..... | 69 |
| Tabla 12 – Motores a Considerar para Fabricación de Dron..... | 70 |
| Tabla 13 – Controlador De Velocidad Electrónico ESC..... | 71 |
| Tabla 14 – Propiedades Físico - Mecánicas de ABS, TPU, PLA, PETG y Fibra de Carbono | 72 |
| Tabla 15 – Resumen de Costos para Elaboración de Dron | 85 |

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La inseguridad en Honduras es uno de los principales problemas que la población se ha visto obligada a enfrentar en los últimos años. El país se ha caracterizado por ser una de las principales rutas de transporte de estupefacientes de países sudamericanos a Estados Unidos, por lo que la inseguridad, la violencia y los problemas entre pandillas aumentan cada vez más.

San Pedro Sula es actualmente una de las ciudades con mayor índice de violencia en Honduras. El último Censo Nacional de Población y Vivienda realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en 2013 registró 719.064 habitantes para el municipio de San Pedro Sula y la proyección para 2019 es de 789.645 habitantes. (L. García, 2019)

Debido a la gran cantidad de habitantes de San Pedro Sula, es muy difícil tener un control de vigilancia perfecto debido a los puntos ciegos que tienen los sistemas de vigilancia tradicionales. Es por esto que las empresas encargadas de la vigilancia hacen uso de personal adicional, que estaría monitoreando áreas específicas, pero esto tiene sus limitaciones.

La primera limitación es el cansancio que pueda tener un colaborador al realizar sus rutas de vigilancia, esto puede provocar distracciones y puede pasar por alto detalles que podrían ser de gran importancia. Otro factor a considerar es el alcance que puede tener una persona en cuanto a su campo de visión y movilización hacia zonas de difícil acceso. Pero el determinante del problema es la exposición de un colaborador a peligros al realizar trabajos de alto riesgo como la vigilancia.

La introducción de drones / UAV en el campo de la seguridad pública y privada ya se ha convertido en una realidad. Los drones son dispositivos muy rápidos, en caso de una amenaza, nos ayuda a comprender de forma inmediata el entorno y obtener información remota en tiempo real. Este rápido análisis que se puede hacer desde el aire sin poner en peligro a los guardias de seguridad, nos facilitará dar una respuesta cada vez mejor. (D. Garcia,2019)

CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este capítulo se presenta la idea de la investigación, presentación de antecedentes, definición del problema, preguntas de investigación, los objetivos y la justificación sobre la implementación de drones de vigilancia para zonas residenciales en San Pedro Sula.

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

La inseguridad en Honduras es uno de los principales problemas con el que la población se ha visto forzada a afrontar en los últimos años. El país se ha caracterizado por ser una de las principales vías de transporte de narcóticos desde países de América del Sur a Estados Unidos, es por esto que la inseguridad, violencia y problemas entre pandillas aumenta cada vez más.

Durante los últimos años se ha intentado implementar planes de seguridad civil para la protección de la población en San Pedro Sula, dichos planes han dado pocos resultados debido a la lucha por territorios que se vive en la ciudad por parte de las maras y pandillas.

"La seguridad sigue estando igual, pero la gente se cree lo que tiran en los medios de comunicación nacionales, de que todo ha mejorado... cuando uno solo tiene que salir a la calle para comprobar la realidad, de que lo pueden matar por un celular o 1,000 lempiras" (González Díaz, 2018).

El Sistema Estadístico Policial en Línea, SEPOL (2020) en el año 2019 determino que el departamento con mayores homicidios en el país fue Cortes con 1060 homicidios, seguido por Francisco Morazán con 670 homicidios. En el municipio de San Pedro Sula, perteneciente al departamento de Cortes, se registraron 438 homicidios a lo largo del año en mención.

La violencia siempre ha sido un estigma para San Pedro Sula debido al alto índice de criminalidad e inseguridad que se vive en las calles de la llamada capital industrial de Honduras.

Por razones como el fortalecimiento de los programas sociales, el aumento de la inversión en seguridad, el aumento del censo y la reducción de los conflictos entre la policía y las pandillas. Existe desprecio.

San Pedro es una ciudad no violenta, donde el tema de las negociaciones termina tarde o temprano en violencia y donde más del 90% de las empresas pagan extorsión. No es seguro. (Lafuente, 2017)

La falta de testigos es una de las principales causas por las cuales los juicios dictan sentencias absolutorias. La suspensión del debate oral y público está establecida en el artículo 312 del Código Procesal Penal, una petición muy utilizada por ambas partes, tanto por el Ministerio Público como por la defensa.

Las razones por las que los testigos no dieron sus declaraciones fueron principalmente por el temor de ser atacados por los acusados, la falta de apoyo al programa de protección de testigos que ofrece el Ministerio Público, la falta de un hogar establecido, la pérdida del interés de la víctima en continuar el crimen en el camino y por circunstancias económicas. (Pineda, 2020)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

San Pedro Sula en la actualidad es una de las ciudades con mayor índice de violencia en Honduras. El último Censo Nacional de Población y Vivienda que realizó el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) de 2013 registraba 719,064 habitantes para el municipio de San Pedro Sula y la proyección para 2019 es de 789,645 habitantes. (L. García, 2019)

Debido a la alta cantidad de habitantes de San Pedro Sula es muy difícil tener un control de vigilancia perfecto debido a los puntos ciegos con los que los sistemas tradicionales de vigilancia cuentan. Es por esto que las empresas encargadas de la vigilancia hacen uso de personal extra, el cual estaría vigilando zonas específicas, pero esto tiene sus limitantes.

La primera limitante es el cansancio que pueda tener un colaborador al momento de realizar sus rondas de vigilancia, esto puede causar distracciones y puede pasar por alto detalles que podrían ser de suma importancia. Otro factor a considerar es el alcance que una persona pueda tener en cuanto a su campo de visión y la movilización a zonas de difícil acceso. Pero el determinante del problema es la exposición de un colaborador a peligros al momento de realizar un trabajo de alto riesgo como es la vigilancia. El problema radica en la poca eficiencia que llegan a tener los sistemas tradicionales utilizados actualmente en Honduras.

Las cámaras son estáticas y solo cuentan con movimientos rotatorios o en ángulos, muy predecibles para aquellos que buscan hacer un mal o lastimar a personas que no tienen idea que el peligro se acerca.

2.3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, los sistemas aéreos no tripulados (UAS) brindan muchas ventajas al ser utilizadas para vigilancia aérea, reconocimiento e inspección en ambientes complejos y peligrosos. (Singhal et al., 2018)

La introducción de drones / RPAS en el campo de la seguridad pública y privada ya se ha convertido en una realidad. Los drones son dispositivos muy rápidos, en caso de amenaza, nos ayuda a comprender de inmediato el entorno y obtener información remota en tiempo real. Este análisis rápido que se puede hacer desde el aire sin poner en peligro a los guardias de seguridad, nos facilitará dar una respuesta cada vez mejor. (D. García, 2019)

Los drones pueden abordar cuestiones clave de privacidad y seguridad pública. Los vehículos aéreos no tripulados pueden ser monitoreados de cerca. Los drones o vehículos aéreos no tripulados utilizados por los oficiales de policía en algunos países pueden transportar una variedad de equipos. Por ejemplo, cámara de video HD para una mejor transmisión de imagen, cámara infrarroja, sensores de calor y entre otros artefactos, radares. (AED, 2019)

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cuál sería el mejor diseño de un chasis de VANT multirotor que sea estéticamente agradable, resistente y de fácil mantenimiento?
2. ¿Cuáles son los mejores materiales para la fabricación de un VANT multirotor implementando manufactura aditiva?
3. ¿Cómo se comportará el diseño aerodinámico realizado en el software CAD del dron en las simulaciones a realizar?
4. ¿Cuál será el costo que tendrá la fabricación del dron de vigilancia con todos sus componentes de control y manejo?

2.5 OBJETIVOS

Los objetivos de una investigación son las tareas básicas que se cumplen en la creación de todo tipo de conocimiento científico.

Los objetivos son aquellas metas específicas que se deben alcanzar para poder responder a una pregunta de investigación y que orientan el desarrollo de la investigación.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un prototipo de estructura VANT multi rotor que sea capaz de soportar el peso de la aeronave con todos sus componentes, que soporte impactos considerables y que a su vez sea de bajo costo, así como de fácil mantenimiento.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Desarrollar un diseño resistente de chasis o estructura para un VANT multirotor a través de Software CAD/CAE.
- 2) Realizar pruebas aerodinámicas para analizar el comportamiento de flujo de aire alrededor de la estructura propuesta.
- 3) Seleccionar los materiales que cumplan con los requerimientos de diseño y construcción de la estructura propuesta.
- 4) Seleccionar componentes para el control y manejo de un VANT multirotor para determinar un presupuesto para su fabricación.

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

3.1 VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT)

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT) son consideradas aeronave que poseen la capacidad de volar sin necesidad de tripulación. Esto le aporta una gran ventaja, la ejecución de funciones o tareas de forma remota. Además de ello, le permite ser reutilizables, mantener velocidades de vuelo constante y mantener un nivel de altitud determinado de manera autónoma. Generalmente, estas aeronaves se encuentran propulsadas a través de motores eléctricos en conjunto con hélices. Sin embargo, también se pueden encontrar a través de combustión de combustible basado en el petróleo. (Moschetta & Namuduri, 2017)

Por otro lado, los diseños de los vehículos aéreos no tripulados suelen ser muy variados. Existen diversos parámetros que caracterizan cada aeronave, mayormente son las dimensiones, peso, tiempo de vuelo, entre otros. A lo largo de las últimas décadas, este tipo de aeronave ha incrementado su popularidad sustancialmente. Incluyendo, en las muchas aplicaciones que posee, como ser para uso militar, civil, comercial, entre otras. (Baquero, 2019)

3.1.1 PRECEDENTES

Los primeros vehículos sin piloto fueron construidos durante la Primera Guerra Mundial. Estos primeros modelos fueron lanzados por catapulta o volados usando radio control. En enero de 1918, el ejército estadounidense comenzó la producción de torpedos aéreos. El modelo que se desarrolló, el Kettering Bug, fue volado con éxito en algunas pruebas, pero la guerra terminó antes de que pudiera desarrollarse más. (Hunt, 2017)

El dron apareció en los tiempos modernos durante la Segunda Guerra. En los años posteriores a la Segunda Guerra Mundial, la Guerra Fría aumentó el uso de sistemas no tripulados. Estados Unidos y la Unión Soviética utilizaron drones ampliamente en espionaje y vigilancia. (Palik & Nagy, 2019)

Estados Unidos comenzó el desarrollo de vehículos aéreos no tripulados a principios de la década de 1980. Este proceso de desarrollo de vehículos aéreos no tripulados resultó en la elaboración de parte de estados unidos del Predator MQ-1.

A partir de esta creación, estados unidos ha aumentado gradualmente su eficiencia, armas y sistemas control sobre sus armas. (Klein, 2018)

3.1.2 CLASIFICACIÓN

Esta sección tiene como objetivo presentar diferentes esquemas de clasificación de UAV que se han propuesto y/o están actualmente en uso. La clasificación de UAV no solo se usa para ayudar a diferenciar los sistemas existentes, sino que también tiene importancia regulatoria. Esto se debe a que es poco probable que se desarrollen reglas que puedan adaptarse a todos los UAV y, como resultado, se pueden imponer requisitos diferentes en las diferentes categorías de UAV en función de sus características. Hay una gran cantidad de métricas que se han utilizado para la clasificación de UAV, incluido el peso medio de despegue (MTOW), el tamaño, las condiciones de operación, las capacidades o cualquier combinación de estas y otras características. Cabe señalar que, si bien algunas de estas métricas tienen un efecto mínimo sobre los requisitos de rendimiento de seguridad del sistema, siguen siendo importantes desde un punto de vista operativo, comercial, legal y posiblemente desde otros puntos de vista (Singhal et al., 2018). En la actualidad se puede diferenciar el tipo de VANT por la combinación de la aeronave con su sistema de control. Y otra manera muy común de clasificar es según la forma de sustentación de la nave. En la ilustración 2, se presenta la clasificación por su forma de sustentación.

Según lo mostrado en la ilustración 2, existen dos maneras en que las aeronaves lograr la sustentación. La primera es el aerostato, la cual es una aeronave que cuenta ya sea con uno o más recipientes que almacenan un gas de menos densidad o más ligera que el aire. De esta manera, logra elevarse o inclusive permanecer inmóvil en el aire. Los dos tipos de aeronaves basadas en la sustentación aerostática son el globo aerostático y el dirigible. Por otro lado, se encuentran las naves aerodino, las cuales son más pesadas que el aire y se basan en la aerodinámica para que las naves puedan estar en el aire. La aeronave es capaz de generar sustentación gracias a su estructura y funcionamiento. Generalmente, existen dos tipos principales de aeronaves que se basan en este tipo de sustentación que son de ala fija y de ala rotatoria.

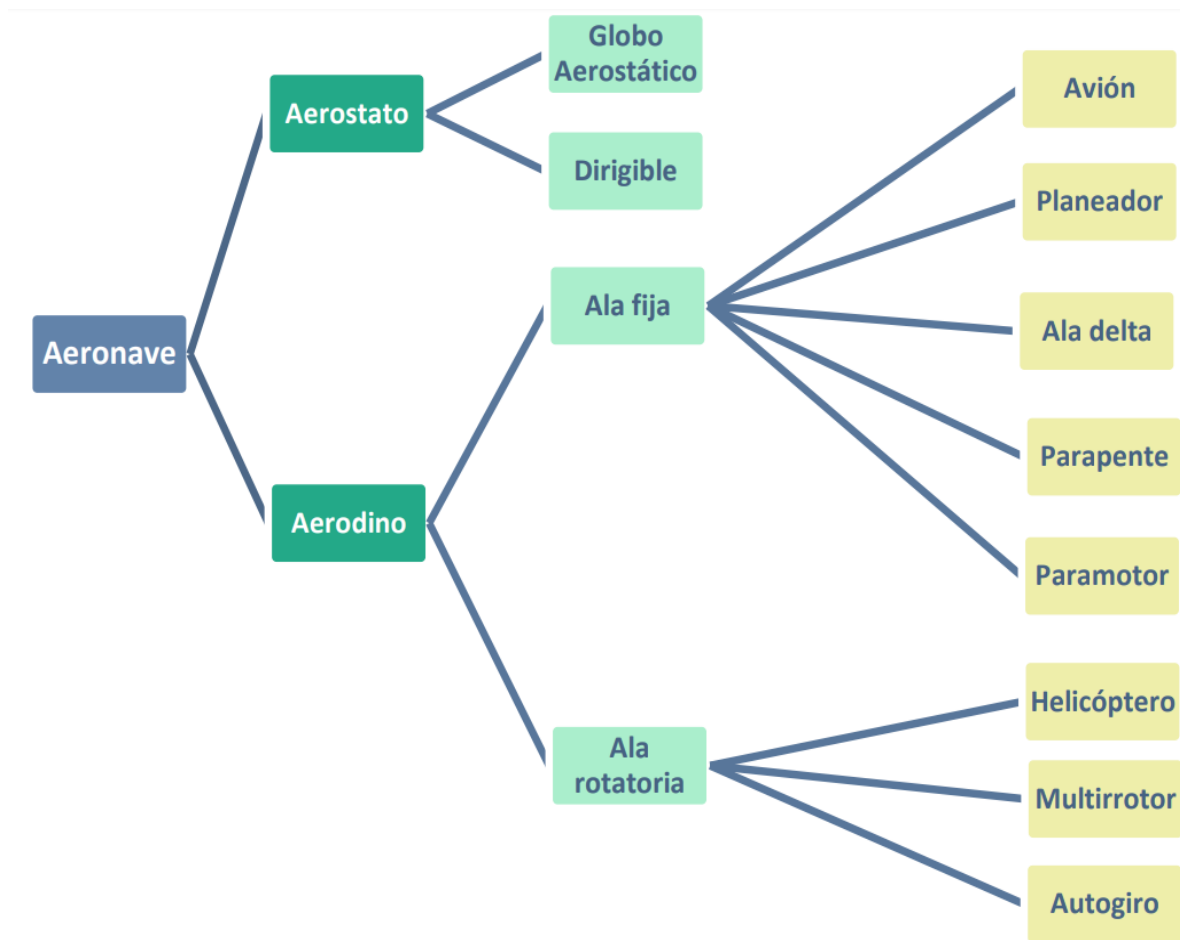


Ilustración 1 – Clasificación de aeronaves por su forma de sustentación

Fuente: (Singhal et al., 2018)

3.1.2.1 Drones de ala fija

Una de los tipos de drones más utilizados en la actualidad son los drones de ala fija. Son aeronaves con una sustentación aerodinámica, ya que gracias a su estructura es capaz de mantenerse en el aire. De hecho, los drones de ala fija son aquellas aeronaves que cuentan con un perfil alar. Este perfil es el que les permite moverse a través del aire, dotando la aeronave con la capacidad de generar fuerzas sustentadoras que le permitan a su vez, mantenerse en el aire. (Konstantinos, 2014)

Con respecto a la estética y forma de este tipo de aeronave, es muy similar a los aeromodelos de radiocontrol. Una de las principales características que posee este tipo de aeronave es la autonomía que posee.

Esto se debe a causa de que pueden estar en operación durante varias horas (o mayor tiempo de vuelo) gracias a la eficiencia aerodinámica que le atribuye su forma o estructura. (Hassanalian & Abdelkefi, 2017)

Gracias a esta característica de la aeronave de ala fija, su uso se convierte en una forma idónea para el mapeo de grandes extensiones de tierra o superficies de terreno. Ya que solamente con una carga de solamente una única batería puede llegar grandes distancias. Por esta razón, este equipo es muy utilizado dentro del área de agricultura de precisión y de fotogrametría. (Baquero, 2019)

Se considera que el dron con el diseño de ala fija cuenta con diversas ventajas. De igual manera, posee ciertas limitantes. Una de estas limitantes es que este tipo de aeronave no se le es posible ejecutar un vuelo estacionario. Por lo tanto, no puede realizar un trabajo en donde sea indispensable que la aeronave se mantenga volando en una posición fija o estática a una altura determinada. Además de esta limitante, otra de las mayores limitantes que se presentan al hacer uso de esta aeronave es que no puede aterrizar de manera vertical. Es necesario el uso suficiente de espacio en buena condición para lograr un aterrizaje adecuado. De igual manera, para realizar el despegue con esta aeronave es necesario proporcionarle un impulso inicial. (Hassanalian & Abdelkefi, 2017)

3.1.2.2 Drones Multirrotor

Otro de los drones más extendidos y utilizados es el multirrotor. Estas son aeronaves que su funcionamiento se basa en la aerodinámica. Se encuentra dentro de las aeronaves de ala rotatoria. Existen muchas diferencias entre los drones multirrotor y los de ala fija. Sin embargo, la principal diferencia radica en la manera en que los drones multirrotor lograr mantenerse en el aire. Mientras que las aeronaves de ala fija logran la sustentación gracias al perfil alar. (Chen & Jia, 2020)

Los multirrotos de los drones generan la sustentación necesaria para mantenerse en el aire, esto lo logra a causa de la fuerza que es generada por cada una de las hélices de los rotores. Los UAV multirrotos se encuentran conformados por varios brazos que se encuentran dotados de motores.

Por esta razón, suelen clasificarse según el número de rotores que posee, la forma que se encuentran posicionados y la dirección a la que gira cada rotor (Zhong et al., 2017). En la ilustración 4 se muestra esta clasificación.

Gracias a su principal ventaja contra los drones de ala fija, la capacidad para mantenerse en el aire de manera estática o en un punto fijo. En los drones multirrotor se pueden instalar diferentes tipos cámaras, incluyendo cámara termográfica, cámara multiespectral, cámara RGB, entre otras. Esto permite una amplia gama de posibles aplicaciones que se pueden realizar con estos drones. De igual manera, son capaces de despegar y aterrizar de manera vertical, sin necesidad de una pista. (Hedge et al., 2019)

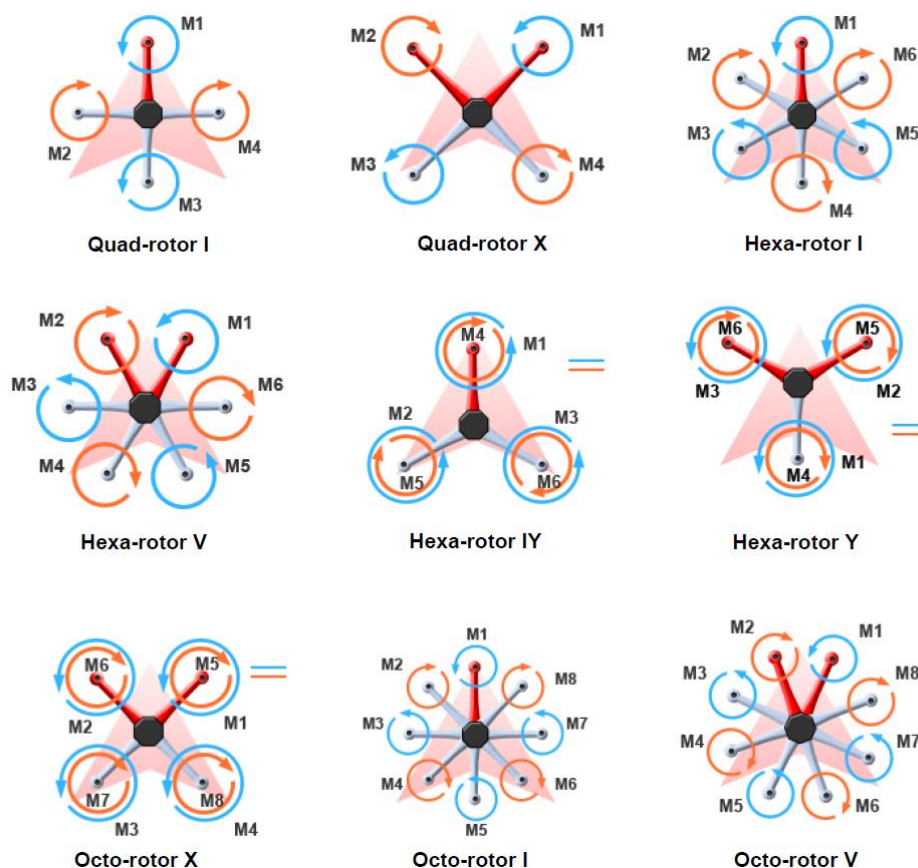


Ilustración 2 – Clasificación de UAV Multirotor

Fuente: (Hassanalian & Abdelkefi, 2017)

La principal limitante de los drones multirrotor es su autonomía. Ya que estos drones poseen un alto consumo energético, porque los rotores deben estar en constante funcionamiento para que la aeronave sea capaz de permanecer en el aire.

Por esta razón, un buen tiempo de vuelo son alrededor de 20 minutos de vuelo. Esto lo limita mucho a recorrer grandes extensiones de distancias.

