



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES**

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA  
MENCION MOTORES**

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HÉLICE DE UN  
DRONE / UAV MEDIANTE EL USO DE MATERIALES  
COMPUESTOS, APLICANDO SOFTWARE CAD-CAE PARA LA  
CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA DE LA UNIDAD DE  
GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS - ESPE”**

**AUTOR: SÁNCHEZ ZAPATA HÉCTOR ESTEBAN**

**DIRECTOR: TLGO. CRISTIAN EDWAR DÍAZ**

**LATACUNGA**

**2018**



## CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HÉLICE DE UN DRONE / UAV MEDIANTE EL USO DE MATERIALES COMPUESTOS, APLICANDO SOFTWARE CAD-CAE PARA DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS - ESPE**” realizado por el señor **SÁNCHEZ ZAPATA HÉCTOR ESTEBAN**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor **SÁNCHEZ ZAPATA HÉCTOR ESTEBAN** para que lo sustente públicamente.

**Latacunga, Septiembre del 2018**

---

**Tlgo. Cristian Edwar Díaz**

**DIRECTOR**



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

### CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **SÁNCHEZ ZAPATA HÉCTOR ESTEBAN** con cédula de identidad N° 050372660-6 declaro que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HÉLICE DE UN DRONE / UAV MEDIANTE EL USO DE MATERIALES COMPUESTOS, APLICANDO SOFTWARE CAD-CAE PARA DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS - ESPE**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, Septiembre del 2018**

---

SÁNCHEZ ZAPATA HÉCTOR ESTEBAN

C.I.: 172292248-9



## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES

### CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN MOTORES

#### AUTORIZACIÓN

Yo, **SÁNCHEZ ZAPATA HÉCTOR ESTEBAN** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HÉLICE DE UN DRONE / UAV MEDIANTE EL USO DE MATERIALES COMPUESTOS, APLICANDO SOFTWARE CAD-CAE PARA DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS - ESPE**” cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

**Latacunga, Septiembre del 2018**

---

**SÁNCHEZ ZAPATA HÉCTOR ESTEBAN**

C.I.: 172292248-9

## DEDICATORIA

“Si tu oído inclinas hacia la sabiduría y de corazón te entregas a la inteligencia; si llamas a la inteligencia y pides discernimiento; si la buscas como a la plata, como a un tesoro escondido, entonces comprenderás el temor del Señor y hallarás el conocimiento de Dios. Porque el Señor da la sabiduría; conocimiento y ciencia brotan de sus labios.”

**Proverbios 2:1-6**

Dedico en primer lugar a Dios, por darme fortaleza, sabiduría e iluminar mi mente para escoger con firmeza mi carrera y permitirme llegar hasta este punto y próximamente convertirme en Mecánico de Aviación un camino que seguiré con la frente en alto. El amor, paciencia y dedicación recibida con el que cada momento mi abuela paterna, mis padres, familiares y amigos se preocuparon por mí durante el transcurso de mi carrera y el desarrollo de tesis es un sentimiento inexplicable y se ve reflejado en todo este periodo de estudio.

Mis padres Vinicio y Mery quienes han sido los pilares fundamentales al confiar y creer ciegamente en mis decisiones futuras gracias a ellos he llegado a este momento, a María del Carmen mi abuela quien me instruyo que el mejor conocimiento que se puede llegar a adquirir es por sí mismo, a mi hermana Samantha por cada día inculcarme que todo lo grande se logra con un paso a la vez y a toda mi familia que con oraciones, bromas, consejo me hicieron mejor ser humano, acompañándome siempre a seguir y cumplir mis sueños.

Por último y no menos importantes dedico a todas las personas que lograron compartir esta pasión conmigo grandes amigos como Francis, Isaac, Bryan, Carlita, Fredy quienes me apoyaron y me extendieron la mano y fueron parte de mi familia gracias por abrirme sus puertas cuando las necesite y cuando no de igual manera a mis docentes y amigos Alejandro y Esteban, quienes con sus valioso conocimientos lograron que pueda crecer día a día como profesional gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, soporte incondicional, aprecio y amistad.

**SÁNCHEZ ZAPATA ESTEBAN**

## **AGRADECIMIENTO**

Me faltaran páginas para agradecer a cada una de las personas que se mantuvo cerca de mí durante el desarrollo de mi carrera y el presente trabajo de titulación, sin embargo merecen un reconocimiento especial Dios porque todo el momento cuido de mí en cada día que viajaba y en cada momento.