3.1.2.3 Autonomía

Otra manera de clasificación muy común de los UAV es por el método de control que posee o el nivel de autonomía. Gracias a los avances tecnológicos de las últimas décadas, el sistema de control de las aeronaves ha ido mejorando. Los drones han evolucionado constantemente con el paso del tiempo y cada vez nuevas tecnologías son incorporadas en sus diseños para nuevas mejoras y optimizaciones. (Singhal et al., 2018)

Los UAV ya están mostrando autonomía en ciertas funciones, y cada vez más esta tendencia aumenta. De hecho Konstantinos (2014) propusieron los niveles de control autónomo (ACL) para medir la autonomía. Más específicamente, se propusieron diez (10) que se basaron en requisitos como la conciencia situacional, el análisis, la coordinación, la toma de decisiones y la capacidad operativa. Una lista de la ACL se presenta en la tabla 1.

Tabla 1 – Niveles de control autónomo

| Nivel de Control Autónomo (ACL) | Descripción del Nivel |
|---------------------------------|---|
| 0 | Vehículo pilotado remotamente |
| 1 | Ejecutar misión planificada previamente |
| 2 | Misión cambiante |
| 3 | Respuesta robusta a fallas / eventos en tiempo real |
| 4 | Vehículo adaptativo de falla / evento |
| 5 | Coordinación de vehículos múltiples en tiempo real |
| 6 | Cooperación en múltiples vehículos en tiempo real |
| 7 | Conocimiento del espacio de batalla |
| 8 | Conocimiento del espacio de batalla |
| 9 | Conocimiento del enjambre del espacio de batalla |
| 10 | totalmente autónomo |

Fuente: (Konstantinos, 2014)

Cada ACL se basa en tres aspectos que caracterizan la autonomía, a saber, el nivel de independencia de la participación humana, la complejidad de la misión y la complejidad del medio ambiente.

Por supuesto, algunas de las distinciones entre las ACL definidas en la tabla 1 pueden no ser valiosas para fines regulatorios, y algunas de ellas no son aplicables para UAV civil. Byun et al. (2016) presenta a continuación se proporciona una clasificación más simple que tiene en cuenta solo el nivel de participación humana:

- 1) Piloteado Remotamente: Un piloto certificado controla de forma remota el sistema dentro de LOS o con la retroalimentación de los sensores UA.
- 2) Operado de forma remota (semiautónomo): el UAV recibe comandos de alto nivel (coordenadas, objetos para rastrear, etc.), y su desempeño es monitoreado por un operador capacitado. En este caso, el vuelo lo realiza la propia UAV, pero toda la toma de decisiones se delega a un humano.
- 3) Totalmente autónomo: al UAV se le asignan tareas generales y es capaz de determinar cómo llevarlas a cabo, incluso ante eventos imprevistos. También puede monitorear su salud y tomar medidas correctivas después de la ocurrencia de fallas.



Ilustración 3 – Skydio X2 UAV autónomo

Fuente: (Skydio, 2020)

En la ilustración 3, se muestra el Skydio, es un UAV autónomo. Esta autonomía se debe principalmente a los algoritmos de inteligencia artificial que posee. Para ello, al algoritmo se le proporciona toda la información necesaria, con un sistema complejo de cámaras que le proporciona una visión de 360 °.

3.1.2.4 Monitorizado o Supervisado

Por otro lado, los UAV con un sistema monitorizado o supervisado son aquellos que se encuentra dentro de los drones autónomos y dirigidos por radio control, o se pueden considerar una combinación de un UAV autónomo y controlado remotamente.

En otras palabras, el UAV es capaz de realizar ciertas tareas de manera autónoma. Sin embargo, en todo momento se encuentra bajo la supervisión de un piloto. (Byun et al., 2016)

3.1.2.5 Controlado remotamente

En el sistema de control donde los UAVs con controlados de manera remota, el dron está siendo pilotado directamente a través de una consola.

Esta se encuentra enviando una onda electromagnética que es captada por el dron y este actúa en base a la señal reciba por el centro de control. Este método de control es el más utilizado, por ende, también son los modelos más básicos que existen en la actualidad. De igual manera, el precio de estos drones es muy inferior al resto (Singhal et al., 2018). Sin embargo, estos tipos de control pueden presentan problemas de seguridad en el sistema de comunicación.

Se sabe que estos vehículos aéreos no tripulados profesionales se utilizan ampliamente en misiones sensibles como la vigilancia policial de la infraestructura y las operaciones críticas. Dados estos usos, y al contrario de lo que se ha visto para los vehículos aéreos no tripulados recreativos, se podría suponer que los vehículos aéreos no tripulados profesionales son muy resistentes a las amenazas de seguridad. Los investigadores Rodday et al. (2016) examinaron las vulnerabilidades de seguridad de los UAV. Mostraron cómo explotar las vulnerabilidades identificadas, llevar a cabo un ataque man-in-the-middle e insertar comandos de control para interactuar con el UAV vulnerable.

Demostraron que es posible realizar eficazmente un ataque de intermediario de forma remota mediante la redirección del tráfico del canal de telemetría. Además, demostraron que a través de la ingeniería inversa del software involucrado en la comunicación del sistema UAV, se pueden inyectar paquetes y controlar el UAV.

Para estas situaciones, Rodday et al. (2016) han definido algunas contramedidas de activación. Arreglar las vulnerabilidades que encontraron en el UAV bajo investigación no es un proceso fácil. Primero, se deben usar esquemas de encriptación fuertes para el punto de acceso wifi 802.11 que conecta la tableta a la caja de telemetría. En segundo lugar, los datos transmitidos a través del chip XBee 868LP no deben enviarse en texto sin cifrar. El cifrado debe utilizarse en toda la ruta de comunicación.

Se pueden utilizar tres soluciones: (1) cifrado XBee 868LP integrado, que es la única solución que también reduce el riesgo de comandos AT remotos, (2) cifrado de hardware dedicado en caso de que el rendimiento sea con el XBee 868LP -El cifrado desciende significativamente y (3) aplica cifrado en capas.

3.1.3 MATERIALES Y COMPONENTES MÁS UTILIZADOS

Los UAVs se encuentran por muchos componentes, desde componentes electrónicos, mecánicos, de comunicación, cámaras, entre otros. Sin embargo, los principales componentes que poseen mayor impacto sobre el funcionamiento del UAV son:

- 1) Motores
- 2) Hélices
- 3) Material de la Estructura

3.1.3.1 Motores

En el UAV, los motores son el componente que se encarga de transformar la energía eléctrica en el movimiento rotatorio que transmite a las hélices que le permiten girar y generar el impulso necesario para volar. Generalmente, se los motores utilizados en los UAVs son motores sin escobillas o *brushless*. Siendo motores muy económicos, de menor peso y necesitan de poco mantenimiento que comparación con los motores con escobillas. Estos motores solamente poseen un imán permanente y este es invertido con los cambios de la polaridad magnética. (Lee & Lee, 2018)

Por otro lado, el motor con escobilla, posee un armazón rotativo que es similar a un electro magneto con dos polos.

Un interruptor rotativo se encuentra conectado, lo que permite revertir la dirección de la corriente para cada medio ciclo. Por lo tanto, estos motores son ideales para vuelos de corto tiempo ya que proporcionan un empuje eficiente.

En comparación con los motores sin escobillas, que son adecuados para vuelos de un mayor tiempo. (Esen et al., 2016)

Según Xu et al. (2018) existen diversos parámetros que se deben tener en cuenta para la selección de los motores, los cuales son:

1) Peso del UAV

Uno de los primeros parámetros que se debe tener en consideración al momento de seleccionar el motor para el diseño del dron o UAV es el peso del mismo. Se puede hacer la estimación del peso, como la sumatoria del peso de cada parte que se encuentra incorporada en el UAV.

Teniendo el tamaño y peso general de la estructura se puede determinar el tamaño adecuado de la hélice. El peso del UAV afecta la maniobrabilidad durante el vuelo, por ello es importante tenerlo en consideración.

2) Relación Entre Empuje y Peso

Esta relación existente entre el empuje y el peso del UAV es muy importante. Ya que debe permitir que el UAV se logre mantener en el aire con la mitad de la aceleración. Esto indica que el motor a seleccionar debe ser lo suficientemente capaz de poder generar un empuje del 50% superior en comparación al rotor múltiple. Al cumplir esto, se le proporciona seguridad al UAV en el aire, en especial cuando el mismo se encuentre circulando a mayores velocidades y al momento de hacer alguna maniobra.

3) Eficiencia

La eficiencia es otro parámetro a considerar para la selección de los motores. La eficiencia indica que, en el caso que el motor es más eficiente, este le permitirá al UAV un mayor tiempo de vuelo. Se estima que un buen valor de la eficiencia se encuentra alrededor de los 7g/W. Es posible que un motor posea mayor eficiencia al poseer un menor rango de aceleración, en tal caso, se disminuirá la eficiencia en los límites superiores.

Por otro lado, al tener un motor de baja eficiencia, el UAV tendrá inconvenientes en el tiempo de vuelo y en el uso de energía. Causando caídas de voltaje en las baterías. Es por ello, que también se debe revisar la relación entre empuje y corriente al momento de seleccionar el motor. La eficiencia se calcula con la ecuación 1.

$$Eficiencia = \frac{Empuje (g)}{Potencia Utilizada (W)}$$

Ecuación 1-Eficiencia del motor

4) Torque

El torque es otro parámetro a tomar en cuenta. El rango de torque permite determinar la capacidad del motor para cambiar su velocidad o sus RPM.

Este cambio mejora la maniobrabilidad del UAV. En caso del que motor posee un alto torque, la velocidad cambiará rápidamente y tendrá una mejor maniobrabilidad. Además, permite el uso de hélices de mayor tamaño, pero consumirá más corriente.

Un inconveniente con los motores de alto torque, es la generación de oscilaciones. Ya que estas oscilaciones no pueden ajustarse con mucha facilidad.

5) Cantidad de Polos

Un último parámetro a considerar para la selección del motor es el número de polos que este posee. Generalmente, se pueden encontrar dos opciones para ello. La primera opción consiste en motores con una cantidad de polos superior. Esto les permite generar una mayor magnitud del torque, sin embargo, necesitan más voltaje para operar. La segunda opción, son motores con una menor cantidad de polos, pero tienen una mayor RPM. Usualmente, son utilizados con aspas pequeñas.

3.1.3.2 Hélices

Otro componente de mucha importancia en el UAV son las hélices. Son las encargadas de generar el empuje disponible para lograr vencer la resistencia aerodinámica. En consecuencia, se genera el movimiento en el UAV a partir de la energía recibida del motor. Los parámetros básicos que describen la hélice son el diámetro y el paso (inclinación de la hélice). (K. D. Patel et al., 2017)

El diámetro de la hélice determina el control de aire que se busca desplazar. A medida que este parámetro aumenta, proporcionalmente, incrementa la cantidad de aire que está siendo desplazada. A causa del empuje que genera la hélice y la energía entregada por el motor. Por otro lado, el paso de la hélice es otro parámetro que influye en el vuelo del UAV. Las hélices con un paso mayor permiten aplicar una mayor cantidad de movimiento al volumen de aire desplazado (Y. Patel et al., 2017). En consecuencia, es generado un mayor empuje a costa del incremento de las posibles turbulencias, esto aumenta la dificultad sobre el control de vuelo, reduciendo la maniobrabilidad.

Por otro lado las hélices con un paso menor, le permiten al UAV un giro con mayor rapidez y los cambios de velocidades son realizados con mayor facilidad y rapidez (Ning et al., 2017).

Esto se debe a la baja magnitud existente de inercia, permitiendo la generación de cambios de velocidad más rápidos. En la ilustración 6, se muestra los efectos del paso de la hélice según su magnitud.

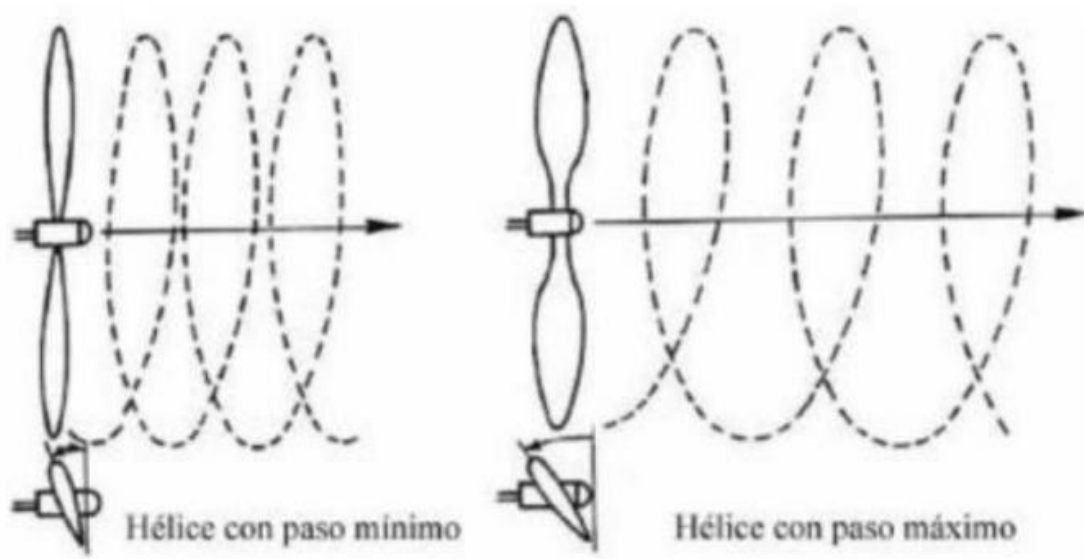


Ilustración 4 – Efectos del paso de una hélice

Fuente: (Y. Patel et al., 2017)

3.1.3.3 Material de la Estructura

Una de las principales partes que se debe tomar en cuenta al momento del diseño de un dron es su estructura. Específicamente, el material a utilizar en dicho diseño.

Es muy importante determinar el material a utilizar, principalmente, porque dependiendo de esta será determinado el peso de todo el UAV.

Los UAV livianos son más deseables ya que tienen un mejor rendimiento en términos de un rango de despegue más corto y una mayor duración del vuelo. Sin embargo, las estructuras livianas con características internas complejas son difíciles de fabricar utilizando métodos de fabricación convencionales. La capacidad de imprimir estructuras internas complejas directamente sin la necesidad de un molde le da a la manufactura aditiva (AM) una ventaja sobre la fabricación convencional.

Por esta razón, la manufactura aditiva se ha convertido en una de las maneras de producción de la estructura más utilizada. (Saharudin, 2016)

La llegada de la fabricación aditiva no solo revolucionó el campo de los vehículos aéreos no tripulados, sino que también afectó a todo el campo de la fabricación al simplificar el diseño y simplificar el proceso de fabricación.

Los UAV y los componentes aeroespaciales utilizan rutinariamente técnicas aditivas como el modelado por deposición fundida (FDM), la sinterización selectiva por láser (SLS), la estereolitografía (SLA), la fusión selectiva por láser (SLM) y la fusión por haz de electrones (EBM). Hasta ahora, FDM, SLA, Polyjet y SLS se han utilizado para imprimir completamente estructuras de UAV o para hacer ciertas partes de estructuras de UAV. (Goh et al., 2017)

En el método FDM, los objetos se crean capa por capa extruyendo un hilo de plástico calentado a través de una boquilla. Según Ferro et al. (2016) el material de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) se puede utilizar para imprimir la estructura del ala con una impresora FDM. Además, mencionó que las piezas podrían rediseñarse y reimprimirse rápidamente varias veces sin la necesidad de un molde, lo que reduciría el tiempo y el costo general. Llevaron a cabo un análisis comparativo entre ABS y UltemTM y encontraron que, si bien UltemTM tiene mejores propiedades mecánicas, superó la capacidad de ABS para imprimir características internas complejas. Esto se debió a la falta de sustratos solubles disponibles para UltemTM, lo que limitó la flexibilidad de diseño. El trabajo también concluyó que el plástico ABS tiene una tasa de supervivencia más alta que la balsa en el impacto. Este conocimiento científico se utilizó para diseñar y construir un UAV con cuerpo de ala combinado.

Se puede ver que FDM se usa ampliamente para fabricar estructuras críticas de UAV debido a su capacidad para imprimir materiales de alta resistencia. Sin embargo, debido a la limitación de tamaño del FDM, las estructuras se imprimen principalmente en piezas modulares y luego se unen mediante una varilla de carbono para mejorar la rigidez. Una plataforma más grande en el futuro se beneficiaría de la fabricación de estructuras de ala de una pieza para mantener la integridad estructural y permitir que la topología se implemente por completo. (Galatas et al., 2018)

Tabla 2 – Propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la manufactura aditiva

| Material | Técnica | Densidad (g/cm ³) | Resistencia a la Tracción (MPa) | Módulo de Young (MPa) | Resistencia a la Tracción Específica |
|-------------------|-----------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| ABS | FDM | 1.07 | 10-20 | 1400-2000 | 10-20 |
| Nylon | SLS | 1.01 | 44-45 | 1600-1700 | 44-45 |
| Ultem | FDM | 1.27 | 45-60 | 1500-1800 | 37-47 |
| PPSF | FDM | 1.29 | 70 | 2340 | 54.26 |
| Verowhite | Polyjet | 1.17 | 23-35 | 1200-1800 | 19-30 |
| ABS-like | SLA | 1.19 | 28-34 | 2534-2740 | 23-29 |
| ABS | Injection | 1.0063 | 34-41 | 2500-2700 | 34-41 |
| Balsa Wood | | 0.27 | 64 | 10400 | 236 |

Fuente: (Goh et al., 2017)

En la tabla 2, se muestra un resumen de las propiedades de los diferentes materiales procesados a través de una técnica de manufactura aditiva. Es necesario tener en cuenta las propiedades mecánicas del material que será utilizado para la estructura del UAV. Ya que dependiendo de ello se establecen las dimensiones.

Además de ello, la manufactura aditiva desempeña un papel en la mejora de las eficiencias estructurales y aerodinámicas para el UAV. La eficiencia estructural de un UAV se puede mejorar a través de dos métodos, es decir, el uso de estructuras livianas y el uso de materiales de alta resistencia a peso. Por el lado de la aerodinámica, con coeficientes de elevación altos, la resistencia inducida puede representar hasta el 50% de la resistencia total, Por lo tanto, es deseable reducir la resistencia inducida. Desde la teoría aerodinámica, el ala elíptica ofrece la resistencia inducida más baja que proporciona una distribución de elevación elíptica en el tramo. Sin embargo, esta forma es difícil de fabricar usando técnicas convencionales, pero se puede lograr usando técnicas de manufactura aditiva. (Azarov et al., 2019)

Otro tipo de materiales muy utilizados para el diseño y fabricación de los UAVs son los materiales compuestos de carbono. Estos materiales son utilizados ya que tienen propiedades materiales extraordinarias en la fabricación de vehículos aéreos no tripulados.

De hecho, Elfaham et al. (2020) estudiaron los materiales de manufactura de los UAV, por medio de técnicas como ser el infrarrojo por transformada de Fourier (FT-IR), rayos X dispersivos de energía (EDX) y espectroscopía de ruptura inducida por láser (LIBS), y análisis dinámico de las propiedades mecánicas.

Rastrearon el material compuesto mejor preparado hasta probarlo con una muestra real de vehículos aéreos no tripulados (UAV). Establecieron cuatro densidades diferentes de compuestos de fibra de carbono, en la tabla 3 se muestran.

Tabla 3 – Materiales compuestos de carbono

| Composición | C (%) | O (%) | Al (%) | Si (%) |
|--------------------|-------|-------|--------|--------|
| CF-100 | 40.12 | 42.93 | 11.4 | 5.55 |
| CF-200 | 48.16 | 12.65 | 29.32 | 9.87 |
| CF-300 | 53.67 | 19.71 | 17.7 | 8.92 |
| CF-400 | 59.11 | 29.82 | 7.42 | 3.65 |
| Real target | 44.3 | 30.19 | 15.67 | 6.84 |

Fuente: (Elfaham et al., 2020)

Las tiras rectangulares de cuatro diferentes compuestos de densidades de fibras de carbono se fueron preparadas mediante la técnica de bolsa de vacío, y se comparan con la muestra real de vehículos aéreos no tripulados (UAV). La primera parte del estudio identificó la composición química de las muestras preparadas mediante diferentes técnicas espectroscópicas: FTIR confirmó que el elemento de carbono en la resina epoxi es la característica principal de la estructura compuesta. La técnica LIBS demostró claramente el aumento de las intensidades de las líneas espectrales de carbono con el aumento de la densidad de carbono de los compuestos preparados. El compuesto CF-100 exhibe mejores propiedades mecánicas con un módulo de almacenamiento relativamente alto y una amortiguación baja que el CF-200. Por lo tanto, CF-100 es el parecido más cercano al objetivo real y, por lo tanto, puede verse como una alternativa óptima al UAV real. (Elfaham et al., 2020)

3.1.4 USOS Y APLICACIONES

A causa del diseño y funcionamiento de los UAVs posee una gran variedad de usos y aplicaciones, algunas de estas se presentan en las subsecciones siguientes.

Drones Militares

Los drones militares se conocen como aviones de combate no tripulados, conocidos por las inicialesUCAV. Este tipo de dron es solo para la Fuerza Aérea y la CIA y se llama dron de combate o dron militar.

Estos vehículos no tripulados están armados para que el ejército los utilice como arma mortal y realice bombardeos. Dado que no tienen que llevar un piloto, se utilizan ampliamente para proteger la vida de un soldado y al mismo tiempo quitar la vida al enemigo. Si son derribados, no hay vidas humanas de las que arrepentirse ni pérdidas financieras significativas, ya que estos drones son mucho más baratos en comparación con los aviones. El papel militar de los sistemas de drones está creciendo a un ritmo sin precedentes. (Vachtsevanos & Valavanis, 2014)



Ilustración 5 – MQ-9

Fuente: (Vachtsevanos & Valavanis, 2014)

Los rápidos avances en tecnología están permitiendo que se coloquen más y más capacidades en aviones más pequeños, lo que está estimulando un gran aumento en el número de Sistemas de Pequeños Aviones No Tripulados (SUAS) que se implementan en el campo de batalla.

Los drones militares son diseñados de la manera que poseen más capacidades y una mayor resistencia. Como ser el UAV MQ-9 Reaper mostrado en la ilustración 10, utilizado como un cazador de cazadores. Se utiliza principalmente como un UAV cazador-asesino persistente para objetivos críticos urgentes y en segundo lugar para la recopilación de inteligencia. (Vachtsevanos & Valavanis, 2014)

Drones Civiles

Por otro lado, a diferencia de los drones militares, los drones civiles no se encuentran equipados con ningún armamento ni bombas.

Cada vez más están siendo utilizados los UAVs por las personas civiles. Los UAVs se han adaptado las necesidades a las necesidades del público, ya sean personas profesionales o simplemente aficionados. (Vachtsevanos & Valavanis, 2014)

Existen diversas ventajas que puede ofrecer un dron y el uso civil de estos drones va en aumento debido a la variedad de funciones que pueden realizar sin estar tripulados, pero desde la comodidad de tu hogar.