Agradecer a mis padres que estuvieron siempre involucrados en el transcurso de mi vida universitaria proporcionándome el apoyo suficiente para culminar este sueño que tenía en esta prestigiosa universidad, mi abuela paterna por no dejarme decaer cuando todo se nublababa y parecía imposible y complicado.

A mi hermana y mi familia que con cada palabra y conversación que teníamos me hacían sentir orgulloso de lo que soy y lo que podía enseñarles y espero algún momento ser reciproco con ustedes y brindarles la misma fuerza y apoyo para seguir en su camino.

A mis profesores, mis amigos y futuros colegas que me brindaron su ayuda desinteresadamente quedan cortas las palabras para agradecerles por su buena voluntad y apoyo; así mismo y tutor de tesis por guiarme no solo en este trabajo de titulación sino en mi carrera universitaria por corregirme y haberme brindado la amistad y el apoyo para formarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

**SÁNCHEZ ZAPATA HÉCTOR ESTEBAN**

## CONTENIDO

<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....</b>	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN.....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>vi</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>14</b>
<b>EL TEMA .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Antecedentes.....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 Planteamiento del problema.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Justificación e Importancia .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.1 Objetivo General.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.5 Alcance.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>18</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Materiales Compuestos .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2 Categorización de Materiales Compuestos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1 Materiales Compuestos reforzados con partículas.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2 Materiales Compuestos reforzados por fibras .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.3 Materiales compuestos estructurales .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3 Materiales Compuestos más usados en Aviación .....</b>	<b>22</b>
<b>2.4 Aleaciones .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.1 Aleaciones Ferreras .....</b>	<b>23</b>
<b>2.4.2 Aleaciones Ligeras.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4.3 Plásticos con refuerzos de Fibra .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5 Vehículos aéreos no tripulados .....</b>	<b>27</b>
<b>2.5.1 Historia de los Vehículos Aéreos no Tripulados.....</b>	<b>29</b>

<b>2.6 Principio de Sustentacion de Vehiculos Aereos. ....</b>	<b>31</b>
2.6.1 Ala fija.....	31
2.6.2 Ala rotatoria: .....	32
<b>2.7 Aeronaves tipo multirotor.....</b>	<b>33</b>
2.7.1 Fuerzas que actuan en un vehiculo aereo no tripulado.....	34
2.7.2 Ejes de un vehículo aéreo no tripulado.....	37
<b>2.8. Diseño y Animación .....</b>	<b>39</b>
2.8.1 Gráficos en 3D.....	39
2.8.2 MODELADO DE LA FIGURA.....	40
2.8.3 Requerimientos de diseño.....	41
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>45</b>
<b>DESARROLLO DEL TEMA.....</b>	<b>45</b>
3.1. Preliminares.....	45
3.2 Adquisición de Herramientas.....	45
3.2.1 Tijeras micro-serradas y asistidas, especiales para Kevlar y Carbono	46
3.2.2. Cúter circular OLFA 60 mm. ....	47
3.2.3 Buzo blanco de protección - Talla L (2) - XL.....	48
3.2.4 Conjunto de 4 Espátulas Metálicas.....	50
3.2.5 Cuña de Plástico Rígido .....	51
3.2.6 Depresores de madera desechables .....	52
3.2.7 Varilla Mezcladora .....	52
3.2.8 Tubo de Poliuretano Flexible .....	53
3.2.9 Toma de infusión.....	54
3.2.10 Conjunto de Enchufe Rápido .....	56
3.2.11 Vaso de Plástico para Mezclas con Tapa.....	57
3.2.12 Guantes negros .....	58
3.2.13 Bomba de Vacío .....	59
3.2.14 Mini tolos kit set .....	59
3.3 Diseño y Construcción .....	60
3.4 Costos .....	60
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>61</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
4.1 Conclusiones.....	61
4.2 Recomendaciones.....	61