Extinguir los incendios forestales sin poner en peligro la vida de un operador; realizar un extenso trabajo cartográfico; volar muchas horas, utilizar para vigilancia y seguridad; o simplemente poder ver, capturar y grabar paisajes desde un punto de vista al que ni siquiera podría llegar en avión. (Adão et al., 2017)

Dependiendo de la cámara, los drones pueden otorgar una alta calidad en la fotografía. Por esta razón, estos equipos son muy utilizados dentro de la televisión y para grabar videos y capturar imágenes. Otra área donde es muy útil el UAV es en el área de agricultura ya que permite fumigar los campos, facilita los riegos la siembra, inclusive puede vigilar la cosecha de ser necesario. (Tsouros et al., 2019)

Las plataformas de vehículos aéreos no tripulados (UAV) son una fuente valiosa de datos para problemas de inspección, vigilancia, mapeo y modelado 3D en la actualidad. Dado que los UAV pueden verse como una alternativa rentable a la fotogrametría aérea tripulada clásica, se introducen nuevas aplicaciones en el rango cercano y cercano. Puede recopilar datos fotogramétricos con cámaras digitales de aficionados o cámaras réflex de un solo objetivo. (Crommelinck et al., 2016)

3.1.5 FUENTES DE ENERGÍA

Una parte fundamental a considerar para el diseño de los vehículos no tripulados es la batería o la fuente de energía. Ya que el tiempo de vuelo total de UAV depende directamente de la fuente de energía.

Una de las características técnicas que impiden el uso de drones durante mucho tiempo es la gestión de la energía que aporta la batería que llevan incorporada. Esto es principalmente consecuencia de su elevado consumo energético debido a los componentes eléctricos que los componen, especialmente sus motores. Con la tecnología existente, los drones de mayor alcance con múltiples rotores pueden volar alrededor de 60 minutos con una sola batería. Existen diferentes baterías que suelen utilizarse como fuente de energía de los drones estas se presentan en las subsecciones posteriores.

Ni-Cd

La batería de níquel-cadmio (Ni-Cd) es un tipo de batería recargable que utiliza hidróxido de óxido de níquel y cadmio metálico como electrodos

Entre las tecnologías de baterías recargables, el Ni-Cd perdió rápidamente participación en el mercado en la década de 1990, debido a las baterías de NiMH y Li-ion. Una batería de Ni-Cd tiene un voltaje terminal de alrededor de 1,2 voltios durante la descarga, el cual disminuye solo ligeramente hasta poco antes del final de la descarga. (Donateo et al., 2017)

El máximo E.M.F ofrecido por la celda Ni-Cd es 1.3V. Las baterías de Ni-Cd se fabrican en una variedad de tamaños y capacidades, desde tipos selladas portátiles reemplazables hasta pilas secas de carbono-zinc. En comparación con otros tipos de celdas recargables, ofrecen un buen ciclo de vida y rendimiento a bajas temperaturas con una capacidad justa.

Su ventaja significativa es la capacidad de entregar prácticamente su capacidad nominal completa a altas velocidades de descarga (descarga en una hora o menos). Sin embargo, los materiales son más costosos que los de la batería de plomo y ácido, y las celdas tienen altas tasas de auto descarga.(Depcik et al., 2020)

Los constructores de aviones o botes a menudo toman corrientes mucho más grandes de hasta cien amperios más o menos de baterías de Ni-Cd especialmente construidas, que se utilizan para conducir motores principales.

Se puede lograr fácilmente de 5 a 6 minutos de operación del modelo con baterías bastante pequeñas, por lo que se logra una cifra de potencia a peso razonablemente alta. Sin embargo, han sido reemplazados en gran medida por baterías de polímero de litio (Lipo) y fosfato de litio y hierro (LiFe), que pueden proporcionar densidades de energía aún más altas. (Donateo et al., 2017)

Ni-MH

Se dice que la reacción química en el electrodo positivo es muy parecida a la de la celda de níquel-cadmio (NiCd.). Además de ello, ambos usan hidróxido de óxido de níquel (NiOOH). A una batería de NiMH se le posibilita obtener de dos a tres veces la capacidad de una de NiCd del mismo tamaño, y su densidad de energía puede acercarse a la de una batería de iones de litio. Se estima que cada batería Ni-MH puede entregar un voltaje de 1.2V con un rango de corriente de 0.8-2.9 amperios-hora. Tiene una densidad energética de hasta 100 Wh / kg. (Donateo et al., 2017)

Tiene ciclos de carga que van desde 500 a 2000 cargas. Sin embargo, estas baterías tienen una tasa de auto descarga más alta que las baterías de Ni-Cd. La tasa de auto descarga de las baterías de Ni-Cd es del 30% en comparación con el 20% de las baterías de Ni-MH. (Donateo et al., 2017)

Ion-Litio

Las baterías de iones de litio son utilizadas, en dispositivos electrónicos portátiles y se están volviendo más populares en aplicaciones militares. En este tipo de batería, los iones de litio se mueven desde el electrodo negativo a través del electrolito hasta el electrodo positivo durante la descarga y viceversa durante la carga.

Las baterías de iones de litio utilizan un compuesto de litio colocado como material en el electrodo positivo y, por lo general, grafito en el electrodo negativo.

Las baterías tienen una alta densidad de energía, sin efecto memoria y baja auto descarga. Sin embargo, pueden suponer un riesgo para la seguridad porque contienen electrolitos inflamables. Si se dañan o se cargan incorrectamente, pueden provocar explosiones e incendios. (Depcik et al., 2020)

Li-Po

Una batería de polímero de litio, o Li-Po, es una batería de iones de litio recargable que utiliza un electrolito de polímero en lugar de un electrolito líquido. Este electrolito está formado por polímeros de alta conductividad semisólidos de alta conductividad.

Estas baterías proporcionan una energía mucho mayor en comparación que otros tipos de baterías como por ejemplo las de litio y son usadas en aplicaciones donde el peso es un factor crítico, como en aviones controlados a distancia. (Depcik et al., 2020)

Similar a otras celdas de litio, Li-Po funciona intercalando y des intercalando los iones de litio del material del electrodo positivo y negativo, siendo el electrolito líquido un medio conductor. La tabla 4 enumera todas las propiedades de las baterías que se usan comúnmente para los UAV. (Krawczyk et al., 2014)

Tabla 4 – Tipos de baterías y sus características

| Batería | Densidad energética (Wh/L) | Voltaje/celda (V) | Capacidad /celda (Ah) | Energía específica (Wh/kg) | Tasa de descarga continua (C) | Ciclos de descarga | Costo |
|---------|----------------------------|-------------------|-----------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|------------|
| Ni-MH | 140-300 | 1.2 | 0.8-2.9 | 100 | 0.5-2 | 500-2000 | Bajo |
| Ni-Cd | 50-150 | 1.2 | <3 | 40-60 | 1-3 | 2000 | Bajo |
| LiCoO2 | 400 | 3.7 | <3 | 200 | 25 | 400 | Alto |
| LiFePO4 | 220 | 3.2 | 1-20 | 90-110 | 30 | 2000-7000 | Alto |
| LiPo | 300 | 3.7 | <8 | 130-200 | 60 | 1000 | Medio |
| Li Ion | 200-500 | 3.7 | <4 | 75-200 | 2-6 | 400-1200 | Medio-Alto |

Fuente: (Krawczyk et al., 2014)

3.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

El Sistema de posicionamiento global (GPS) es un sistema de navegación por satélite operado por los Estados Unidos. El sistema consta de una constelación de 24 satélites en la órbita MEO (órbita terrestre de altitud media) y una red terrestre global para monitorear y controlar los satélites. (Hegarty, 2017)

El programa GPS comenzó a principios de la década de 1970 y el sistema se declaró completamente operativo en 1995.

Internacionalmente, la constelación GPS se considera solo un componente dentro de la colección global de satélites de navegación que se conoce como el sistema mundial de navegación por satélite (GNSS). (Henkel et al., 2016)

La constelación GPS nominalmente consta de 24 satélites en órbitas circulares con un radio orbital de 26 559 km. Las órbitas del satélite están inclinadas 55° con respecto al plano ecuatorial. Cuatro satélites están contenidos en cada uno de los seis planos orbitales, que están igualmente espaciados con respecto a su orientación alrededor del eje de rotación de la Tierra. Los seis planos orbitales se identifican mediante designadores de letras, de A a F. Las 24 ubicaciones de satélite nominales en una época específica se denominan ranuras y se designan mediante una combinación de letra y número. El ángulo horario de Greenwich para esta época es 18h 36m 14: 4s. (Hegarty, 2017)

La altitud orbital se eligió, en parte, para soportar las primeras pruebas del sistema cuando la constelación estaba solo parcialmente poblada. La altitud nominal proporciona un período orbital de medio día sideral (aproximadamente 11h 58m) para que las pistas terrestres del satélite se repitan diariamente. Aunque la repetición de las pistas en tierra es conveniente para planificar ciertas aplicaciones GPS, resultan en fuerzas resonantes en cada satélite GPS debido al campo gravitacional no uniforme de la Tierra, lo que a su vez resulta en la necesidad de maniobras más frecuentes de mantenimiento de estaciones satelitales (Hegarty, 2017)

Las maniobras de satélites GPS se realizan según sea necesario (generalmente una vez cada 1 a 2 años por satélite) con el objetivo de mantener para cada satélite la excentricidad dentro del rango de 0 a 0.02, la inclinación dentro del rango de 52 a 58° y argumento de espaciado de latitud dentro de 41 de los valores nominales. (Henkel et al., 2016)

3.2.1 TIPOS

Existen otros sistemas de navegación global por satélite aparte del GPS, estos son GLONASS y GALILEO.

GLONASS

GLONASS es el segundo sistema de navegación por satélite totalmente operativo y global. GLONASS es el sistema de navegación satelital global gubernamental de doble uso de segunda generación de la Federación Rusa.

El predecesor de GLONASS, el sistema de navegación/comunicación por satélite a baja altitud Tsydon / Tsikada, comenzó a funcionar en 1976. También estaba disponible para usuarios civiles. El sistema proporcionó una precisión de posicionamiento de 80–100 m con un retraso de 1.5–2 h. La investigación y el desarrollo de GLONASS comenzaron a principios de la década de 1970 y se basaron en el método de determinación de posición instantánea utilizando mediciones de diferencias de tiempo entre un receptor de navegación y un grupo de satélites que emiten señales de navegación con etiquetas de tiempo sincronizadas. (Revnivikh et al., 2017)

El segmento espacial GLONASS consta nominalmente de 24 satélites operativos, distribuidos uniformemente en tres planos orbitales, como se muestra en la ilustración 10. Los satélites GLONASS no tienen resonancia con la rotación de la Tierra (según los armónicos del campo gravitacional).

El período del satélite se selecciona de modo que los satélites realicen 17 órbitas completas durante ocho días equinocciales (aproximadamente ocho días constituyentes). Además, el comienzo de cada órbita cambia con respecto a la superficie de la Tierra. Cada ocho días, un satélite pasa sobre el mismo punto en la superficie de la Tierra.

La inclinación orbital de los satélites GLONASS (65°) es aproximadamente diez grados mayores que la de otros sistemas de navegación de órbita terrestre (MEO) de altitud media (GPS y Galileo), que proporciona mejores condiciones de visibilidad sobre el área de la Federación Rusa. (Henkel et al., 2016)

GALILEO

Los enormes beneficios potenciales de la navegación por satélite para los ciudadanos reunieron a la Agencia Espacial Europea (ESA) y la Comisión Europea (CE) en colaboración para desarrollar y desplegar un sistema europeo de satélites de navegación por radio llamado Galileo. El desarrollo de Galileo siguió un enfoque iterativo. Fue iniciado a fines de 2003, llevado a cabo por la Agencia Espacial Europea (ESA) y cofinanciado por la ESA y la Unión Europea. La constelación de Galileo es el resultado de estudios detallados y optimización. Las posiciones nominales de los satélites en el espacio durante un tiempo determinado están definidas por los elementos keplerianos de referencia expresados en el Sistema de referencia intermedio celeste (CIRS).

La Fase de Explotación está planificada para comenzar durante el despliegue del sistema completo, efectuado el 2017, y consistió en operaciones de rutina, así como el mantenimiento del segmento terrestre y la reposición de la constelación satelital. Se planea que esta fase dure durante la vida útil del diseño del sistema, (Falcone et al., 2017)

La geometría de la constelación se ha optimizado para lograr condiciones geométricas consistentemente buenas a escala global, lo que lleva a una buena precisión y disponibilidad de la posición del usuario. La inclinación de los planos orbitales proporciona una mejor cobertura en las latitudes más altas, por ejemplo, en comparación con el GPS. La constelación de 24 satélites producirá entre seis y 11 satélites Galileo visibles en cualquier ubicación de usuario en todo el mundo.

La visibilidad promedio es de más de ocho satélites Galileo por encima de 5 ° de elevación. La constelación de referencia se complementará con nominalmente seis satélites de reserva. (Falcone et al., 2017)

3.2.2 USO DE GPS EN UAVS

El uso de un sistema de navegación global por satélite es de mucha utilidad para la navegación de los vehículos no tripulados. Ya que se puede determinar en el punto exacto en que se encuentra el UAV en cada momento. Por lo que posibilita nuevas formas de vuelo del dron.

Con el sistema de navegación por satélite, al UAV se le pueden asignar primero rutas planificadas. Esto permite a los pilotos determinar una ruta e instruir al dron para que la siga. Esto le da al vehículo aéreo no tripulado un control más autónomo. Además, tiene muchos usos.

Daakir et al. (2017) diseñaron un UAV ligero con fotogrametría integrada y posicionamiento GPS de frecuencia única para aplicaciones de metrología. Presentaron un sistema acoplado que consiste en un receptor GPS de frecuencia única y una cámara de calidad fotogramétrica ligera incrustada en un vehículo aéreo no tripulado (UAV). Con la finalidad de producir datos de alta calidad que puedan usarse en aplicaciones de metrología. Demostraron que se puede alcanzar una precisión de unos pocos centímetros con este sistema que utiliza módulos UAV y GPS de bajo costo junto con la cámara casera IGN-LOEMI.

Arreola et al. (2018) desarrollaron una mejora en la estimación de la posición del UAV con GPS de bajo costo, INS y sistema basado en visión. Este sistema estaba basado en dispositivos de bajo costo: GPS, sensores comerciales de piloto automático y algoritmo de flujo óptico denso implementado en una microcomputadora a bordo. Los resultados demuestran la efectividad del enfoque propuesto en comparación con los enfoques convencionales presentados en la gran mayoría de los drones comerciales.

3.3 CÁMARAS DE VIGILANCIA

A lo largo de las últimas décadas, la popularidad de las cámaras de vigilancia ha incrementado. Gracias a la tecnología avanzada, ahora vienen en muchas formas y tamaños.

También existen versiones cableadas e inalámbricas de estos sistemas de seguridad. Por un lado, las versiones inalámbricas ofrecen mucha mayor flexibilidad. Esto se debe a que las cámaras de vigilancia pueden ser ubicadas donde sea.

Las cámaras de seguridad listas para Internet son una excelente manera de monitorear cualquier ubicación. La cámara puede ponerse en operación desde cualquier lugar con conexión a internet. Esto permite a los propietarios vigilar su propiedad durante su ausencia. Incluso hay sistemas de vigilancia que pueden notificarle por correo electrónico cuando se detecta movimiento. Las cámaras de vigilancia equipadas con sensores de movimiento permiten la detección de movimientos. Incluso el más mínimo movimiento puede activar estos sensores de movimiento para iniciar el proceso de grabación de video. (Cerezo, 2013)

La presencia de sistemas de seguridad ha ayudado a prevenir delitos y robos. Esa reputación les ha ayudado a hacerse populares tanto en los hogares como en las empresas. Con los años, los sistemas de cámaras para vigilancia de seguridad se han convertido en un tipo de tecnología más accesible para cualquier empresa o persona. En consecuencia, cada vez más hogares y negocios están equipados con cámaras de vigilancia con la esperanza de protección. En general, la importancia de un sistema de seguridad se ha vuelto cada vez más innegable. (George, 2018)

Takagi et al. (2020) desarrollaron un estudio para determinar que proveen las cámaras de seguridad a la sociedad. La influencia que ejercen las cámaras en lugares públicos.

En conclusión, este estudio ha demostrado la posible relación causal entre las cámaras de seguridad y las percepciones de la sociedad comunal; es decir, las cámaras de seguridad tuvieron un efecto positivo en la confianza en los demás y un efecto negativo en la cohesión social percibida. Estos resultados sugieren que una sociedad de vigilancia podría tener el potencial de sacrificar algunas características positivas de la sociedad actual, así como garantizar la seguridad y la seguridad de los residentes. Este estudio no afirma que la vigilancia no deba ejercerse en la sociedad.

Destaca la importancia de implementar políticas sociales sobre cámaras de seguridad con la debida consideración de los efectos positivos y negativos en las dimensiones psicosociales de la sociedad.

3.3.1 TIPOS

Dentro de las cámaras que se pueden utilizar en los UAVs para propósitos de seguridad se pueden utilizar las siguientes.

3.3.1.1 Cámara FPV

Las cámaras FPV es una cámara que puede llegar a lograr una "vista en primera persona". Normalmente esta cámara se encuentra situada en la parte delantera del dron, no debajo de este. Las cámaras FPV son pequeñas, livianas y económicas. La cámara FPV está montada en un dron para enviar video en tiempo real al suelo usando un transmisor de video. La cámara FPV le permite visualizar hacia dónde se dirige la aeronave. Las cámaras FPV tienen un tiempo de respuesta instantáneo, lo que significa que carecen de un retraso en la imagen llamado retraso. Este tipo de cámara de drones suele ser pequeña, muy ligera y bastante económica. (Saha et al., 2017)

El tener imagen en tiempo real es de gran utilidad ya se puede mantener un control completo sobre el vehículo aéreo no tribulado, a causa de la mayor rapidez en la reacción ante cualquier situación. La falta de retraso en la imagen es muy importante, Se convierte en una cámara óptima a utilizar para cuando el UAV se moviliza a altas velocidades. Tendrá una latencia menor de 40 ms. (Singhal et al., 2018)

Un componente muy importante es el sensor en la cámara FPV. El sensor en la cámara FPV es el componente responsable de capturar la luz e imagen que ingresa a la lente y convertir esa información en señales eléctricas transmisibles.

Existen dos tipos de sensores que se suelen utilizar que son:

1) CCD

Las cámaras CCD se consideraron superiores ya que estas tenían una latencia baja (alrededor de 20 ms) y un muy buen WDR (amplio rango dinámico) que permite ver áreas claras y oscuras sin sobreexponer o subexponer tampoco. Los fabricantes han logrado reducir la latencia para que sea comparable con las cámaras CCD y, debido a la naturaleza del sensor, pueden crear una imagen más nítida / nítida que le permite ver más detalles al volar. Las cámaras CCD siguen siendo la opción más confiable, si el buen manejo de la luz es importante para el lugar donde vuela (bajo sol, dentro y fuera de los árboles, etc.). (Saha et al., 2017)

2) CMOS

Las cámaras CMOS generalmente tenían una alta latencia o un manejo de la luz muy pobre. Aunque los fabricantes han logrado reducir la latencia para que sea comparable con las cámaras CCD y, debido a la naturaleza del sensor, pueden crear una imagen más nítida / nítida que le permite ver más detalles al volar. Las últimas cámaras CMOS ahora incluyen 'Super WDR', que es superior incluso al manejo ligero de las cámaras CCD. (Singhal et al., 2018)

3.3.1.2 Cámara de Grabación

Este tipo de cámaras se encuentran entre los usos más comunes de los drones en la actualidad: la grabación audiovisual. Evidentemente, la calidad de las imágenes depende de la calidad de la cámara. En comparación con las cámaras FPV, estas cámaras tienen un cierto retraso. Este tipo de cámaras diseñadas para grabar suelen funcionar a través de una señal Wi-Fi o Bluetooth, lo que les da una imagen de alta calidad. Sin embargo, esta calidad de imagen tiene una compensación en el tiempo de respuesta. (Hassanalian & Abdelkefi, 2017)

Si bien es cierto que el tiempo de respuesta es corto (0,5 a 2 segundos), hace que este tipo de cámara no sea práctico en situaciones de respuesta rápida.

Por esta razón, es utilizada en aplicaciones donde no son necesarios movimientos con rapidez, como ser para grabación de deportes, fotografía, videos, etc. (Hassanalian & Abdelkefi, 2017)

3.3.1.3 Otros

Otro tipo de tecnología que son incorporados a las cámaras de los drones es la termografía. A lo largo de las últimas décadas, esta tecnología ha sido muy útil en el área industrial y de construcción.

Se ha introducido un nuevo desarrollo: el control termográfico desde el aire. En combinación con drones, las cámaras termográficas pueden ser particularmente útiles al medir sistemas fotovoltaicos. Estos drones de imágenes térmicas también se utilizan para imágenes térmicas de edificios o líneas eléctricas inaccesibles.

También se utilizan para apagar incendios y trabajar por guardias de seguridad. Esta tecnología también se puede aplicar a otras aplicaciones industriales, investigación y desarrollo, arqueología aérea de vanguardia, observación de flora y fauna, o incluso la identificación de paneles fotovoltaicos. (Kim et al., 2017)

En el área de seguridad este tipo de cámara puede ser de mucha utilidad. Ya que en las horas de la noche la cantidad de luz suele ser muy limitada, por lo tanto, la visión de una cámara también se ve muy limitada. Sin embargo, a través de la termografía puede determinar la posición de una persona o inclusive un animal por su calor corporal. Es lo que realizan (Zhang et al., 2020).

3.4 SOFTWARE CAD/CAE

Para el diseño del UAV es necesario realizar las respectivas simulaciones. Por lo tanto, es necesario apoyarse en diversos softwares que nos asista a esta tarea. Es necesario el uso de software que están basado en el diseño asistido por computador (CAD) y por ingeniería asistida por ordenador (CAE). CAD hace referencia a todas las herramientas que permiten el diseño de diversas actividades y objetos. Permiten crear cualquier objeto gráfico que después se plasmará en el físico. (Kyratsis et al., 2020)

El término software CAD se refiere también a un plano Soporte ambiental basado en un diseño similar al diseño de cableado que refleja la estructura del software que funciona como un tanto al razonamiento humano como a las herramientas automatizadas para el análisis y el código generaciones. La palabra revolución se refiere a la confirmación de u cómo la industria tendría un efecto tan profundo en el estado de formación. (Reymond, 2018)

CAD es una técnica de análisis que se puede utilizar para modelar el comportamiento de un producto incluso antes de su creación. Es posible que no se requieran dibujos en papel en la etapa de diseño.

El uso de software CAD en ingeniería incluye la creación de tablas de resumen, diagramas de varios tipos, gráficos estadísticos, presentación estandarizada de piezas para su diseño y fabricación, representación 3D de modelos dinámicos en multimedia, análisis de elementos finitos, aplicaciones en realidad virtual, Robótica etc. (Kyratsis et al., 2020)

CAE se le considera como el conjunto de programas informáticos con los que se analizan los diseños hechos por ordenador para poder valorar sus características y obtener de esa manera el resultado deseado.