<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Materiales Compuestos .....	19
<b>Figura 2</b> Material utilizado en el Boeing 787 .....	19
<b>Figura 3</b> A380 Materiales compuestos .....	21
<b>Figura 4</b> Panal de abeja en el A380.....	22
<b>Figura 5</b> Pernos y tornillos de acero .....	23
<b>Figura 6</b> Juego De Hélice De Fibra De Vidrio.....	25
<b>Figura 7</b> Tejido de Fibra de Carbono .....	26
<b>Figura 8</b> Tejido Kevlar.....	27
<b>Figura 9</b> V-1 (del alemán Vergeltungswaffe 1). Bomba volante.....	30
<b>Figura 10</b> QH-50 Gyrodyne .....	30
<b>Figura 11</b> Perfil aerodinámico de un ala de vehículo aéreo. ....	31
<b>Figura 12</b> Sustentación de un helicóptero .....	32
<b>Figura 13</b> Modelo dinámico para el desarrollo de un cuadricóptero .....	34
<b>Figura 14</b> Sustentación.....	34
<b>Figura 15</b> Comportamiento de los motores de un UAV .....	36
<b>Figura 16</b> Alabeo y cabeceo .....	38
<b>Figura 17</b> Explicación alabeo / cabeceo. ....	38
<b>Figura 18</b> Explicación guiñada.....	39
<b>Figura 19</b> Imagen en 3D .....	40
<b>Figura 20</b> Modelado 3D .....	41
<b>Figura 21</b> Tijeras para kevlar y carbono .....	47
<b>Figura 22</b> Cúter circular OLFA 60 mm .....	48
<b>Figura 23</b> Buzo blanco de protección .....	49
<b>Figura 24</b> Conjunto de 4 Espátulas Metálicas .....	51
<b>Figura 25</b> Cuña de Plástico Rígido para desmoldeo (10 cm). ....	51
<b>Figura 26</b> Cuña de Plástico Rígido para desmoldeo (25 cm) .....	51
<b>Figura 27</b> Depresores de madera desechables .....	52
<b>Figura 28</b> Varilla Mezcladora .....	53
<b>Figura 29</b> Tubo de Poliuretano Flexible, Ø 8 x 6 mm.....	54
<b>Figura 30</b> Toma de infusión de 12 Diadrain.....	55
<b>Figura 31</b> Toma de infusión para Spiralnet.....	55

<b>Figura 32</b> Conjunto de Enchufe Rápido con Válvula Anti-Retorno .....	56
<b>Figura 33</b> Conjunto de Enchufe Rápido para conexión de vacío .....	57
<b>Figura 34</b> Guantes negros .....	58
<b>Figura 35</b> Bomba de Vacío .....	59

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación nace de la necesidad de crear componentes para Drones, los cuales anteriormente se los adquirían y reparaba en otros sitios generando gastos adicionales y una deficiencia en la creación de los mismos. Por tal motivo, se implementa en la Unidad de Gestión de Tecnologías – ESPE un centro de mantenimiento y fabricación de materiales compuestos el cual servirá como material didáctico para futuros profesionales del campo aeronáutico y a través de esto se puedan innovar compuestos de acuerdo a las exigencias del docente o fabricante.

Las herramientas implementadas para dicho centro se las ha probado, mediante la realización de una hélice, la cual fue diseñada en Fusión 360. Este es un programa que desarrolla la figura y juntamente las cargas estructurales a las que pueden ser expuestas. Cabe recalcar que se elaboró el listado de artefactos que se utilizarán, así como su aplicación, características y una breve explicación sobre los cuidados que se deberá tener al momento de su empleo sobre diferentes superficies.

El centro de materiales compuestos contará con una variedad de herramientas para desempeñar diversas funciones, tales como: una bomba de vacío, espátulas, cuñas, tijeras, conjuntos de enchufe rápido, mangueras, y trajes protectores las mismas que están diseñadas específicamente para el manejo de materiales compuestos.

### PALABRAS CLAVE:

- HÉLICE
- BOMBA DE VACÍO
- TIJERAS
- MANGUERAS
- HERRAMIENTAS

## ABSTRACT

The present titling document arises from the need to create components for Drones which used to be acquired and repaired in other places in the past, generating additional expenses and a deficiency in the design of them. For this reason a maintenance and manufacturing center for composite materials is implemented in the Unidad de Gestión de Tecnologías – ESPE, which will be used as a didactic material for future professionals in the aeronautical field and through this we can innovate compounds according to the needs and instructions of the teacher or manufacturer.

The tools implemented for that center have been tested by making a propeller, which was designed in Fusion 360. This is a program that develops the figure and combines structural loads which can be exposed. It is necessary to emphasize that a list of tools which will be used was created as well as their application, characteristics and a brief explanation of how to take care of them when using over different surfaces.

The composite materials center will have a variety of tools in order to develop different functions, as: vacuum pump, spatulas, wedges, scissors, quick-plug assemblies, hoses, and protective suits which are specifically designed for handling composites.