3.4.1 SOLIDWORKS

SolidWorks es un programa CAD (Diseño asistido por computadora) para modelado mecánico tanto de 2D como 3D. El programa permite realizar modelos de diversos tipos de piezas o conjuntos. Para posteriormente, extraer de estos modelos diferentes informaciones, tanto dibujos técnicos como otra información necesaria para la producción. Es un programa que trabaja sobre la base de nuevas técnicas de modelado en sistemas CAD. SolidWorks es un software de modelado de sólidos para diseño asistido por computadora (CAD) y diseño asistido por computadora (CAE). El software está escrito en Parasolid-kernel. (Chang, 2019)

SolidWorks proporciona equipos completos para la fabricación, imitación, publicación, gestión de información y gestión y operaciones de proyectos, lo que reduce la innovación y la producción de materiales de construcción.

Todas estas soluciones funcionan juntas para permitir a las organizaciones fabricar productos mejores, más rápidos y más asequibles. (Elkan, 2018)

Con SolidWorks se puede obtener resultados detallados para cada fase de diseño. Cuenta con un completo conjunto de herramientas que lo ayudan a ser más eficiente y productivo en el desarrollo de sus productos en todas las etapas del proceso de diseño. La simplicidad tiene su valor y es importante para el éxito de muchos clientes.

La creación de modelos en SolidWorks generalmente inicia con un boceto 2D. Un boceto consta de geometría como puntos, líneas, arcos, conos (excluida la hipérbola) y splines. Las cotas pueden ser añadidas posteriormente al boceto para determinar el tamaño y la ubicación de la geometría. Las relaciones se utilizan para definir atributos como tangencia, paralelismo, cuadratura y concetricidad. La naturaleza paramétrica de SolidWorks significa que las dimensiones y las relaciones definen la geometría, no al revés. Las dimensiones en el boceto se pueden controlar de forma independiente o mediante relaciones con otros parámetros dentro o fuera del boceto. (Chang, 2019)

Además, SolidWorks permite el desarrollo de estudios sobre todo el modelo utilizando un material en específico. Particularmente, se pueden realizar estudios estáticos, de tensión o de resistencia.

Lo que se hace en SOLIDWORKS Simulation es inducir fuerzas internas y reacciones desde las cargas externas para renderizar el sólido a un estado de equilibrio. Este estudio puede ayudar a evitar fallos que sean provocados por altas tensiones. (Chang, 2019)

3.4.2 FUSION 360

Fusion 360 es una herramienta CAD y CAE del gigante de la industria Autodesk. Fusion 360 es una herramienta excelente para el modelado preciso de objetos 2D y 3D. Además de ello se puede animar diseños, renderizar objetos, simular cargas, incluso preparar modelos para CNC. Muchas pequeñas y grandes empresas utilizan la plataforma para diseñar y crear prototipos de sus productos, ya que Fusion 360 ofrece posibilidades de CAD, CAM y CAE. (Verma, 2018)

Autodesk Fusion 360, es un software CAD utilizado para crear modelos 3D para su impresión y manufactura. Es uno de los softwares CAD gratis más completos en el mercado para entusiastas, así como profesionales que quieran hacer sus modelados de manera fácil y rápida. (Coward, 2019)

En Fusion 360, hay varios entornos de trabajo, cada uno de los cuales proporciona al usuario características y opciones distintivas. Cuando abre Fusion 360, lo primero que ve es un plano de modelado en blanco y una barra de herramientas de diseño, ya que el entorno de Diseño se usa de forma predeterminada. (Verma, 2018)

Fusión 360, un producto de Autodesk, que integra gráficos, aprendizaje automático y CAM, es una plataforma de diseño que es compatible con la colaboración y el uso compartido tanto en la web como a través de la nube. (Cai, 2018)

En productos anteriores, el diseño y la fabricación estaban previamente aislados. En términos de diseño, investigación y desarrollo, la comunicación entre diseñadores e ingenieros tendía a continuar a través de varios softwares productos, instrucciones de materiales y términos industriales.

Cuando sabe que el peso de su prototipo no se distribuye por igual y se piensa que las cargas puedan tener un impacto negativo en el producto final, es cuando debe crear una simulación y verificar los puntos críticos. Aquí, puede hacer un estudio de diferentes tipos de cargas o tensiones y comprender cómo funciona su producto en la vida real.

Se pueden manipular múltiples variables, incluidas la tensión estática, las frecuencias modales, las temperaturas, la tensión térmica, el pandeo estructural y la tensión estática no lineal.

Si el prototipo debe soportar mucha presión, este es definitivamente un entorno útil, y generalmente lo utilizan ingenieros experimentados. Muy similar a SolidWorks, que permite realizar estudios a un modelo diseñado con anterioridad. (Verma, 2018)

3.5 METODOLOGÍA ESPIRAL

El modelo en espiral es un modelo de proceso de desarrollo de software o algún proyecto en específico basado en riesgos.

En base a los patrones de riesgo únicos del proyecto, el modelo en espiral permite al equipo de investigación utilizar partes de uno o más modelos de proceso, como prototipos incrementales, en cascada o de evolución. En ciertos proyectos de investigación hace uso del término de modelo de proceso con la finalidad de referirse al modelo espiral, de igual manera como a los enfoques incrementales, ya sea cascada, prototipos entre otros.

Sin embargo, la combinación basada en el riesgo característica del modelo en espiral de las características de otros modelos de proceso ya está presente (Kyosung Jeong et al., 2016). En la ilustración 6 se muestra este modelo.

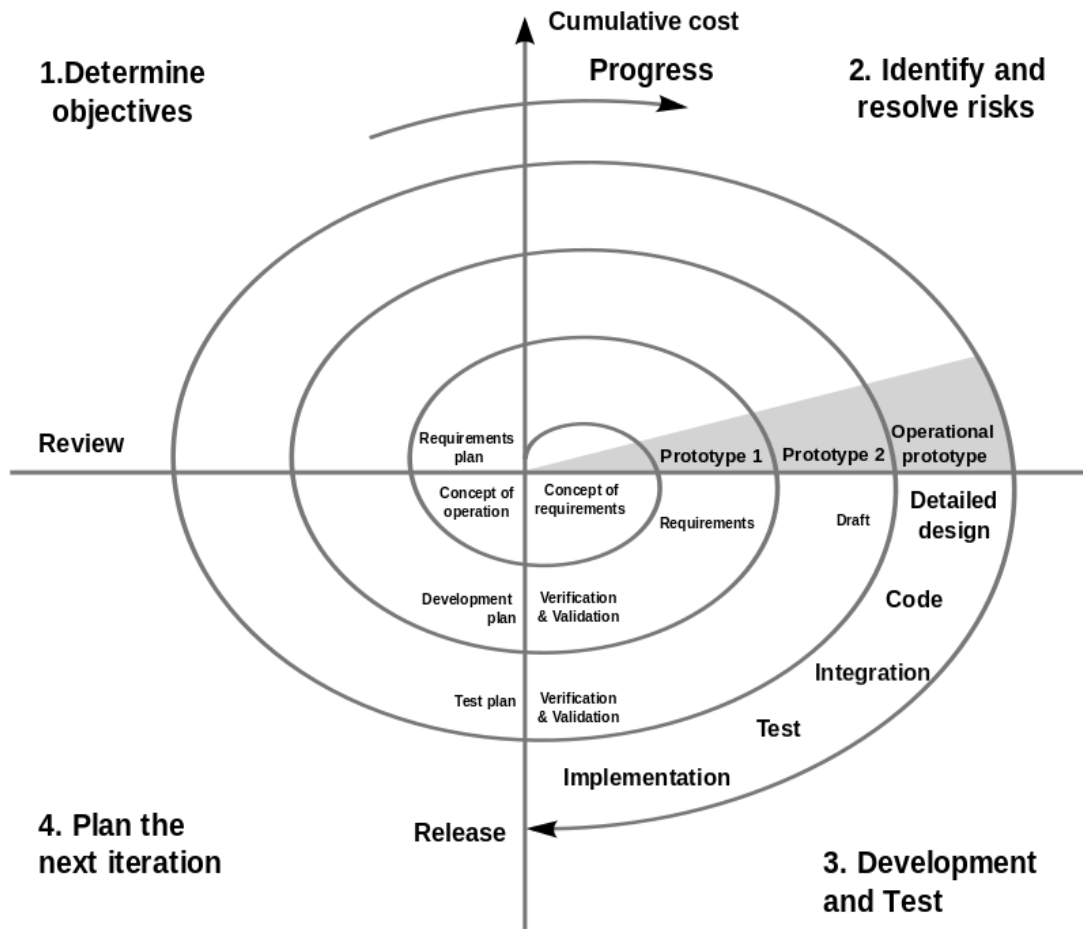


Ilustración 6 – Metodología espiral

Fuente: (Kyosung Jeong et al., 2016)

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

En este capítulo se verá la metodología de estudio empleada en esta investigación. A su vez definirá los procesos y fases que se llevaran a cabo para el desarrollo y diseño de un chasis para un dron de vigilancia que cuente con materiales resistentes. Para ello se utilizarán como herramientas lo que son software CAD, definidos en el capítulo anterior, que nos facilite el diseño y visualización 3D de nuestro modelo. De igual manera, se determinará el enfoque que permitirá el desarrollo de la investigación en conjuntos con las diversas técnicas y variables relacionadas en el proyecto de investigación. Al final se presentará un cronograma de actividades las cuales se estarán realizando a lo largo de esta investigación para lograr el diseño de un prototipo de chasis resistente y aerodinámico para dron de vigilancia residencial.

4.1 ENFOQUE

Para la presente investigación, el enfoque a tomar fue el enfoque cuantitativo. El enfoque cuantitativo es secuencial. Cada etapa precede a la siguiente y no se puede saltar un paso. Se parte de una idea reducida y, una vez explicada, sale el propósito y las preguntas de investigación, se revisan los libros y se construyen las direcciones o ideas. (Torres Fernández, 2018)

Se recopilarán datos específicos como ser resistencia de materiales, flexión y desplazamiento de los mismos, también el modelo aerodinámico, la velocidad que pueda soportar y fuerzas externas, esto nos ayudarán a diseñar de manera eficiente y resistente nuestro prototipo de chasis para el dron.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables de investigación son una variedad de organismos, objetos u objetivos que son únicamente variables y pueden detectarse, medirse, analizarse y monitorearse durante el estudio.

Las variables de estudio de la investigación son todos los elementos que medimos, la información que se recopiló o la información recopilada para responder preguntas de investigación, que generalmente se reflejan en los objetivos. (Villasis Keever et al., 2016)

El diseño de la estructura para el dron de vigilancia con ayuda de software CAD será la variable dependiente establecida para esta investigación. Las variables independientes serán todas aquellas variables que afectarán directamente el diseño de la estructura y la composición de la misma. Como variables independientes se identificaron 6 como se puede observar en la ilustración 7.

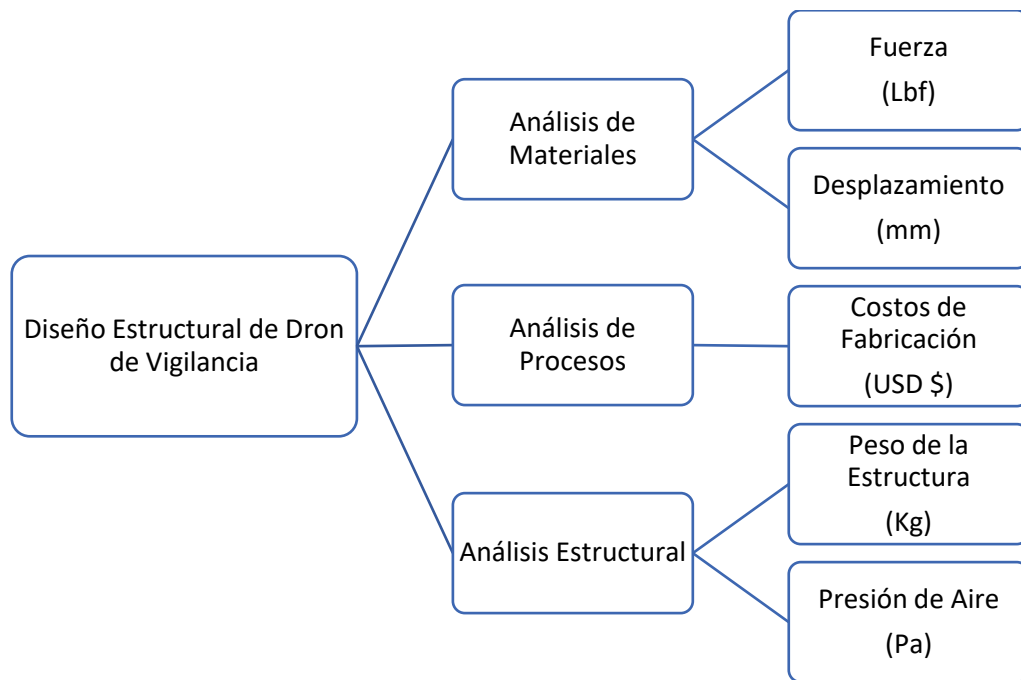


Ilustración 7 – Variables de Investigación para Dron de Vigilancia

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Las técnicas e instrumentos que se aplicaron a lo largo de la investigación se utilizaron con el fin de proporcionar información confiable y precisa, haciendo uso de las mejores herramientas de diseño para la elaboración de prototipos 3D. La información recopilada de artículos científicos, revistas de investigación y libros didácticos cumple con el objetivo de proporcionar la mejor información para la investigación.

Así mismo la utilización de programas de simulación permite la elaboración precisa de los componentes sin incurrir en gastos de producción extra para la experimentación del diseño estructural. Reduciendo a su vez el costo de producción final asegurando los materiales de mejor calidad que cumplan con los requerimientos planteados en los objetivos.

4.4 MATERIALES

Los materiales que fueron considerados para la elaboración de este proyecto fueron seleccionados tomando en cuenta los factores de seguridad de cada material, así como análisis de materiales para poder diseñar con holgura una estructura capaz de soportar su propio peso sumando el peso de todos los componentes con los cuales el dron contaría.

Los principales materiales que se consideraron para la estructura son Fibra de Carbono también plásticos ABS, PLA y TPU. Además de estos materiales para la estructura, están todos los pequeños componentes que harán la función de ensamblaje con las diferentes partes del diseño como ser tornillos, tuercas, espaciadores de goma y metal entre otros.

Para el desarrollo y fabricación del prototipo se utilizó el software SolidWorks y Autodesk fusión 360, ambos softwares CAD que nos facilita la creación del mismo. Para las simulaciones se utilizó una herramienta dentro de SolidWorks llamada SolidWorks Simulation, esta herramienta permite someter las piezas a esfuerzos, torques, fuerzas externas y presiones para el análisis estructural de cada material con diferentes materiales sin necesidad de fabricarlo e incurrir en gastos de producción de prototipaje,

4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

En la sección de Metodología de Estudio se abordarán los procedimientos para el desarrollo de la solución para el problema planteado en la presente investigación. Se implementará la metodología espiral, la cual, como se habló en el capítulo anterior, es secuencial y cada fase del desarrollo depende del éxito del ciclo anterior.

Para la siguiente investigación se plantean 4 ciclos en los cuales se desarrollará el diseño, prueba y recopilación de datos para la fabricación de un prototipo de estructura para un dron de vigilancia.

Dicho esto, se presentan los 4 ciclos con sus etapas definidas y objetivos claro a alcanzar en la finalización de los mismos. De no cumplir con los objetivos se planteará nuevamente cada ciclo haciendo énfasis en los errores o fallos presentados en la etapa de validación para cada ciclo.

4.5.1 CICLO 1 SELECCIÓN DE MATERIALES Y COMPONENTES

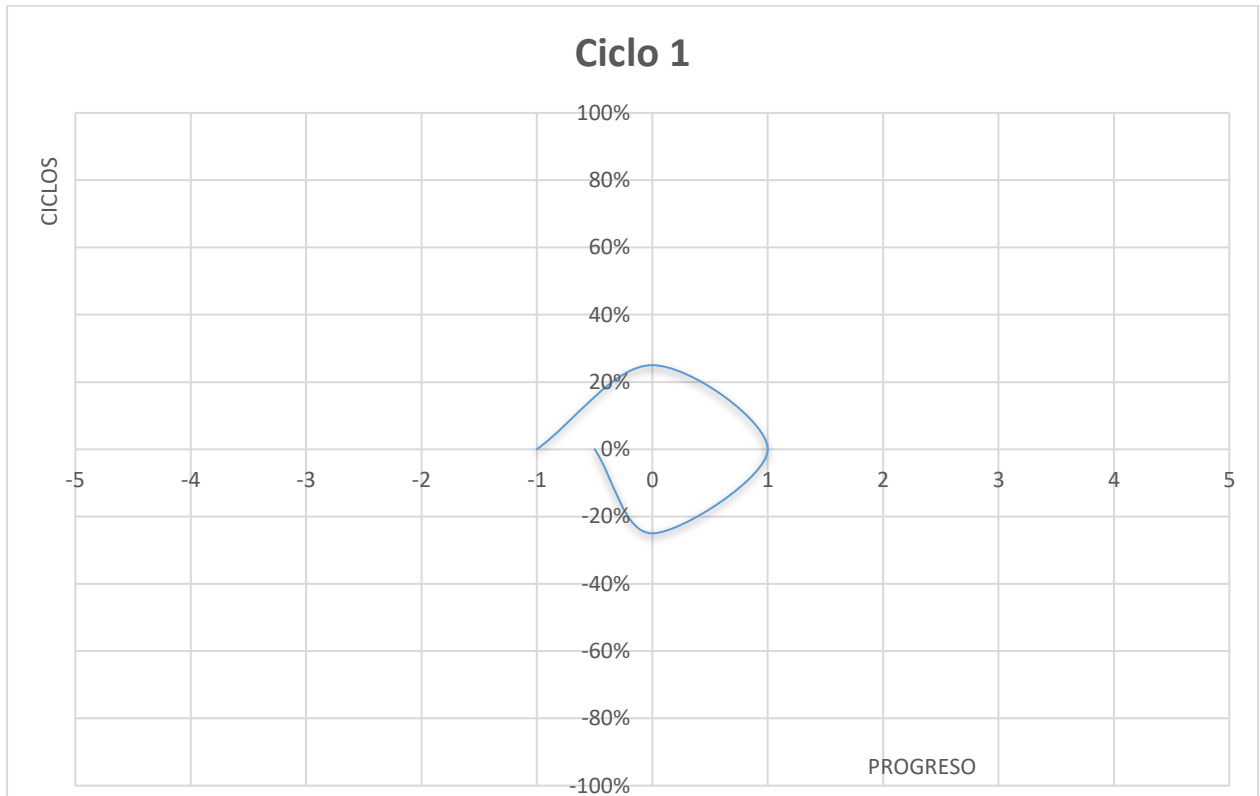


Ilustración 8 – Ciclo 1 Selección de Materiales y Componentes

Etapas I. Objetivo

Para el ciclo 1 el objetivo principal es seleccionar los materiales para definir la elaboración del diseño mediante software CAD para posteriormente realizar las pruebas correspondientes. A su vez se busca seleccionar las herramientas de simulación y diseño para el desarrollo del chasis o estructura del dron. También se busca elegir los componentes electrónicos apropiados para las funciones que realizara el UAV en su labor de vigilancia.

Etapas II. Análisis de riesgos

Los riesgos identificados en esta fase de la metodología aplicada para el proyecto serían los costos elevados por importación de materiales y componentes.

También se consideró que parte de los riesgos era el extravío de los mismos en el transcurso del envío a Honduras, el fallo o mal estado de los componentes al momento de recibirlos y no contar con reparación o garantías que cubran dentro del territorio nacional.

Etapa III. Desarrollar, Verificar y Validar

Para la selección de materiales y componentes a utilizar en el UAV de vigilancia se realiza una comparativa de las principales características de los componentes, también se compararon los softwares CAD/CAE disponibles para esta investigación. En la tabla comparativa para los materiales de construcción que se compararan para la construcción del chasis del dron se tomaran en cuenta propiedades Físico – Mecánicas como el coeficiente de fricción, densidad, temperatura de fusión y módulo de elasticidad.

Para la tabla comparativa de los componentes electrónicos se compararán datos como corriente máxima, voltaje máximo, características propias del componente, compatibilidad con demás elementos, dimensiones y el precio.

La selección de todos los componentes queda a criterio del diseñador, tomando en cuenta funcionalidad, estética y precios todo esto afín a todos los objetivos para cumplir un prototipo duradero y funcional.

Etapa IV. Planificar Siguiete Etapa

Finalmente, para el primer ciclo de la metodología en espiral, asumiendo que se lograron los objetivos, se evalúan los resultados para la selección de cada elemento que conformara el UAV y da paso a la panificación del siguiente ciclo. El siguiente ciclo consistiría en el diseño de la estructura tomando en cuenta las dimensiones y todos los datos recopilados en el ciclo número uno.

4.5.2 CICLO 2 DISEÑO CAD DE CHASIS PARA DRON DE VIGILANCIA

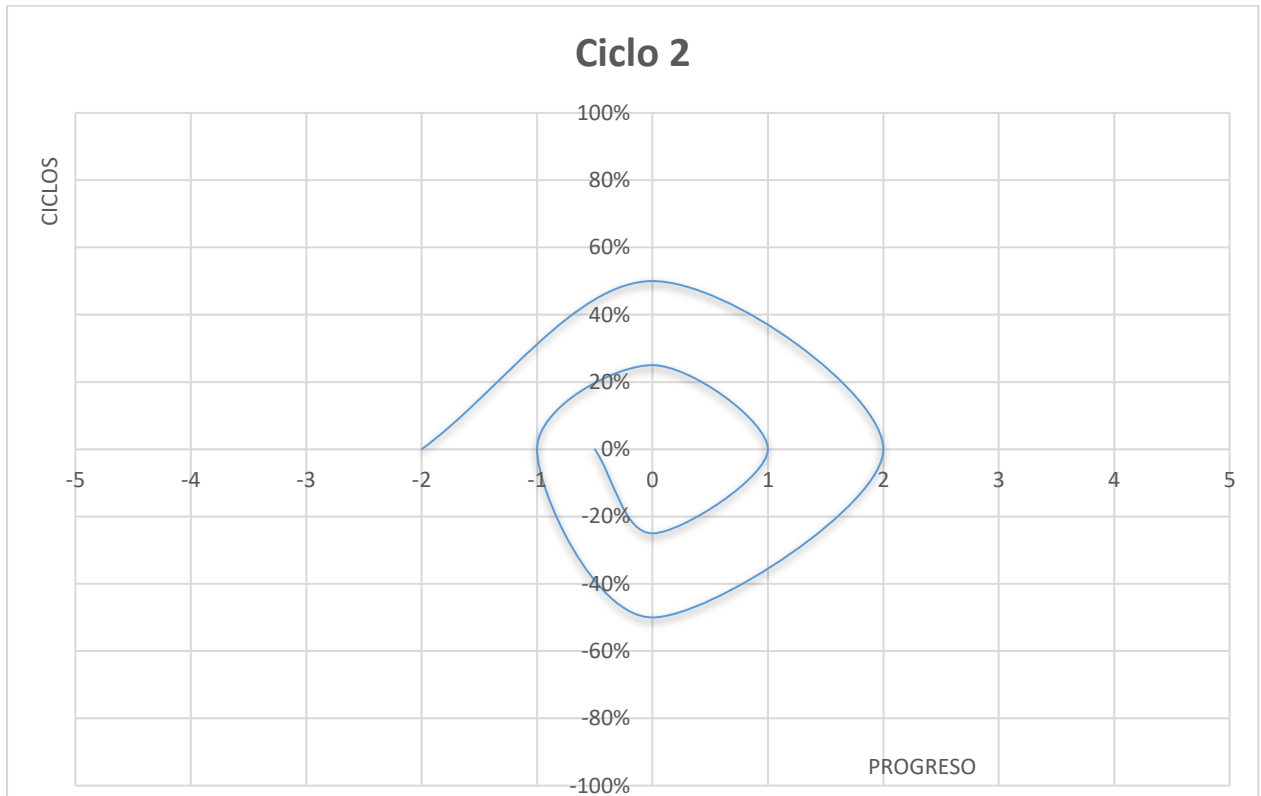


Ilustración 9 – Ciclo 2 Diseño CAD de Chasis para Dron de Vigilancia

Etapa I. Objetivo

El principal objetivo para este segundo ciclo es la elaboración de un chasis o estructura que cuenta con las dimensiones necesarias para albergar los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos con los que el UAV de vigilancia contará.

Etapa II. Análisis de riesgos

Los riesgos presentes en esta etapa incluyen el sobredimensionamiento y sub dimensionamiento de las piezas, lo cual puede causar que al momento de ensamblar dichos componentes no tengan concordancia el uno con el otro. Otro riesgo identificado es la resistencia al aire que esta estructura pueda presentar, causando problemas de vuelo y elevación al momento de la integración de la estructura con sus componentes.

Etapa III. Desarrollar, Verificar y Validar

Se desarrollará el diseño de la estructura para el dron de vigilancia haciendo uso del software SolidWorks para la elaboración de los mecanismos que constituirán dicha estructura.

También se crearán las dimensiones con las que el prototipo contara. Se investigará características de diseños populares y que actualmente están disponibles en el mercado para su implementación y posible mejora al momento del diseño propio de la estructura.

Es importante la verificación minuciosa de cada dimensión de los mecanismos para evitar futuros inconvenientes al momento del ensamblaje. Una vez desarrollados los diferentes componentes que forman parte de nuestra estructura se da paso a el ensamblaje del mismo, verificando así la concordancia de dimensiones entre cada pieza elaborada, igualmente con los componentes que darán vida al dron.

Si la estructura desarrollada durante este ciclo no llega a cumplir los requisitos planteados en los objetivos se tiene que proceder a dar inicio nuevamente a este ciclo, implementando un nuevo diseño hasta que el producto final satisfaga las necesidades presentadas por el problema planteado en el capítulo número dos.

Etapa IV. Planificar Siguiente Etapa

Asumiendo que el prototipo de cumple con las expectativas se procede a la planeación del siguiente ciclo que consiste en verificar la integridad estructural de nuestro chasis sometándolo a pruebas de resistencia de materiales, aplicando fuerzas, presiones y torque. Realizadas estas pruebas se procederá a recopilar información y datos relevantes como el desplazamiento y deformación de la pieza que está siendo sometida a pruebas. Para el siguiente ciclo, a su vez, se contempla comenzar con la configuración y programación del módulo GPS utilizado para el sistema de control de misión autónomo para el funcionamiento del UAV realizando rutas de vigilancia a distancia sin contar con la necesidad de la intervención de un piloto humano.

4.5.3 CICLO 3 PRUEBAS DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y PROGRAMACIÓN GPS

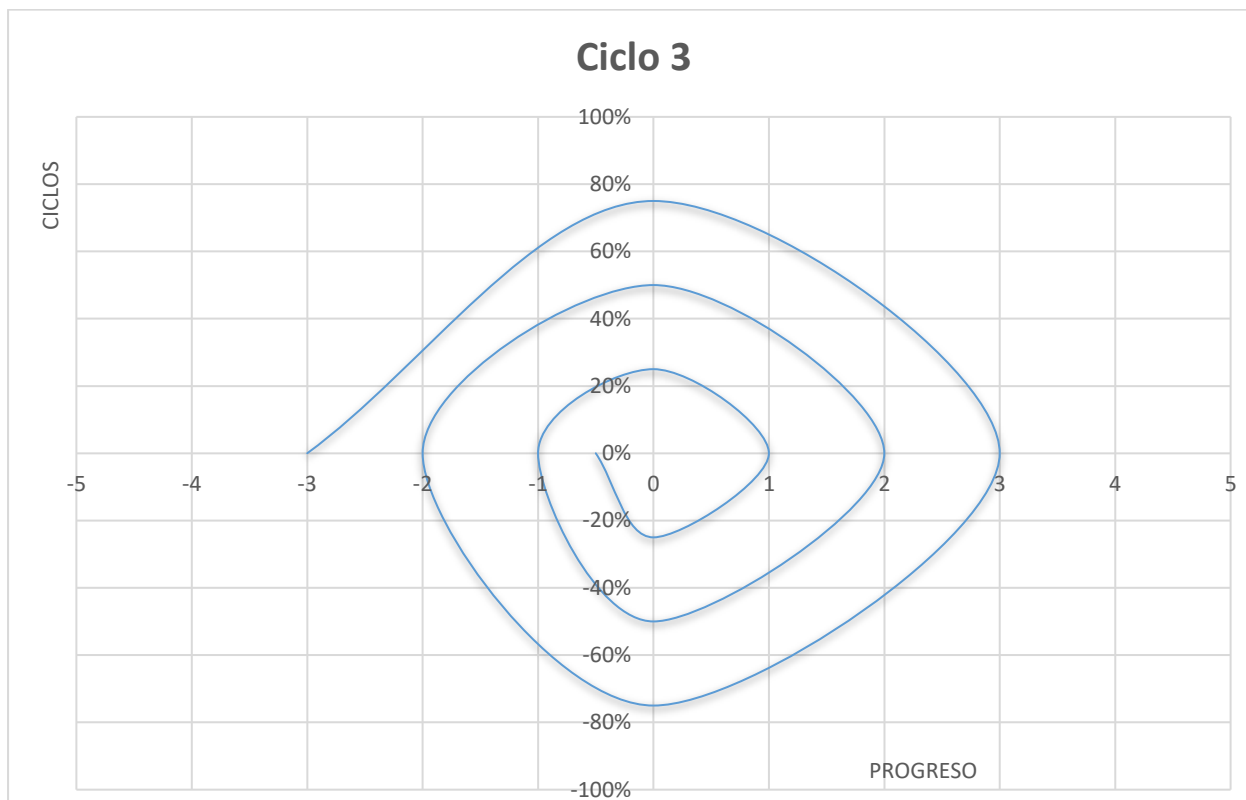


Ilustración 10 – Ciclo 3 Pruebas de Resistencia de Materiales y Programación GPS

Etapa I. Objetivo

Realizadas la estructura del dron de vigilancia, se comenzará a analizar cada componente estructural del chasis. Se recopilarán características específicas como ser deformación y desplazamiento de las mismas. Para ello se hará uso de la herramienta integrada en SolidWorks, SolidWorks Simulation. Se realizarán las mismas pruebas para los diferentes materiales y así recopilar información de cada simulación para llegar a conclusiones que permitan seleccionar el material con las mejores características para esta aplicación. A su vez para este ciclo se comenzará con la programación y pruebas del sistema GPS para el sistema de control de misión autónomo con el que el UAV contará.

Etapa II. Análisis de riesgos

Los riesgos identificados en este ciclo se basan en el error humano. La mayoría de riesgos presentes en esta etapa son por la complejidad que puedan llegar a tener las piezas.

El diseñador tiene que tener la capacidad de visualizar los posibles puntos de fatiga que la pieza llegue a tener, de no ser así se corre el riesgo de omitir análisis en puntos críticos para la estructura. También otro de los riesgos son los errores que pueda presentar el sistema GPS para el control de misión, el cual puede llegar a provocar "fail-safe" en el dron, es decir fallos en vuelo los cuales pueden llegar a deshabilitar por completo el UAV y causar daños considerables.

Etapas III. Desarrollar, Verificar y Validar

Con la ayuda del software CAE SolidWorks Simulation, se realizarán pruebas de esfuerzo mecánico en los puntos críticos de cada pieza diseñada. Será necesario realizar las pruebas con todos los materiales a considerar para la elaboración del UAV, teniendo el cuidado de aplicar las pruebas en los mismos puntos con las mismas magnitudes de fuerza o presión para recabar información confiable de los análisis realizados.

Una vez recopilada la información de las pruebas se procede a comparar más a fondo cada material, tomando en cuenta deformación y desplazamiento para cada pieza, dejando un factor de seguridad mayor en el que cada pieza pueda operar.

Una vez seleccionado el material y validadas las pruebas se procede al ensamblaje de toda la estructura y someterla nuevamente a las pruebas antes realizadas a cada pieza, esta vez como un solo componente para validar así que soporta el peso de toda la estructura.

En la parte del sistema GPS se configura primero el módulo seleccionado para su correcto funcionamiento con la placa controladora de vuelo. Se verifica que todos los sensores estén funcionando como deben y se procede a la creación de rutas predeterminadas para el control de misión autónomo del dron.

Etapas IV. Planificar Siguiente Etapa

En última instancia, se asume que el resultado de las pruebas aplicadas fue satisfactorio y se comienza la planeación del último ciclo siendo este el número cuatro.

Para el siguiente ciclo se someterá la estructura a un análisis aerodinámico con el fin de determinar la resistencia del modelo al aire. A su vez en este último ciclo se validará el prototipo final, verificando que cumple con todos los objetivos planteados en el capítulo dos, así como en cada ciclo de la metodología aplicada en esta investigación.

4.5.4 CICLO 4 PRUEBA DE AERODINÁMICA Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

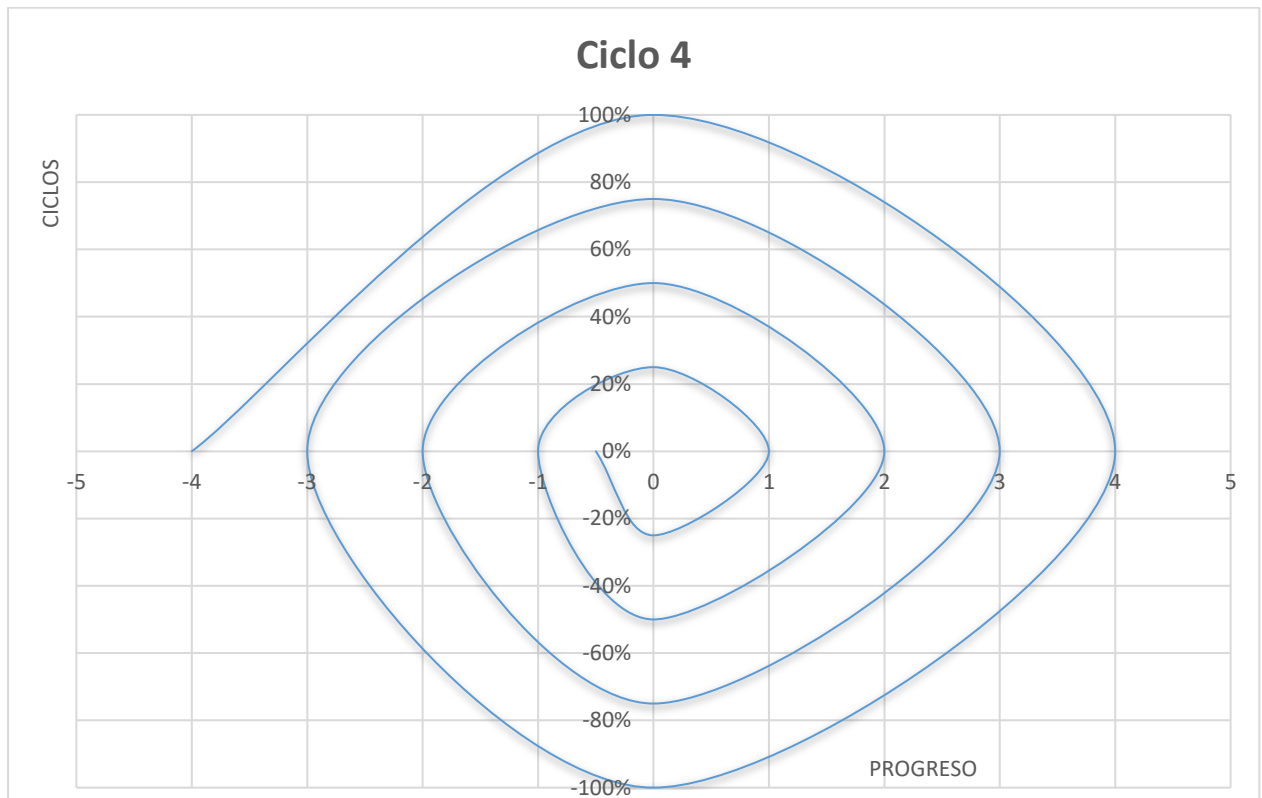


Ilustración 11 – Ciclo 4 Prueba de Aerodinámica y Validación del Prototipo

Etapa I. Objetivo

En el ciclo final, el objetivo primordial es validar el prototipo realizando la última prueba que consiste en someter el modelo en una simulación de túnel de aire gracias el software CAE SolidWorks Simulation. Con esta prueba final se busca determinar la resistencia al aire que el modelo presenta y obteniendo los datos se pueden hacer los cambios que ameriten para optimizar el futuro vuelo del UAV.

Etapa II. Análisis de riesgos

Los riesgos se han ido disminuyendo poco a poco a lo largo de los tres ciclos anteriores. Para la cuarta y última etapa se espera no tener riesgos, pero a su vez con la última prueba el objetivo es encontrar cualquier defecto antes de la validación y corregirlo de la manera que sea más conveniente para poder tener un prototipo final funcional y resistente cumpliendo todos los objetivos de la investigación.

Etapas III. Desarrollar, Verificar y Validar

A lo largo del ciclo número cuatro se busca someter el modelo a una simulación de túnel de viento y así determinar la resistencia que tiene el modelo de frente a una corriente de aire a una velocidad determinada. Para la verificación de la prueba de aerodinámica se analizarán las partículas vistas en la simulación y se determinará la intensidad del choque por parte de la corriente de aire, denotada por el código de colores que ofrece la simulación.

La validación del prototipo consistirá en el análisis de todas las pruebas realizadas y aplicando mejoras estratégicas en el diseño para asegurar el modelo y hacerlo resistente a lo que pueda llegar a ser sometido en el campo.

Etapas IV. Planificar Siguiendo Etapa

Se verifica que los elementos diseñados para un dron de vigilancia para zonas residenciales en San Pedro Sula, cumplen con los requisitos de diseño que se plantearon al principio de la investigación y planteamiento del problema. De encontrar inconvenientes en el transcurso de la investigación se tiene que recurrir a verificar las pruebas realizadas y validar nuevamente el prototipo.

Una vez validado el prototipo se puede continuar con las siguientes fases que se requieren para completar la investigación en curso, haciendo constar las características físicas y mecánicas del prototipo para su uso a posteriori.

4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

La validación parcial de nuestro prototipo se realiza mediante la impresión de un modelo 3D para verificar dimensionamientos del mismo, así como resistencia y peso relativo dependiendo del material con el cual se realice esta estructura.

A su vez se validará mediante simulaciones y pruebas de software CAE utilizando la herramienta SolidWorks Simulation las fuerzas que se ejercen en la estructura, así como la aerodinámica que el mismo pueda tener.

La validación del sistema GPS se hará mediante la programación de un módulo GPS montado a un dron de carrera a modo de prueba y así verificar el correcto funcionamiento de la programación leyendo los parámetros de la placa ya programada y configurada.

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación, se presenta un cronograma de actividades que se realizaron a lo largo de cincuenta días de investigación, divididos en diez semanas contando con cinco días hábiles de trabajo cada una. La fecha de inicio de la investigación, como se puede observar en la ilustración 12, fue el día lunes, 20 de julio del 2020, teniendo como fecha límite y de finalización el día viernes, 25 de septiembre del 2020.

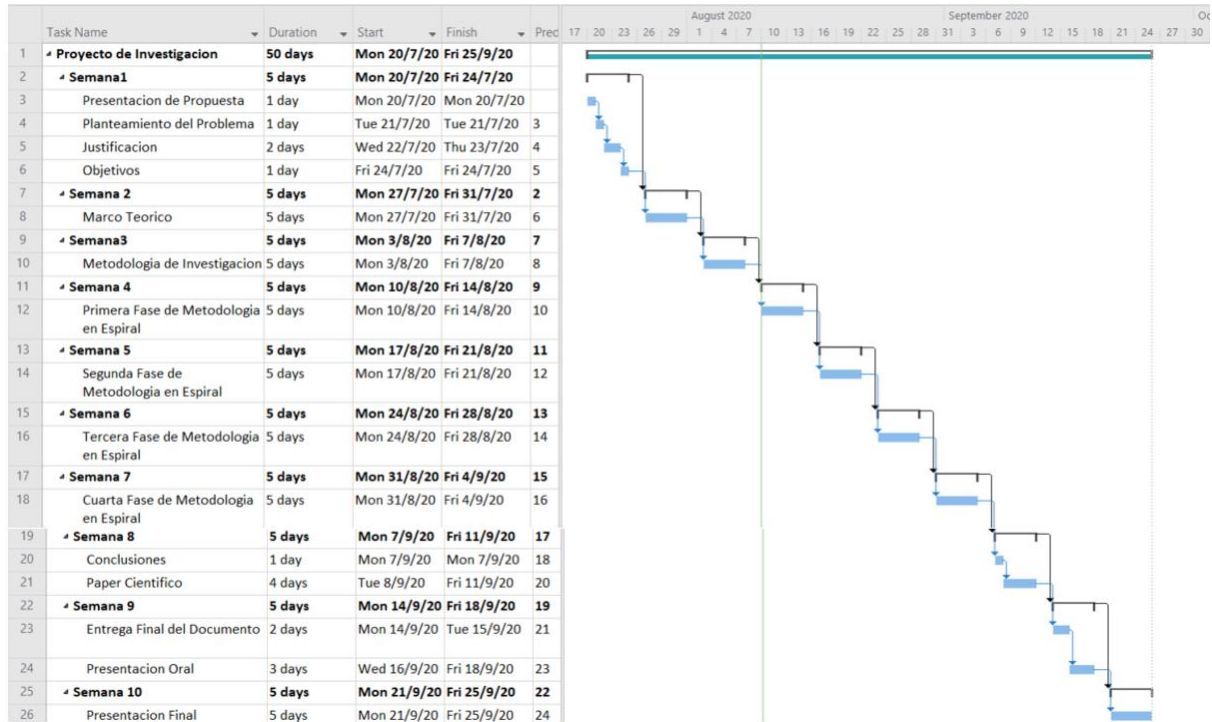


Ilustración 12 – Cronograma de Actividades

CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

El objetivo de este capítulo es dar a conocer a detalle los resultados que se obtuvieron a lo largo del proceso de investigación, aplicando la metodología mencionada en capítulos anteriores. A continuación, se presentarán las diferentes etapas que conforma cada ciclo de la metodología en espiral. Además, se analizará más a fondo las teorías de sustento presentadas en el marco teórico.

Las pruebas y diseño para el prototipo de UAV de vigilancia, serán realizados con ayuda de Software CAD/CAE, para obtener así un óptimo funcionamiento de cada componente analizado gracias a la retroalimentación recibida a lo largo de los 4 ciclos de la metodología en espiral.

5.1 ANÁLISIS DE MARCO TEÓRICO

Los materiales que se consideraron para la manufactura aditiva por medio de método FDM son: ABS, PLA, PETG y TPU. En el ciclo uno se estará analizando más a profundidad las características físico mecánicas de estos materiales. Además de los materiales mencionados, se considera el uso de fibra de carbono que sería trabajada mediante CNC. (Peña et al., 2018)

GPS

Como módulos GPS se puede encontrar de diversas características y con funcionalidades extras uno sobre otro. El módulo que se encontró que cuenta con el balance de características en contra precio fue el módulo RDQ BN-880,

Este GPS cuenta con brújula digital integrada a la vez de contar con formatos más completos y con mayor compatibilidad que otros módulos. Además, el precio no es elevado y cuenta con las mismas características o mejores inclusive, que otros modelos disponibles en el mercado.

Los módulos considerados se presentan a continuación en la tabla número 5 en la cual se comparan precios, así como características relevantes para la aplicación en esta investigación.

Gracias al programa de código abierto INAV se puede configurar el GPS y el control de misión del dron. En este programa se logra definir los puntos de interés que componen la ruta de vigilancia del dron.

Cada punto de interés se puede configurar con determinadas características como la altura a la que estará en ese punto concreto. Esto para evitar cualquier obstáculo del que se tenga conocimiento. Además de la altura, se puede cambiar la velocidad a la que viaja el dron hasta ese punto y desde ese punto.