### KEYWORDS:

- PROPELLER
- VACUUM PUMP
- SCISSORS
- HOSES
- TOOLS

---

**Checked by: Lic Yolanda Santos  
DOCENTE UGT**

## **CAPÍTULO I**

### **EL TEMA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA HÉLICE DE UN DRONE / UAV MEDIANTE EL USO DE MATERIALES COMPUESTOS, APLICANDO SOFTWARE CAD-CAE PARA DE LA CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS - ESPE).**

#### **1.1. Antecedentes**

El desarrollo de vehículos aéreos no tripulados se inició inmediatamente después de la Primera Guerra Mundial. El primero fue el "Aerial Target" que data de 1916 (Blanco o diana aérea) controlado mediante radiofrecuencia AM baja para afinar la puntería de la artillería anti aérea. El material de construcción para las hélices es muy variado dependiendo de su propósito., Entre los más comunes se encuentran el plástico, la fibra de carbono y la madera. Cada tipo de material aporta propiedades únicas a la hélice.

El desarrollo de los Drones ha venido tomando una gran importancia debido a que este comenzó en la segunda guerra mundial obteniendo gran aporte militar, se los usaba para bombardeos, inspecciones o conocer la ubicación del enemigo mediante este gran aporte que se realizó vino a ser usado en la aviación civil, y hoy en día ser conocido por sus grandes uso en el mundo moderno, y en las diferentes áreas de trabajo.

El objetivo de una buena hélice es generar impulso mediante su giro moviendo el aire a la vez. Cuando mayor sea el aire que consigue mover la hélice mayor será el empuje. Existen diferentes diseños y materiales. Dichas hélices pueden ser diseñadas, elaboradas, y construidas a partir de carbono, muy ligero y resistente, combinando tubos y placas, con tornillería especial, y elementos anti-vibraciones, además materiales compuestos, e incluso actualmente mediante impresiones 3D.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En la Unidad De Gestión De Tecnologías – ESPE, se ha determinado un gran déficit de conocimientos sobre hélices usadas en Drones/UAV, debido principalmente a la inexistencia de estructuras físicas, planos digitales, u otro material de apoyo que permitan la adquisición de nuevos y mejores conocimientos dirigido tanto a los estudiantes como a los Docentes de la Carrera de Mecánica Aeronáutica.

La problemática se suscita desde el inicio de la Carrera de Mecánica Aeronáutica, puesto que no se ha tomado un énfasis específico en las estructuras y diseños de las hélices para drone/UAV, dejando a un lado este campo de la aviación muy importante en la actualidad, ya que constituye el futuro de la aviación en cuanto a vehículos aéreos no tripulados.

La carencia de elaboración de hélices mediante materiales compuestos para drones ha conllevado a tener vacíos en ciertos aspectos de la aviación, ya que constituyen la evolución de la aviación tal y como hoy la conocemos, dejando a los estudiantes de Mecánica Aeronáutica vulnerables ante las nuevas tecnologías, que en un futuro podrían constituir perjuicios para su desarrollo en el campo laboral.

Por tal razón se requiere que la institución se sumerja en la nueva tecnología del drone, y qué mejor manera, que empezando por la hélice que es la que genera el empuje característico del drone/UAV, y experimenten como se lo puede constituir o que formas puede desarrollar a beneficio de mejorar los conocimientos de los estudiantes.

## **1.3 Justificación e Importancia**

El presente proyecto se enfoca en analizar los diferentes comportamientos del drone en vuelo, así también conocer su fuerza de empuje, origen, límites de cargas, y autonomía en las hélices usadas en drones/UAV, así se tendrá un gran impacto dentro de la Carrera de Mecánica Aeronáutica ya que se contara con un

material didáctico de mucha relevancia para instrucción de futuros Mecánicos Aeronáuticos.

Con el diseño de una hélice se podrá alcanzar nuevos conocimientos tanto teóricos como prácticos, que ayudaran a desarrollar mejores destrezas dentro de este campo de la aeronáutica, además se contara con materiales y software nuevos y novedosos que serán de mucha ayuda para próximos proyectos relacionados con la construcción de estructuras y a futuro un drone/UAV 100% operativo y funcional.

Los principales beneficiarios de este proyecto serán los docentes, alumnos, y en si la institución que contaran con una hélice de drone/UAV adaptable para los diferentes proyectos que se quieran implementar, a este además se brindara una facilidad de manipulación a quien lo requiera no simplemente con la estructura física, además se contara con planos físicos y magnéticos.