El controlador de vuelo ejecuta las instrucciones dadas en el orden en que fueron ingresadas. Las instrucciones controlan el comportamiento del hardware, específicamente los motores. Estas instrucciones también crean vallas geográficas que delimitan el área de operación del dron. (Besada et al., 2018)

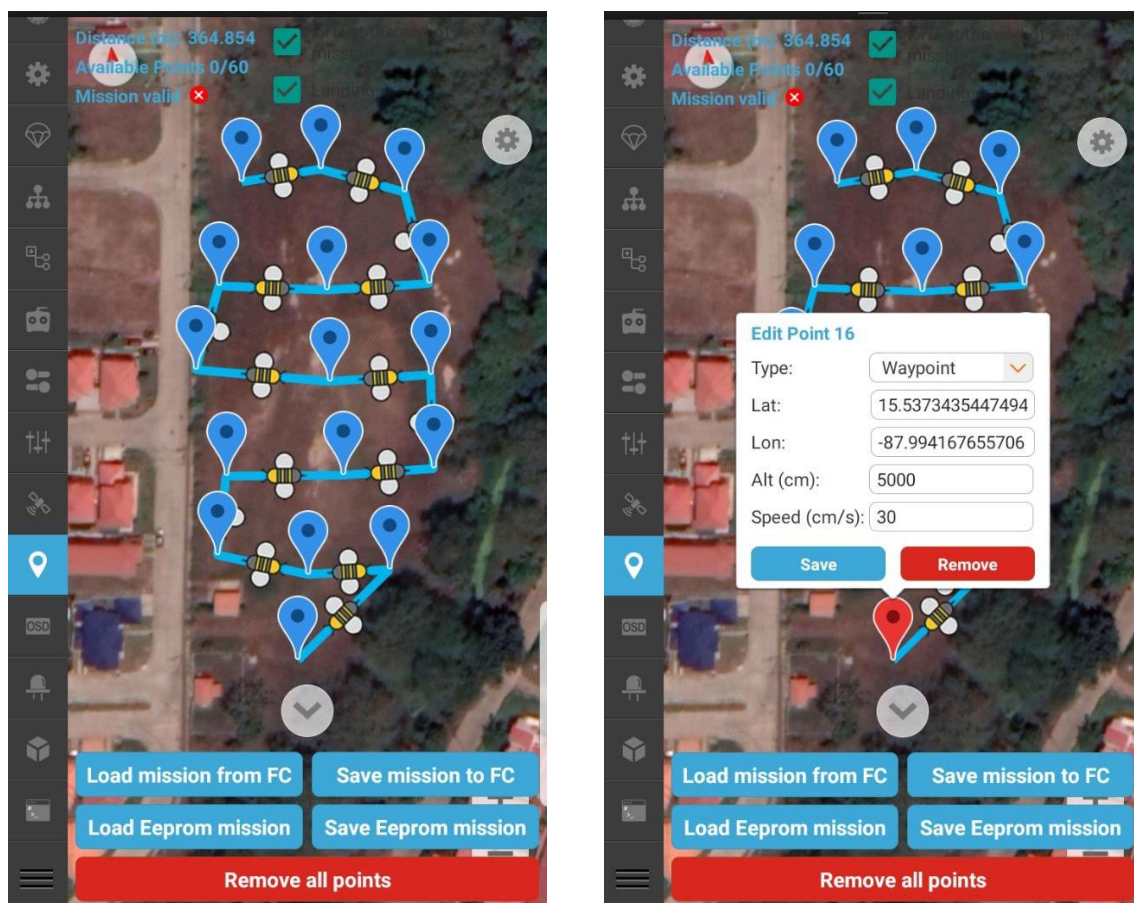


Ilustración 13 – Configuración GPS BN-880 mediante INAV

Tabla 5 – Módulos GPS para UAVs

| Modelo | Voltaje de Entrada(V) | Formato | Inicio Frio / Inicio Caliente (s) | Dimensiones (mm) | Características | Peso (g) | Precio (USD) |
|-------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|------------------------|-----------------|---------------------|
| iFlight M8030-KT | 3.3 o 5 | GLONASS, BEIDOU, GALILEO, SBAS, QZSS | 26 / 1 | 18 x 18.5 x 6 | GPS | 4.59 | 16.99 |
| RDQ BN-880 | 3.3 o 5 | GLONASS, Galileo, BeiDou, QZSS y SBAS | 26 / 3 | 28 x 28 x 10 | GPS y Brújula Digital | 10 | 19.99 |
| Matek SAM - M8Q | 4 a 6 | GLONASS, GALILEO, SBAS, QZSS | 26 / 1 | 26 x 16 x 7.5 | GPS | 7 | 24.99 |
| Matek M8Q-5883 | 4 a 6 | GLONASS, GALILEO, SBAS, QZSS | 26 / 1 | 20 x 20 x 10 | GPS y Brújula Digital | 7 | 29.99 |
| BrainFPV M8 | 5 | GLONASS, GALILEO | 26 / 3 | 31 x 31 x 12 | GPS | 13 | 32.99 |

Cámaras FPV

Las cámaras FPV en el mercado actual cuentan con 2 tipos de sensores, CCD y CMOS. Estas cámaras análogas cuentan con una latencia baja ya que se necesita de un tiempo reducido de transmisión y recepción para tomar decisiones en tiempo real. La resolución de estas cámaras se determina por la cantidad de TVL, también conocidas como línea de televisión vertical distinta, alternadas entre blancos y negros. Por ejemplo 1200 TVL son 600 líneas alternas oscuras y 600 líneas verticales claras.

En la siguiente tabla se encuentra una comparativa de las principales cámaras en el mercado, la que se decidió implementar en esta investigación sería la cámara Caddx Ratel ya que esta cuenta con visión nocturna, perfecta para la aplicación de vigilancia en zonas con baja luminosidad o en caso de que sea de noche.

Tabla 6 – Cámaras FPV para UAVs

| Modelo | TVL | Sensor | Voltaje de Entrada (V) | Relación de Aspecto | Peso (g) | Colores | Precio (USD) |
|----------------------------------|------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------|----------------------|---------------------|
| Caddx Turbo Eos2 | 1200 | 1/3" Caddx CMOS | 3.3 a 6 | 4:3 | 5 | RGB | 15.99 |
| Foxeer Arrow Micro Pro | 600 | 1/3" Sony Super Had II CCD | 5 a 40 | 4:3 | 5.3 | RGB | 19.99 |
| RunCam Phoenix 2 | 1000 | 1/2" RunCam CMOS | 5 a 36 | 4:3 y 16:9 | 9 | RGB | 26.99 |
| Caddx Ratel Starlight HDR | 1200 | 1/1.18" Starlight HDR CMOS | 5 a 40 | 4:3 y 16:9 | 8 | RGB y Blanco y Negro | 36.99 |
| Foxeer Falkor 2 Mini | 1200 | 1/3" Foxeer CMOS | 5 a 40 | 4:3 y 16:9 | 8.7 | RGB | 39.90 |

Controladora de Vuelo y Transmisor de Video

Para la controladora de vuelo, que viene siendo el cerebro de todo nuestro proyecto, se tiene que tomar en cuenta características como los voltajes de entrada y salida que puede tener nuestra placa. A continuación, se presentan las principales controladoras de vuelo consideradas para esta aplicación, recalcando las características que puedan ser de utilidad en nuestro proyecto.

Tabla 7 – Controladora de Vuelo para UAVs

| Modelo | Procesador | Voltaje de Entrada (V) | Voltaje de Salida | Peso (g) | Características | Precio (USD) |
|---------------------------|------------|------------------------|--------------------------|----------|--|--------------|
| Matek F411-Mini SE | F4 | 6 a 36 | 3.3, 5, 9, Ventrada | 5 | 20x20(mm), OSD, FC, I2C, Barómetro, Control de Cámara | 28.99 |
| CLRacing v1.6 | F4 | 5 a 30 | 3.3, 5, 7.2, 9, Ventrada | -- | 30x30(mm), OSD, PDB y FC Ranura para Tarjeta Micro SD | 29.99 |
| JBF4 AIO FC | F4 | 11.1 a 22.2 | 3.3, 5, 9, Ventrada | 7.29 | 30x30(mm), OSD, PDB y FC | 34.99 |
| Flywoo Goku Dual | F7 | 11.1 a 29.6 | 3.3, 5, 9, Ventrada | 5.3 | 20x20(mm), OSD, FC, I2C, Doble Giroscopio, Doble Entrada de Cámara | 38.99 |
| Matek F722-SE | F7 | 6 a 36 | 3.3, 5, 9, Ventrada | 10 | 30x30(mm), OSD, PDB, I2C y FC | 44.99 |

A su vez el transmisor de video tiene que contar con características específicas para esta aplicación, como una potencia de transmisión suficientemente elevada para no perder señal de video ya que esto nos puede perjudicar al momento de aplicar visión computacional en potras fases de esta investigación. El transmisor más apropiado para esta investigación sería el RDQ Mach 3 ya que este cuenta con la mayor potencia de transmisión en comparación a los demás considerados que se observan a continuación en la tabla número 8.

Tabla 8 – Transmisores de Video para UAVs

| Modelo | Voltaje de Entrada (V) | Potencia (mW) | Conexión | Peso (g) | Precio (USD) |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| RDQ Mach 3 | 7.4 a 22.2 | 25 a 1000 | MMCX, SMA, U. FL | 6.5 | 25.99 |
| AKK FX3 Ultimate Mini | 7 a 24 | 25 a 600 | MMCX y U.FL | 5.4 | 18.99 |
| ImmersionRC Tramp | 7.4 a 22.2 | 25 a 600 | U. FL | 4 | 29.99 |
| AKK FX2 | 7 a 24 | 25 a 800 | MMCX | 7.6 | 21.99 |
| Rush FPV Tank Mini | 7 a 36 | 25 a 800 | MMCX | 5.4 | 37.99 |

5.2 RESULTADOS METODOLOGÍA DE ESTUDIO

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de la metodología en espiral constituida en sus 4 ciclos. Cada resultado de cada ciclo está asociado con los objetivos planteados anteriormente para cada uno de los ciclos. El análisis de los resultados obtenidos se presenta en forma de tablas e ilustraciones para una mejor comprensión.

5.2.1 CICLO 1 SELECCIÓN DE MATERIALES Y COMPONENTES

La tabla número 9 presenta los principales materiales tomados a en consideración para la fabricación de la estructura. Para la comparación y selección de los mismos, se tomaron características físicas y mecánicas, así como parámetros de impresión.

Los criterios a comparar son precio de cada bobina de material, todas de un peso de 1kg, densidad, calidad de impresión, entre otros.

Tabla 9 – Materiales Plásticos para FDM

| Características | PLA | ABS | PETG | TPU |
|------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Price | \$24.99 – \$29.99 | \$24.99 – \$29.99 | \$29.99 – \$34.99 | \$29.99 - \$34.99 |
| Temperatura de Fusión | 200°C – 215°C | 220°C – 240°C | 230°C – 250°C | 220°C – 250°C |
| Temperatura de Base | 0°C - 40°C | 90°C - 110°C | 60°C - 90°C | 25°C - 60°C |
| Densidad (g/cm³) | 1.24 | 1.07 | 1.27 | 1.21 |
| Calidad de Impresión | Muy Alta | Media | Alta | Alta |
| Adhesión entre Capas | Media | Baja | Alta | Alta |

El PETG es un material con buena capacidad de impresión, la calidad de medición superior en todos los aspectos lo hace adecuado para aplicaciones que requieren un mayor nivel de cumplimiento de medición.

Se decidió elegir este material debido al equilibrio entre el precio y las características de impresión, como la calidad de impresión y la fuerza de unión entre capas. Haciendo que PETG sea perfecto para la aplicación.

En la tabla 10 se presentan los mejores receptores de radio control en el mercado. Para realizar la tabla comparativa se tomaron en cuenta características esenciales de su funcionamiento como la frecuencia en la que trabajan, protocolo y compatibilidad de marcas.

Tabla 10 –Recibidores de Radio Control

| Modelo | Frecuencia | Voltaje de Entrada (V) | Compatibilidad | Protocolo | Conexión | Peso (g) | Precio (USD) |
|---|------------|------------------------|--|---------------------------------|--------------|----------|--------------|
| R-XSR | 2.4 GHz | 4 a 10 | FRSKY | SBUS y CPPM | IPEX 2.4 GHz | 1.5 | 19.50 |
| XM+ | 2.4 GHz | 3.7 a 10 | FRSKY D16 | SBUS y PWM | IPEX 2.4 GHz | 1.6 | 12.99 |
| R9MM | 900 MHz | 3.5 a 10 | FRSKY serie R9 | SBUS, S. Port y F. Port, ACCESS | IPEX 900 MHz | 0.7 | 23.5 |
| BetaFPV FULLSPEED Micro Receiver | 2.4 GHz | 5 | DSMX y DSM2 | DSMX | IPEX 2.4 GHz | 0.8 | 12.99 |
| Happy Model FLI14+ | 2.4 GHz | 4 a 6.5 | FS-i4, FS-i6, FS-i6X, FS-i6S, FS-i10, FS-iT4S, | AFHDS-2A IBUS SBUS | Integrada | 1.7 | 12.99 |

Como receptor se decidió utilizar el R9MM por su capacidad de utilizarlo a largas distancias gracias a su frecuencia de transmisión y recepción de 900 MHz. Además de su amplia aplicación en diferentes protocolos y capacidad de redundancia en conjunto con otro receptor de iguales características.

En general, la hélice de un VANT es posiblemente el elemento más importante de un multirrotor. A menudo no se presta la misma atención, tiempo y detalle en buscar la hélice indicada para un dron. Lo contrario sucede con los motores, ESC y demás componentes. Pero de la hélice depende la eficiencia que pueda llegar a tener un dron. En la tabla 11 se presentan las mejores hélices de entre 8 y 9 pulgadas.

Tabla 11 – Hélices a Considerar

| Hélice | Numero de Palas o Alabes | Diámetro (pulgada) | Velocidad Angular (RPM) | Velocidad (mph) | Torque (in-lbf) | Empuje (lbf) | Peso (oz) | Precio Unitario (USD) |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------|-------------------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------|-----------------------|
| APC B8x5.3MR-B4 | 2 | 8 | 29,000 | 60.2 | 13.451 | 13.697 | 0.32 | 1.8875 |
| APC B9x4.5MR-B4 | 2 | 9 | 28,000 | 59.1 | 11.883 | 12.816 | 0.39 | 2.0725 |
| APC 8x8 (CW & CCW) | 2 | 8 | 26,000 | 58.9 | 40.723 | 15.027 | 0.53 | 2.57 |
| APC 9X5 Folding Prop | 2 | 9 | 26,000 | 63.5 | 15.476 | 13.718 | 0.35 | 2.80 |
| APC 9x6 (CW & CCW) | 2 | 9 | 22,000 | 62.2 | 15.518 | 13.562 | 0.63 | 2.84 |

Las hélices seleccionadas fueron las APC B8x5.3MR-B4. Se eligieron estas hélices por las características de empuje y torque que proporciona el fabricante. Su peso y precio son otros factores fundamentales para la selección de las mismas y ser aplicadas en este proyecto.

Los motores en los VANT son los encargados de transformar la energía eléctrica en movimiento rotatorio transmitido a las hélices creando el movimiento necesario para la sustentación. Generalmente se utilizan motores sin escobillas debido a su calidad y tiempo de vida.

Los motores sin escobillas están constituidos por imanes permanentes situados en la campana del motor que funciona como rotor y luego en el estator se encuentra el bobinado y el rodamiento. Los motores sin escobillas se conectan a variadores de velocidad el cual se puede invertir una de las líneas trifásicas del motor para lograr una rotación en sentido horario o antihorario.

Tabla 12 – Motores a Considerar para Fabricación de Dron

| Motor | Constante de Revolución (KV) | Rango de Operación de Voltaje (v) | Corriente Continua Máxima por 30s (A) | Peso (g) | Precio (USD) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|--|--|-----------------|---------------------|
| SunnySky X Series X2212 V3 | 980 | 11.1 a 14.8 | 26 | 57 | 20.99 |
| SunnySky X Series X2216 V3 | 880 | 11.1 a 14.8 | 32 | 67.5 | 22.80 |
| SunnySky X Series X2220 V3 | 980 | 11.1 a 14.8 | 38 | 85 | 24.95 |
| T-Motor MT-2216 V2 | 900 | 11.1 a 14.8 | 45 | 75 | 41.24 |
| T-motor MN2212 V2 | 920 | 7.4 a 14.8 | 37 | 65 | 46.9 |

El motor seleccionado fue T-motor MN2212 V2. Se eligió este motor debido a las características combinadas en conjunto con las hélices. La combinación de ambos crea un balance de eficiencia, fuerza y consumo.

El controlador de velocidad conecta el controlador de vuelo y el motor. Como todo motor sin escobillas necesita un controlador, un VANT necesita 4 controladores. El controlador recibe señales del controlador de vuelo y la batería y enciende el motor sin escobillas. En la Tabla número 13 se presentan placas que cuentan con 4 ESC integradas para el uso en una torre en conjunto con la placa controladora de vuelo.

Tabla 13 – Controlador De Velocidad Electrónico ESC

| ESC | Corriente Pico Máxima (A) | Rango de Operación de Voltaje (V) | Protocolo | Peso (g) | Precio (USD) |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--|------------------|--------------|
| HGLRC Forward FD50A | 60 | 7.4 a 22.2 | DShot 150/300/600/1200, Oneshot125, Oneshot42, Multishot | 5.2 | 15.99 |
| iFlight Succex-E Slick RGB | 55 | 7.4 a 22.2 | Dshot600, Proshot, Oneshot, Multishot | 3.7 | 14.99 |
| EMAX Formula Series | 55 | 7.4 a 18.5 | BLHeli_32 DSHOT up to 1200 | 2.6 (sin cables) | 14.99 |
| Airbot Furling32 Mini | 55 | 7.4 a 22.2 | BLHeli_32 DSHOT up to 1200 | 8.5 | 22.9 |
| Spedix LS40 Slim RGB | 50 | 11.1 a 22.2 | Blheli_32, BF4.0+ | 7.5 | 18.95 |

Como ESC se eligió la ESC llamada HGLRC Forward FD50A. Esta cuenta con capacidad para de 50A como corriente nominal. Debido a su precio y protocolos de comunicación es la opción perfecta para combinarla en conjunto con los motores elegidos y la placa controladora de vuelo.

Los ESC (controladores electrónicos de velocidad) que hacen funcionar los motores se toman como inversiones que son baratos en términos de componentes y costos. Son independientes de la marca de motores, lo que significa que deberían funcionar correctamente con cualquier máquina BLDC (motores sin escobillas de corriente directa) conectada al controlador sin una complicada acción de ajuste. (Hołub et al., 2018)

Para todos los componentes seleccionados se tomó en consideración una corriente de 50 amperios ya que la mayoría de motores para un dron de 450 mm utilizan motores de tamaño 2212 los cuales tienen un consumo máximo de 40 amperios.

En la tabla número 14 se presenta un análisis de los principales materiales de fabricación presentado por SIMPLIFY3D, en el cual se presenta propiedades físicas y características de impresión para cada material.

Tabla 14 – Propiedades Físico - Mecánicas de ABS, TPU, PLA, PETG y Fibra de Carbono

| | Abs | Flexible | Pla | Petg | Fibra de carbono rellena |
|--|--|---|---|--|---|
| Fuerza definitiva ? |  40 MPa |  26 - 43 MPa |  65 MPa |  53 MPa |  45 - 48 MPa |
| Rigidez ? |  5 / 10 |  1 / 10 |  7.5 / 10 |  5 / 10 |  10 / 10 |
| Durabilidad ? |  8 / 10 |  9 / 10 |  4 / 10 |  8 / 10 |  3 / 10 |
| Temperatura máxima de servicio ? | 98 °C | 60 - 74 °C | 52 °C | 73 °C | 52 °C |
| Coefficiente de expansión térmica ? | 90 m/m-C | 157 m/m-C | 68 m/m-C | 60 m/m-C | 57,5 m/m-C |
| Densidad ? | 1.04 g/cm ³ | 1.19 - 1.23 g/cm ³ | 1.24 g/cm ³ | 1.23 g/cm ³ | 1.3 g/cm ³ |
| Precio (por kg) ? | \$ 10 - 40 \$ | \$ 30 - 70 \$ | \$ 10 - 40 \$ | \$ 20 - 60 \$ | \$ 30 - 80 \$ |
| Imprimibilidad ? |  8 / 10 |  6 / 10 |  9 / 10 |  9 / 10 |  8 / 10 |
| Temperatura del extrusor ? | 220 - 250 °C | 225 - 245 °C | 190 - 220 °C | 230 - 250 °C | 200 - 230 °C |
| Temperatura de la cama ? | 95 - 110 °C | 45 - 60 °C | 45 - 60 °C | 75 - 90 °C | 45 - 60 °C |
| Cama calentada ? | Obligatorio | Opcional | Opcional | Obligatorio | Opcional |
| Superficies de construcción recomendadas ? | Cinta Kapton, Slurry ABS | PEI, Cinta del Pintor | Cinta del pintor, palillo de pegamento, placa de vidrio, PEI | Glue Stick, cinta del pintor | Cinta del pintor, palillo de pegamento, placa de vidrio, PEI |
| Otros requisitos de hardware ? | Cama calentada, Carcasa recomendada | Ventilador de refrigeración de piezas | Ventilador de refrigeración de piezas | Cama calentada, ventilador de enfriamiento de piezas | Ventilador de refrigeración de piezas |

Fuente: (SIMPLIFY3D, 2020)

5.2.2 CICLO 2 DISEÑO CAD DE CHASIS PARA DRON DE VIGILANCIA

Brazo

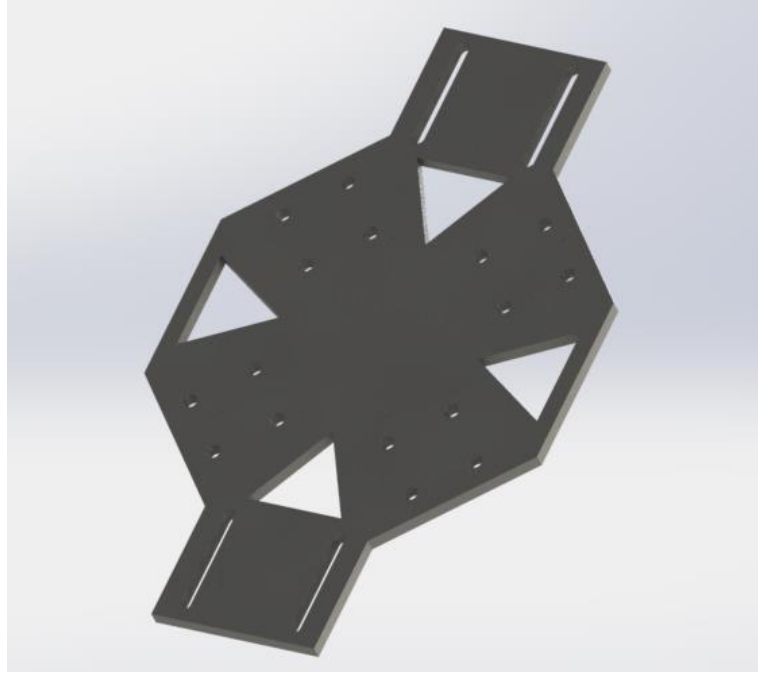
Una de las primeras piezas diseñadas fue el brazo del dron. Este brazo fue diseñado para incluir el tren de aterrizaje sin afectar el equilibrio del dron y dando un toque estético a su diseño. También se tuvo en cuenta la aerodinámica del diseño, la protección contra impactos y la distribución de fuerza que pueda tener. El brazo del dron tiene 213 mm de largo y tiene orificios de montaje de motor sin escobillas 20XX.



Ilustración 14 – Diseño Renderizado de Brazo para Dron

Placa Superior

Como siguiente pieza diseñada, se encuentra la placa superior. Esta placa tiene 4 mm de espesor y 190 mm de largo. La placa superior cuenta con una extrusión en la parte delantera y trasera de 35 mm. Estas extrusiones tienen 2 ranuras de uso múltiple. En este caso, fue diseñado para ser utilizado para montar la cámara en la parte frontal. El GPS y la antena de video se colocarán en la parte posterior.



**Ilustración 15 – Diseño Renderizado de Placa Superior para Dron
Placa Inferior**

La placa inferior es muy similar a la placa superior, pero con un peso de 48 gramos y una longitud de 120 mm. Una de las características de la placa inferior es que posee orificios para la instalación de controlador de vuelo con dimensiones de 20 x 20 mm hasta 30,5 x 30,5 mm.

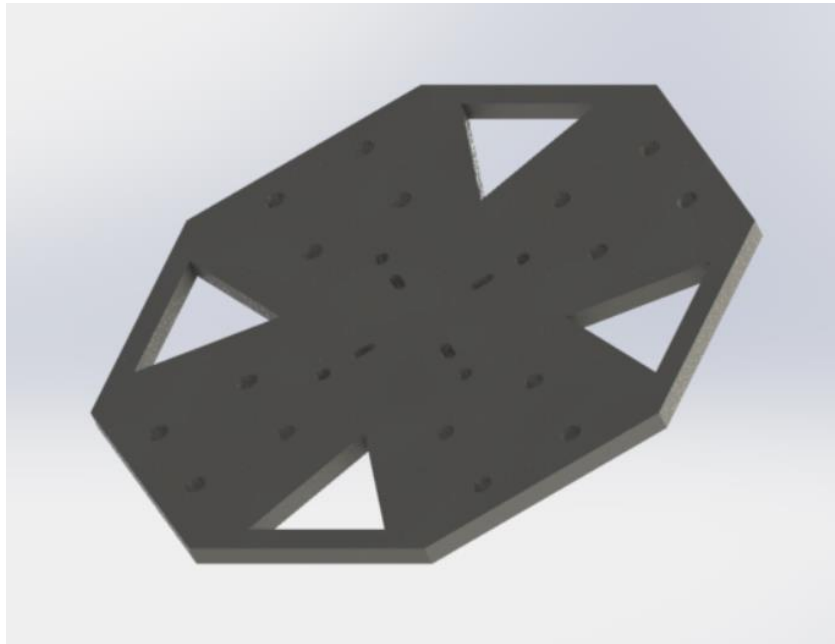


Ilustración 16 – Diseño Renderizado de Placa Inferior para Dron

Ensamblaje

En la ilustración 16 se puede observar el diseño realizado en SolidWorks completamente renderizado. Se añadieron motores, hélices y cámara para demostrar cómo quedaría el ensamblaje real al finalizar el prototipo. Las hélices y motores añadidos son de tamaño real, tomados de librerías abiertas y colaborativas.

5.2.3 CICLO 3 PRUEBAS DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y PROGRAMACIÓN GPS

Gracias a la herramienta incluida en el software CAD SolidWorks, SolidWorks Simulation, se logró realizar prueba de esfuerzo y desplazamiento a todas las piezas diseñadas. Todas las piezas se sometieron a las pruebas bajo las mismas condiciones.

Brazo

La prueba de desplazamiento y deformación de brazo para dron se aplicaron a las partes críticas como ser el área de contacto con el suelo del tren de aterrizaje. La fuerza aplicada fue de 21 lb, Siendo esta 10 veces más del peso de la estructura.

El desplazamiento de esta pieza es mínimo, siendo el resultado de la prueba un desplazamiento de 0.7mm y una deformación mínima.

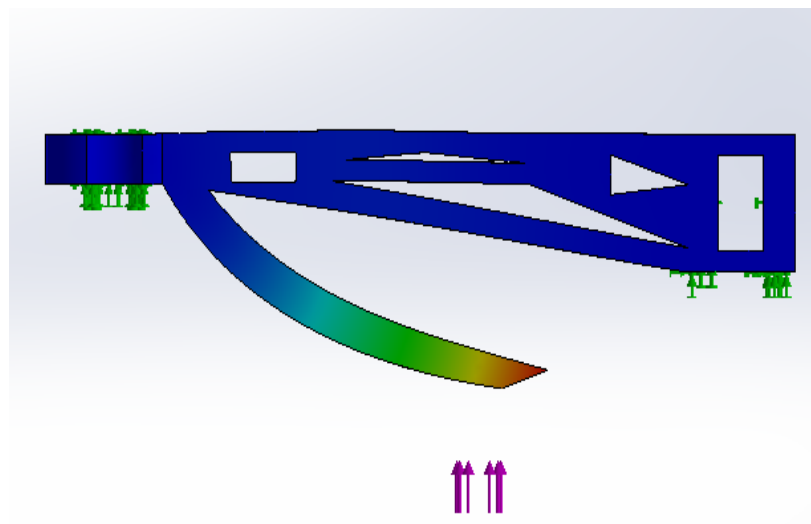


Ilustración 17 – Prueba de Desplazamiento y Deformación de Brazo para Dron

Para la prueba de tensión se aplicó la misma fuerza en el mismo punto y dio como resultado una tensión de 1.57×10^6 N/m². La parte marcada en rojo es la que mayor tensión presenta y es la parte de mayor interés para probar a posterior en esta pieza. En la ilustración 18 se presenta el modelo aplicando la fuerza de 21 lb y se muestra las partes con mayor tensión en la pieza.

El diseño demostró ser adecuado para la aplicación. El comportamiento del mismo es el esperado al flexionarse en vez de quebrarse la parte del tren de aterrizaje. Esto es una ventaja de diseño sobre drones con tren de aterrizaje completamente verticales los cuales pueden quebrarse debido a que no se puede distribuir la fuerza ejercida sobre ellos. Otro caso son los diseños de tren de aterrizaje en ángulo a la parte de afuera de la estructura, donde la parte que suele fallar más es la sujeción de la pieza. El tren de aterrizaje al ser una sola pieza con el brazo permite una mayor distribución de la energía recibida en impactos o incluso en el aterrizaje de toda la estructura con su peso de despegue.

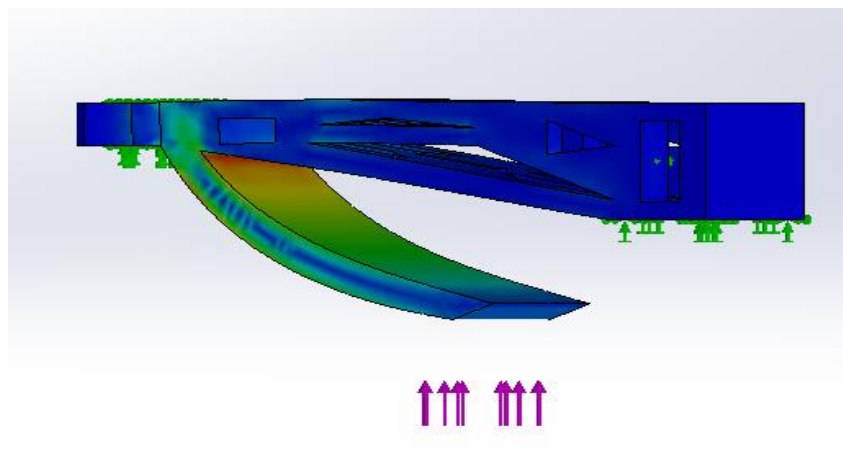


Ilustración 18 – Prueba de Tensión de Brazo para Dron

Placa Superior

Al igual que la pieza del brazo, para la placa superior se aplicaron las pruebas en las mismas características. La fuerza aplicada es de 21 lbf y los resultados fue de un desplazamiento de 0.0011 mm siendo esto en las partes más delgadas y sin soporte de parte de los brazos. La parte con mayor desplazamiento no afecta en el rendimiento de la pieza, ya que la parte que conecta los brazos cuenta con mayor resistencia.

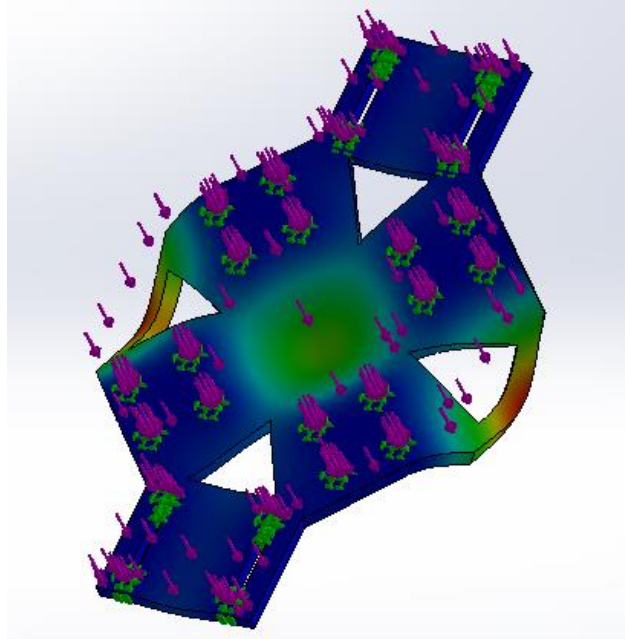


Ilustración 19 – Prueba de Desplazamiento y Deformación de Placa Superior para Dron

La ilustración 20 muestra la prueba de tensión realizada a la placa superior. Esta prueba arroja resultados en los cuales se pueden observar que a lo largo de toda la pieza no se presentan mayor tensión. El valor presentado es despreciable y se puede concluir que la pieza resistirá en sus puntos de sujeción como ser los brazos y cámara.

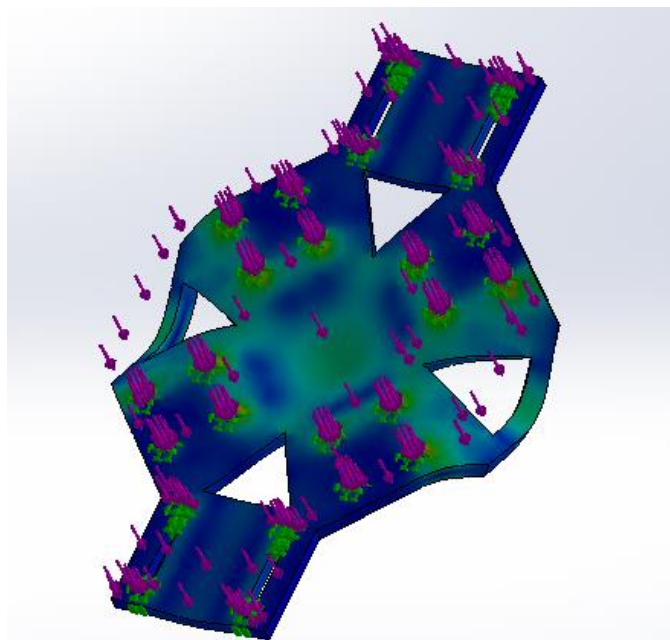


Ilustración 20 – Prueba de Tensión de Placa Superior para Dron

Placa Inferior

La placa inferior al igual que todas las demás piezas se aplicó una fuerza de 21 lbf en las mismas condiciones y en los mismos puntos de la placa superior. Esta pieza al ser similar en diseño a la placa superior, presenta resultados similares.

La deformación y desplazamiento de esta pieza es de 0.0015 mm y al igual que la placa superior la mayor deformación es en la parte donde no hay soporte por parte de los brazos. Esta deformación y leve desplazamiento no afecta la integridad y funcionamiento de la pieza ya que la parte de sujeción de los brazos se encuentra intacta.

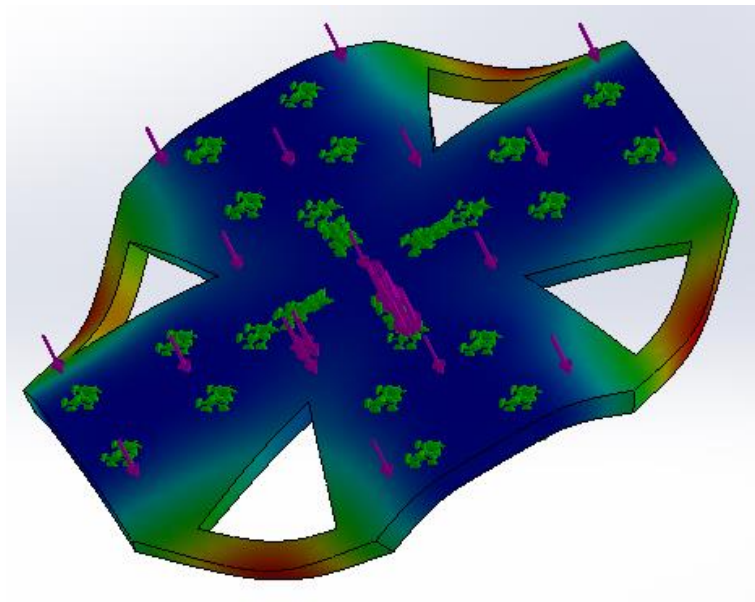


Ilustración 21 – Prueba de Desplazamiento y Deformación de Placa Inferior para Dron

La tensión que la placa inferior presenta es despreciable debido a los puntos de anclaje definidos como ser los agujeros en los que los brazos del dron en conjunto con la placa superior soportan. Esto permite una mejor distribución de carga y sufre de menor tensión en toda la superficie de la pieza. Los resultados de la prueba de tensión para la placa inferior presento una tensión máxima en su superficie de 0.0005081 N/m².

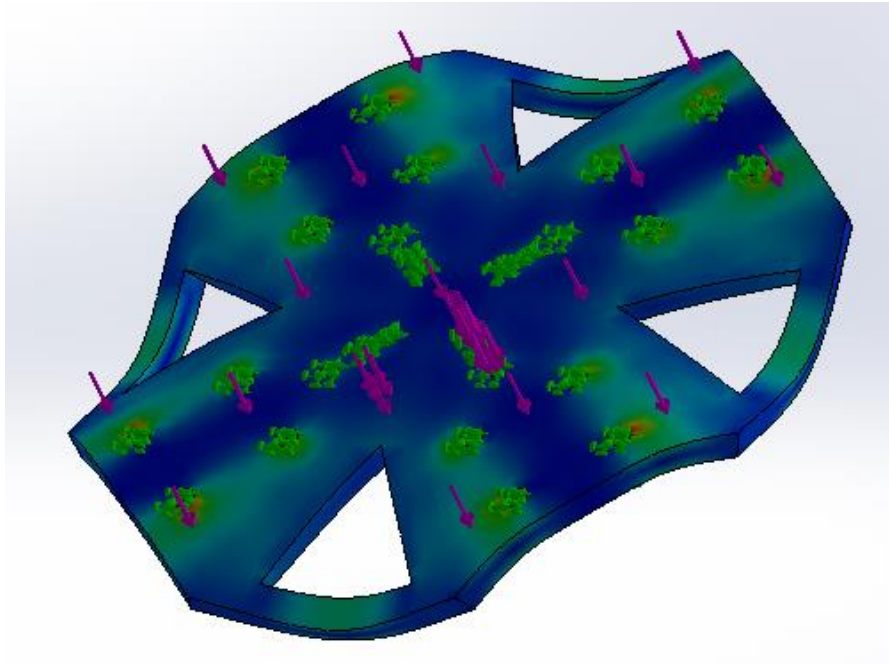


Ilustración 22 – Prueba de Tensión de Placa Inferior para Dron

5.2.4 CICLO 4 PRUEBA DE AERODINÁMICA Y VALIDACIÓN DEL PROTOTIPO

En el ciclo 4 el modelo se sometido a pruebas de aerodinámica con ayuda de la herramienta SolidWorks Flow Simulation. El fluido analizado alrededor de la estructura es aire, aplicando una gravedad de 9.81 m/s^2 . La temperatura del aire es de $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a una presión de 1 atm .

Usar software CFD no es algo nuevo, se han venido mejorando las simulaciones de túnel de viento en mayor parte por la industria automotriz y aeroespacial. Es una herramienta adicional de mucha utilidad en ingeniería. En la ilustración número 23 se presenta la trayectoria de particular de aire. Estas se ven afectadas por las hélices en movimiento del dron. Las hélices giran a $20,000 \text{ rpm}$ y estas causan vórtices debajo del dron lo cual rompe la barrera aerodinámica y así logra sustentación. La velocidad alcanzada por las partículas de aire alrededor del modelo es de 8 m/s lo que equivale a 17.9 mph .

La mayoría de los drones comerciales pueden volar con vientos de entre 10 y 30 mph . La velocidad máxima del dron determina hasta qué velocidad del viento se puede volar. Una regla general dice que el viento puede alcanzar hasta dos tercios de la velocidad máxima del dron. (Kuss,2020)

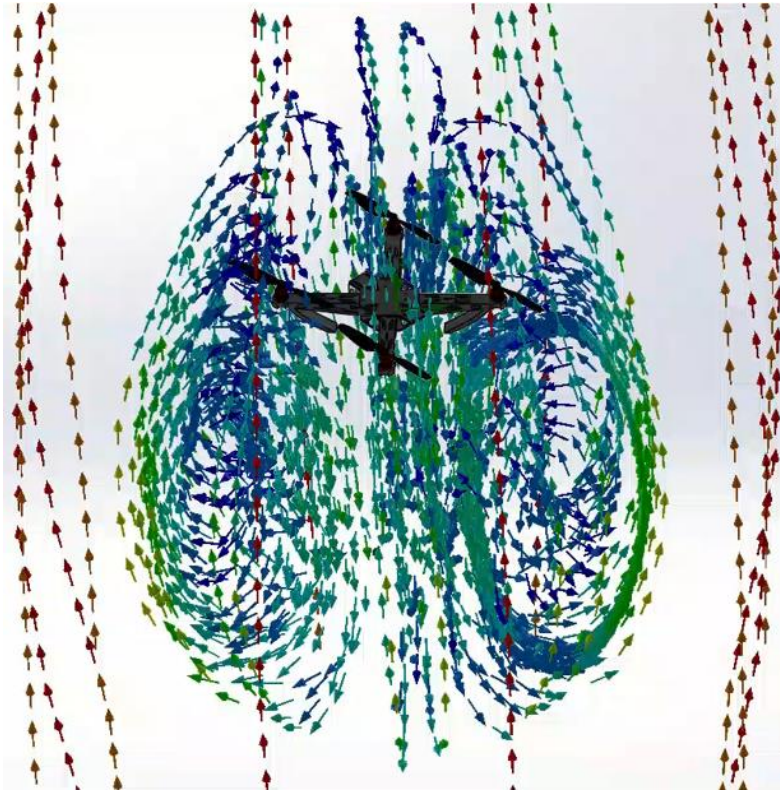


Ilustración 23 – Trayectoria de Partículas de Aire Alrededor de Modelo De Dron

En la prueba realizada de presión de aire se logra ver la presión ejercida en la parte inferior del área de prueba, siendo esta simulación del choque de aire con la superficie de despegue del dron. En la ilustración 24 se puede ver con una escala de colores la presión ejercida por la trayectoria de las partículas que se vieron en la ilustración anterior, se puede notar que la mayor presión es ejercida en la parte inferior de la simulación, esto es a causa del choque de la columna de aire con el suelo del área de simulación, este choque genera sustentación debajo del dron y una presión de 18 pascales.

El mismo principio se aplica a una aeronave, ya sea que se mantenga en el aire mediante un ala fija o un ala giratoria, generalmente conocida como rotor. Una combinación de alta presión debajo del ala o rotor, y baja presión arriba, es lo que mantiene a la aeronave en el aire. (Walsby, 2019)

La presión generada gracias a las rotaciones de las hélices que rotan a 20,000 rpm es de los resultados más importantes para esta investigación. La importancia del resultado radica en que mediante presión diferencia de presión vertical del dron se logra la sustentación. Es importante notar la relación con la trayectoria de partículas de aire y la presión ejercida.

Como precaución se puede agregar que, si una de las hélices no está orientada correctamente, el desequilibrio de presión alrededor del dron puede causar pérdida de sustentación absoluta o turbulencia en vuelo.



Ilustración 24 – Presión Generada por Aire Alrededor del Modelo Diseñado para Dron

En la prueba realizada de flujo de aire se logró determinar la cantidad de vórtices generados por las hélices en rotación y la concentración de los mismos alrededor del modelo de prueba. En la ilustración 25 se puede observar la simulación de flujo de aire y creación de vórtices alrededor del modelo. La prueba realizada arrojó como resultados que se crean de 4 a 5 vórtices por segundo alrededor del modelo, siendo los vórtices más grandes en la parte más alejada del modelo. Esto es positivo ya que entre más grande el vórtice mayor turbulencia y menor estabilidad tendría el dron.

Los vórtices a su vez tienen relación con las 2 pruebas anteriores. La trayectoria de las partículas de aire define la mayor área de presión alrededor del modelo, pero también dependerá de la trayectoria de estas partículas la creación de vórtices alrededor del modelo. Como se mencionaba anteriormente, la creación de vórtices grandes cerca del VANT pueden causar turbulencia. Esto es debido a que las hélices vuelven a agarrar partículas de aire con mayor velocidad.

Cuando la hélice gira, el aire comprimido pasa a través del intervalo de las palas giratorias y forma un campo de vórtice. Este campo influirá en las condiciones de vuelo de las siguientes aeronaves, 26 especialmente en el vuelo en formación cerrada. La velocidad inducida por el vórtice que afecta al UAV es más como un acto de momento en el UAV. (Wang et al., 2019)



Ilustración 25 – Flujo de Aire y Creación de Vórtices alrededor del Modelo



Ilustración 26 – Ensamble Renderizado de Prototipo de Dron

Una vez comprobadas las dimensiones y aprobado el diseño según los criterios planteados en cada ciclo, se procedió a realizar una prueba física de los brazos.

La prueba consistía en aplicar el peso planteado en la prueba de deformación y desplazamiento, siendo esta de 21 lbf.



Ilustración 27 – Prueba Física de los Brazos del Prototipo de Dron

Al realizar la prueba física, los resultados fueron positivos. El diseño soporto las 21 lb de peso sin presentar deformaciones notables como se puede observar en la ilustración 28. La forma curva del diseño permite flexión suficiente para soportar el peso y distribuirlo de mejor manera sin llegarse a fracturar la pieza.

Al incrementar el peso la base del brazo hace contacto con la parte inferior del tren de aterrizaje permitiendo mayor contacto y distribución de peso.



Ilustración 28 – Resultado sin Deformaciones de Prueba Física

Impresión

La ilustración número 29 representa de mejor manera el ensamblaje realizado de las piezas impresas en 3D del material PETG. Se utilizaron 36 tornillos para el ensamblaje y la estructura tiene un peso final de 800 gramos.

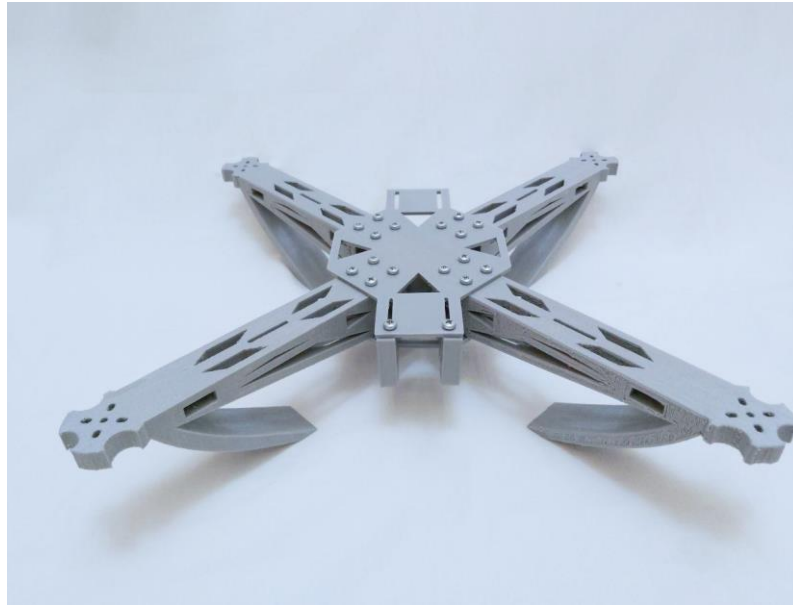


Ilustración 29 – Ensamblaje de Piezas Impresas en 3D Utilizando PETG

El tamaño de los drones es definido midiendo del centro de cada motor de manera diagonal. La distancia entre ejes para el prototipo diseñado es de 441.91 mm estando este chasis por debajo de la categoría de 450mm pero con capacidad y compatibilidad de componentes de esta categoría.

5.3 COSTOS

A continuación, se presenta la tabla 15 que es el resumen de costos para elaboración de un dron. En esta tabla se presenta el modelo, cantidad necesaria para la fabricación, precio por unidad de cada ítem y el total estimado. Cabe destacar que estos precios son sin contar impuestos ni envíos fuera de EEUU ya que los proveedores de dichas piezas se encuentran en este país.

Hay muchos productos que se venden como drones en el mercado, pero no se ajustan a los requisitos. Estos incluyen estabilización de GPS, función de retorno y otros modos de vuelo automático que convierten al dron en un dron. (Fisher,2020)

Tabla 15 – Resumen de Costos para Elaboración de Dron

| Ítem | Modelo | Cantidad | Precio por Unidad (\$) | Subtotal (\$) |
|---|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------|
| Placa Controladora de Vuelo | Matek F411-Mini SE | 1 | 28.99 | 28.99 |
| Controlador de Velocidad Electrónico (ESC) | HGLRC Forward FD50A | 4 | 15.99 | 63.96 |
| Transmisor de Video | RDQ Mach 3 | 1 | 25.99 | 25.99 |
| GPS | RDQ BN-880 | 1 | 19.99 | 19.99 |
| Receptor de Radio Control | FRSKY R9MM | 1 | 23.50 | 23.50 |
| Motor | T-motor MN2212 V2 | 4 | 46.90 | 187.6 |
| Hélices | APC B8x5.3MR-B4 | 4 | 2.57 | 10.28 |
| Batería | LiPo 3S 2300mah | 3 | 26.91 | 80.73 |
| Cargador | iSDT T6 | 1 | 79.99 | 79.99 |
| Cámara | FPV Caddx Ratel Starlight HDR | 1 | 36.99 | 36.99 |
| Antena para Transmisor de Video | Foxeer Lollipop V3 | 1 | 19.99 | 19.99 |
| Material para Estructura | Overture PETG Filament | 1 | 24.99 | 24.99 |
| Total | | | | 603 |

Para comprobar que los componentes seleccionados son compatibles y eficientes entre sí, se utilizó la calculadora de multicopteros de eCalc llamada xcopterCalc. En la ilustración 30 se puede observar los valores de entrada ingresados en la calculadora para posteriormente ver características eléctricas de y físicas del multirotor.



xcopterCalc - Calculador de Multicópteros

| | | | | | | | | |
|-----------------------|---|---------------------------------------|--|--|---|--------------------------------------|--|-------------------------|
| General | Peso del modelo: 1000 g con Motorización 35.3 oz | Nº de rotores: 4 simple | Tamaño del armazon: 435.91 mm 17.16 inch | Límite de inclinación de la FCU: sin límite | Altura del campo: 500 m ASL 1640 ft ASL | Temp. aire: 25 °C 77 °F | Presión (QNH): 1013 hPa 29.91 inHg | |
| Celdas batería | Tipo (Cont. / max. C) - nivel de carga: LiPo 2700mAh - 6S/100C - llena | Configuración: 4 S 1 P | Capacidad por celda: 2700 mAh 2700 mAh total | descarga max.: 85% | Resistencia: 0.0043 Ohm | Voltaje: 3.7 V | capacidad C de descarga: 65 C continua 100 C de pico | Peso: 76 g 2.7 oz |
| Variador | Tipo: max 50A | Corriente: 50 A cont. 50 A max. | Resistencia: 0.005 Ohm | Peso: 65 g 2.3 oz | Accesorios | Consumo de corriente: 0.05 A | Peso: 10 g 0.4 oz | |
| Motor | Fabricante - Tipo (Kv) - refrigeración: T-Motor - MN2212-V2.0-920 (920) buena | KV (w/o torque): 920 rpm/V | Corriente sin hélice: 0.5 A @ 10 V | Límite (hasta 15s): 220 W | Resistencia: 0.142 Ohm | Longitud caja: 13 mm 0.51 inch | nº Polos mag.: 12 | Peso: 54 g 1.9 oz |
| Hélice | Tipo de hélice: APC MultiRotor MR - 0° | Diámetro: 8 inch 203.2 mm | Paso: 5.28 inch 134.1 mm | número de palas: 2 | Const. de Potencia/Empuje: 1.09 / 1.0 | Gear Ratio: 1 : 1 | Calcular | |

Ilustración 30 – Valores de Entrada para Calcular Propiedades del Dron

Fuente: (Müller, 2020)

Con los valores de entrada los cálculos de eficiencia y características eléctricas se puede ver reflejado en la ilustración 31. Se puede concluir que teóricamente el modelo diseñado y fabricado con los componentes seleccionados anteriormente tendrá un tiempo de vuelo aproximado de 15 minutos y puede tener un peso máximo de 1552 gramos, la relación de empuje-peso es de 2.9:1 y tiene una eficiencia del 84.4%.

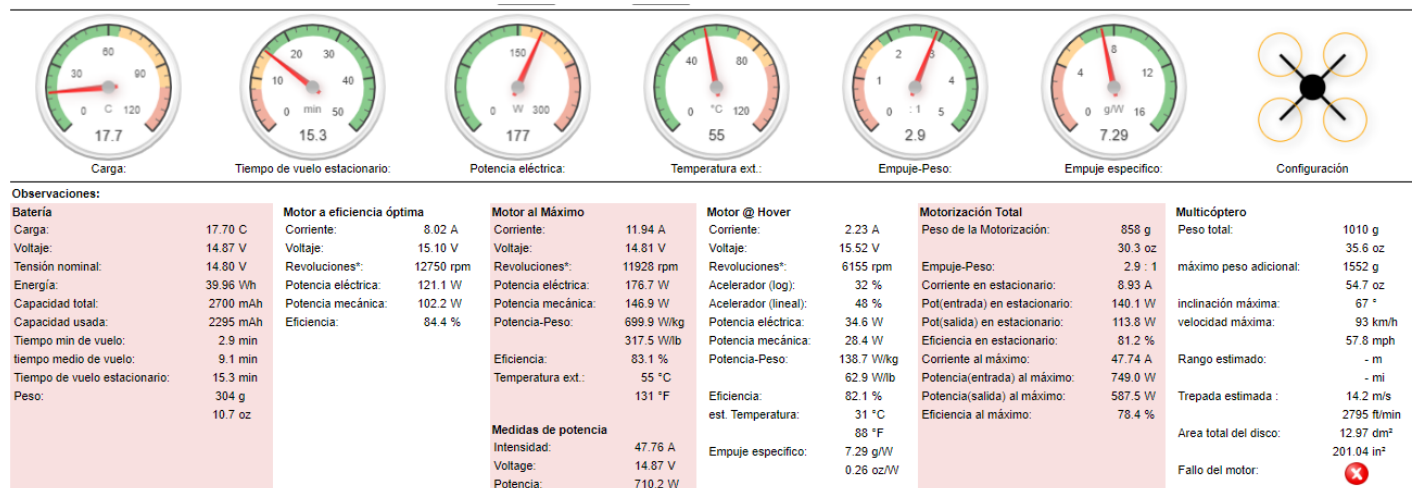


Ilustración 31 – Propiedades Físicas, Eléctricas y Mecánicas del Dron

Fuente: (Müller, 2020)

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

La fabricación por manufactura aditiva, como se pudo observar a lo largo de esta investigación, es un proceso que facilita la creación de prototipos de bajo costo. También se pudo concluir que los sistemas de vigilancia tradicionales no brindan una seguridad completa debido a sus deficiencias como se menciona a lo largo de la investigación. Vale la pena mencionar que los drones en el pasado eran vistos como algo malo como armas y herramientas para el espionaje. En la actualidad se perciben mejor como herramientas que facilitan el trabajo humano y eliminan el riesgo que siempre está presente en el trabajo pesado. Como principales conclusiones según los análisis y resultados obtenidos se tienen las siguientes:

1. Se logró desarrollar, con la ayuda del software de diseño CAD SolidWorks, un diseño de chasis capaz de soportar 21 lbf en sus principales piezas de soporte teniendo como resultado desplazamientos máximo en el tren de aterrizaje de 0.7 mm sin deformación considerable.
2. Se seleccionó el material PETG para la fabricación del chasis del modelo diseñado por su alta densidad de 1.27 g/cm³. Este material a su vez proporciona rigidez y resistencia a la estructura que tiene un peso final de 810 g.
3. Se realizaron pruebas aerodinámicas para validar el diseño del chasis para dron teniendo como resultado una presión ejercida por las partículas de aire alrededor del modelo de 18 Pa. Siendo la mayor intensidad debajo de la estructura lo cual permitirá romper la barrera aerodinámica y así lograr sustentación.
4. Se compararon las características y precios de los mejores componentes disponibles en el mercado. Se seleccionaron los componentes de mayor calidad para implementar en el control y manejo para un dron teniendo un presupuesto final para su fabricación de \$603.

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda investigar alternativas de los componentes seleccionados para este proyecto para poder reducir costos sin afectar la calidad del producto final.
- Se recomienda investigar una alternativa a las cámaras FPV seleccionadas para este proyecto por la baja resolución que estas presentan y para lograr una mayor calidad de imagen lo cual facilitara las tareas de vigilancia.
- Se recomienda el estudio y consideración de diferentes características de impresión de cada pieza como ser el relleno, velocidad, temperatura y distancia entre cada capa.

BIBLIOGRAFÍA

- Adão, T., Hruška, J., Pádua, L., Bessa, J., Peres, E., Morais, R., & Sousa, J. J. (2017). Hyperspectral Imaging: A Review on UAV-Based Sensors, Data Processing and Applications for Agriculture and Forestry. *Remote Sensing*, 9(11), 1110.
- AED. (2019). Los drones en vigilancia, ¿qué pueden aportar? *Aerocámaras Especialistas en Drones*. <https://cursodedrones.es/los-drones-en-vigilancia-que-pueden-aportar/>
- Arreola, L., Oca, A. M. de, Flores, A., Sanchez, J., & Flores, G. (2018). Improvement in the UAV position estimation with low-cost GPS, INS and vision-based system: Application to a quadrotor UAV. *2018 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 1248-1254.
- Azarov, A. V., Antonov, F. K., Golubev, M. V., Khaziev, A. R., & Ushanov, S. A. (2019). Composite 3D printing for the small size unmanned aerial vehicle structure. *Composites Part B: Engineering*, 169, 157-163. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.03.073>
- Baquero, A. (2019). 10 momentos clave en la historia de los drones. *La Vanguardia*. <https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20180705/47311066203/10-momentos-clave-en-la-historia-de-los-drones.html#:~:text=Estos%20veh%C3%ADculos%20a%C3%A9reos%20no%20tripulados,la%20tecnolog%C3%ADa%20civil%20y%20militar.&text=El%2>
- Besada, J. (s. f.). *Drone Mission Definition and Implementation for Automated Infrastructure Inspection Using Airborne Sensors*.
- Byun, J., Hur, G., Lee, K., & Suk, J. (2016). A Study on UAV Flight Control System HILS Test Environment. *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, 44(4), 316-323.
- Cerezo, A. (2013). CCTV and crime displacement: A quasi-experimental evaluation. *European Journal of Criminology*, 10(2), 222-236.

- Chang, K. H. (2019). *Motion Simulation and Mechanism Design with SOLIDWORKS Motion 2019*. SCD Publications.
- Chen, Z., & Jia, H. (2020). Design of Flight Control System for a Novel Tilt-Rotor UAV. *Complexity*, 2020, 4757381. <https://doi.org/10.1155/2020/4757381>
- Crommelinck, S., Bennett, R., Gerke, M., Nex, F., Tang, M. Y., & Vosselman, G. (2016). Review of Automatic Feature Extraction from High-Resolution Optical Sensor Data for UAV-Based Cadastral Mapping. *Remote Sensing*, 8(8), 689.
- Daakir, M., Pierrot-Deseilligny, M., Bosser, P., Pichard, F., Thom, C., Rabot, Y., & Martin, O. (2017). Lightweight UAV with on-board photogrammetry and single-frequency GPS positioning for metrology applications. *Geospatial Week 2015*, 127, 115-126. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.12.007>
- Depcik, C., Cassady, T., Collicott, B., Burugupally, S. P., Li, X., Alam, S. S., Arandia, J. R., & Hobeck, J. (2020). Comparison of lithium ion Batteries, hydrogen fueled combustion Engines, and a hydrogen fuel cell in powering a small Unmanned Aerial Vehicle. *Energy Conversion and Management*, 207, 112514. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112514>
- Donateo, T., Ficarella, A., Spedicato, L., Arista, A., & Ferraro, M. (2017). A new approach to calculating endurance in electric flight and comparing fuel cells and batteries. *Applied Energy*, 187, 807-819. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.100>
- Drones para vigilancia y seguridad. Canales Sectoriales Interempresas: Seguridad y Vigilancia.* (s. f.).
- Elfaham, M. M., Mastafa, A. M., & Nasr, G. M. (2020). Unmanned aerial vehicle (UAV) manufacturing materials: Synthesis, spectroscopic characterization and dynamic mechanical analysis (DMA). *Journal of Molecular Structure*, 1201, 127211.

- Esen, Z. I., Sahin, M., & Külünk, Z. (2016). Motor Selection in Mechatronic Systems Using 2k DoE Method. *IFAC-PapersOnLine*, 49(9), 25-28.
- Falcone, M., Hahn, J., & Burger, T. (2017). Galileo. In: *Teunissen P.J., Montenbruck O. (eds) Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer Handbooks. Springer, Cham, 247-272.*
- Ferro, C., Grassi, R., Seclí, C., & Maggiore, P. (2016). Additive Manufacturing Offers New Opportunities in UAV Research. *Procedia CIRP*, 41, 1004-1010.
- Galatas, A., Hassanin, H., Zweiri, Y., & Seneviratne, L. (2018). Additive Manufactured Sandwich Composite/ABS Parts for Unmanned Aerial Vehicle Applications. *Polymers*, 10, 1262.
- García, D. (2019). Drones para vigilancia y seguridad. *Canales Sectoriales Interempresas: Seguridad y Vigilancia*. <https://www.interempresas.net/Seguridad/Articulos/234091-Drones-para-vigilancia-y-seguridad.html>
- García, L. (2019, junio). A sus 483 años de fundación, San Pedro Sula rumbo a una Smart City. *La Prensa*. <https://www.laprensa.hn/sanpedro/1297001-410/san-pedro-sula-honduras-smart-city-aniversario-feria-juniana-desarrollo>
- George, V. (2018). *Social Security and Society*. Routledge Library Editions: Welfare and the State.
- Goh, G. D., Agarwala, S., Goh, G. L., Dikshit, V., Sing, S. L., & Yeong, W. Y. (2017). Additive manufacturing in unmanned aerial vehicles (UAVs): Challenges and potential. *Aerospace Science and Technology*, 63, 140-151. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2016.12.019>
- González Díaz, M. (2018, mayo 30). Honduras: ¿cómo se vive realmente en San Pedro Sula desde que no es la ciudad más violenta del mundo? *BBC News Mundo*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-44093818>

- Hassanalain, M., & Abdelkefi. (2017). Classifications, applications, and design challenges of drones: A review. *Progress in Aerospace Sciences*, 91, 99-131.
- Hedge, N. T., George, V. I., Nayak, C. G., & Kumar, K. (2019). Design, dynamic modelling and control of tilt-rotor UAVs: A review. *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, 8(3), 143-161.
- Hegarty, C. J. (2017). The Global Positioning System (GPS). In: *Teunissen P.J., Montenbruck O. (eds) Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer Handbooks. Springer, Cham*, 197-218.
- Henkel, P., Mittmann, U., & Iafrancesco, M. (2016). Real-time kinematic positioning with GPS and GLONASS. *2016 24th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*, 1063-1067.
- Hołub, M., & Przeniosł0, Ł. (2018). Efficient electronic speed controller algorithm for multicopter flying vehicles. *2018 Innovative Materials and Technologies in Electrical Engineering (i-MITEL)*. <https://doi.org/10.1109/IMITEL.2018.8370482>
- Hunt, D. (2017, octubre). World War 1 History: The Kettering Bug—World's First Drone. *Owlcation*. <https://owlcation.com/humanities/World-War-1-History-The-Kettering-Bug-Worlds-First-Flying-Bomb>
- Kim, D., Youn, J., & Kim, C. (2017). Automatic Fault Recognition of Photovoltaic Modules Based on Statistical Analysis of Uav Thermography. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42W6, 179-182. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W6-179-2017>
- Klein, C. (2018, septiembre). 10 Things You May Not Know About the Wright Brothers. *History*. <https://www.history.com/news/10-things-you-may-not-know-about-the-wright-brothers>

- Konstantinos, D. (2014). Classification of UAVs. In: Valavanis K., Vachtsevanos G. (eds) *Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Springer, Dordrecht, 83-91.
- Krawczyk, J. M., Mazur, A. M., Tomasz, S., & Stokłosa, A. W. (2014). Fuel cells as alternative power for unmanned aircraft systems—Current situation and development trends. *Transactions of the Institute of Aviation*, 4(4), 49-62.
- Kuss, M. (2020, marzo). *Can a drone fly in strong winds?* <https://tipsfordrones.com/can-a-drone-fly-in-strong-winds/>
- Kyosung Jeong, Youngkyoung Ham, & Kyungil Lee. (2016). Dual-Spiral methodology for knowledgebase constructions. *2016 International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*, 477-480.
- Kyratsis, P., Kakoulis, K., & Markopoulos, A. P. (2020). Advances in CAD/CAM/CAE Technologies. *Machines*, 8(1), 13.
- Lafuente, J. (2017, noviembre). La violencia, el estigma eterno de San Pedro Sula. *El País*. https://elpais.com/internacional/2017/11/21/actualidad/1511268972_955366.html
- Lee, H., & Lee, J. (2018). Hybrid Multi-DOF Motor for Multi-Copter Unmanned Aerial Vehicle. *TENCON 2018 - 2018 IEEE Region 10 Conference*, 1086-1090.
- MANUFACTURA ADITIVA FDM*. (s. f.).
- Moschetta, J.-M., & Namuduri, K. (2017). Introduction to UAV Systems. En K. Namuduri, S. Chaumette, J. H. Kim, & J. P. G. E. Sterbenz (Eds.), *UAV Networks and Communications* (pp. 1–25). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316335765.002>
- Müller, M. (2020, septiembre 17). *xCopterCalc—Calculador de Multicópteros*. eCalc. <https://www.ecalc.ch/xcoptercalc.php>
- Ning, Z., Wlezien, R., & Hu, H. (2017). An Experimental Study on Small UAV Propellers with Serrated Trailing Edges. *47th AIAA Fluid Dynamics Conference*, 3813.

- Palik, M., & Nagy, M. (2019). Brief History of UAV Development. *Repulestudományi Közlemények*, 13(1), 155-165.
- Patel, K. D., Jayaraman, Dr., Satheesh, C., & Kumar Maurya, S. (2017). Selection of BLDC Motor and Propeller for Autonomous Amphibious Unmanned Aerial Vehicle. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(4), 3345-3350.
- Patel, Y., Gauran, A., Srinivas, K., & Singh, Y. (2017). A Review on Design and Analysis of the propeller used in UAV. *International Journal of Advance Production and Industrial Engineering (IJAPIE)*, 20-23.
- Pineda, N. (2020). Tribunal de San Pedro Sula suspende 15 juicios al mes por falta de testigos. *El Heraldito*. <https://www.elheraldo.hn/pais/737745-214/tribunal-de-san-pedro-sula-suspende-15-juicios-al-mes-por-falta>
- Revnivikh, S., Bolkunov, A., Serdyukov, A., & Montenbruck, O. (2017). GLONASS. In: *Teunissen P.J., Montenbruck O. (eds) Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems. Springer Handbooks. Springer, Cham*, 219-245.
- Rodday, N. M., Schmidt, R. d O., & Pras, A. (2016). Exploring security vulnerabilities of unmanned aerial vehicles. *NOMS 2016 - 2016 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium*, 993-994.
- Saha, A., Kumar, A., & Sahu, A. K. (2017). FPV drone with GPS used for surveillance in remote areas. *2017 Third International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN)*, 62-67.
- Saharudin, M. F. (2016). Development of tilt-rotor unmanned aerial vehicle (UAV): Material selection and structural analysis on wing design. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 152, 012017.
- San Pedro Sula rumbo a una Smart City*. (s. f.).

- SEPOL. (2020). *Boletín especial sobre homicidios en Honduras, 2019* (Edición especial No. 83). Universidad Autónoma Nacional, Observatorio Nacional de la Violencia (ONV), Ministerio Público, y Registro Nacional de las Personas.
- SIMPLIFY3D. (2020, Abril). *Propiedades de Filamentos*. SIMPLIFY3D Guia de Materiales. <https://www.simplify3d.com/support/materials-guide/properties-table/?filas=abs,flexible,pla,petg,carbon-fiber-filled>
- Singhal, G., Bansod, B., & Mathew, L. (2018). Unmanned Aerial Vehicle Classification, Applications and Challenges: A Review. *Preprints*.
- Skydio. (2020). *Skydio X2™: Built for business. Ready for duty*. <https://www.skydio.com/pages/skydio-x2>
- Takagi, D., Amemiya, M., & Shimada, T. (2020). What do security cameras provide for society? The influence of cameras in public spaces in Japan on perceived neighborhood cohesion and trust. *Journal of Experimental Criminology*.
- Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A Review on UAV-Based Applications for Precision Agriculture. *Information*, 10(11), 349.
- Vachtsevanos, G. J., & Valavanis, K. P. (2014). Military and Civilian Unmanned Aircraft. In: *Valavanis K., Vachtsevanos G. (eds) Handbook of Unmanned Aerial Vehicles*. Springer, Dordrecht, 93-103.
- Verma, G. (2018). *Autodesk Fusion 360 Black Book* (1st ed.). BPB Publication.
- Walsby, M. (2019, junio 23). *Do drones fly because of low pressure above them or high pressure below them?* Stackexchange Physics. <https://physics.stackexchange.com/questions/487592/do-drones-fly-because-of-low-pressure-above-them-or-high-pressure-below-them/493113>
- Wang, B. H., Wang, D. B., & Ali, Z. A. (2019). *An overview of various kinds of wind effects on unmanned aerial vehicle*. <https://doi.org/10.1177/0020294019847688>

- Xu, J., Zeng, Y., & Zhang, R. (2018). UAV-Enabled Wireless Power Transfer: Trajectory Design and Energy Optimization. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 17(8), 5092-5106.
- Zhang, H., Wang, C., Turvey, S. T., Sun, Z., Tan, Z., Yang, Q., Long, W., Wu, X., & Yang, D. (2020). Thermal infrared imaging from drones can detect individuals and nocturnal behavior of the world's rarest primate. *Global Ecology and Conservation*, 23, e01101. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01101>
- Zhong, L., Yuqing, H., Liying, Y., & Jianda, H. (2017). Control techniques of tilt rotor unmanned aerial vehicle systems: A review. *Chinese Journal of Aeronautics*, 30(1), 135-148.