El proyecto se lo llevara a cabo por su factibilidad dentro de la institución, pues se cuenta con docentes altamente calificados, y con los conocimientos requeridos para el diseño, análisis, y elaboración de hélice del drone/UAV, además se cuenta con el total apoyo de autoridades que dan viabilidad al proyecto, quienes nos brindan las facilidades para la utilización de las instalaciones de la Universidad.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar y construir una hélice de un drone / UAV mediante el uso de materiales compuestos, aplicando software CAD-CAE para de la carrera de Mecánica Aeronáutica de la Unidad de Gestión de Tecnologías - ESPE.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Recopilar la información necesaria para la elaboración del diseño y construcción de la hélice, determinando las herramientas y el material adecuado y apropiado para cumplir con los plazos previstos.

- Estructurar los planos de prototipado de la hélice usando software CAD- CAE para su análisis de resistencia estructural.
- Implementar un Kit de reparación de materiales compuestos con el cual se pueda reproducir el modelo de la hélice diseñada.

### **1.5 Alcance**

El presente proyecto será evaluado y supervisado docentes de la Carrera de Mecánica Aeronáutica de la Unidad De Gestión De Tecnologías – ESPE, la meta de implementar el uso de materiales compuestos para la Universidad ayudara a mejorar la manipulación y llenar vacíos que se tengan por carencia de practica con estos materiales en la elaboración o reparación de componentes aeronáuticos. Por lo tanto será dirigido hacia los alumnos de la carrera enfocando a mejorar los conocimientos teóricos – prácticos sobre hélices de drones/UAV, y sus posibles aplicaciones tanto en el laboral como en lo cotidiano, mediante el uso de material didáctico.

## CAPÍTULO II

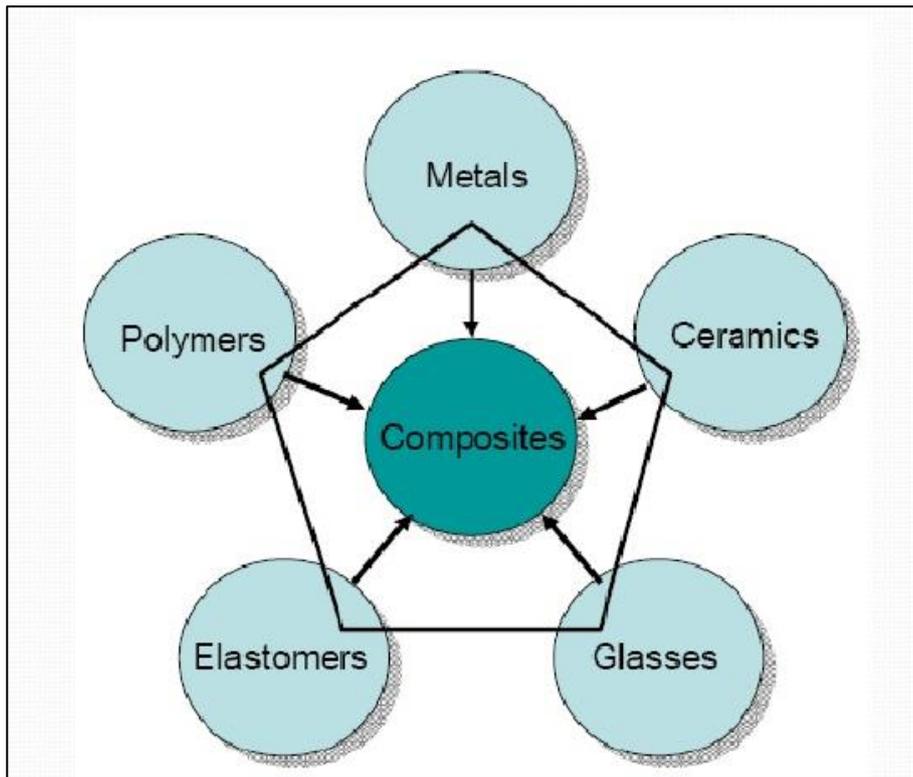
### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Materiales Compuestos

“Los materiales compuestos son combinaciones macroscópicas de dos o más materiales diferentes que poseen una inter-fase discreta y reconocible que los separa” (Stupenengo, 2011). Los primeros materiales compuestos de origen natural utilizados por el hombre fueron las maderas, de aquí nace la necesidad de crear combinaciones con cerámicos, plásticos y con metales. Por ejemplo en la industria del transporte aéreo se busca siempre los materiales más ligeros, rígidos, resistentes al impacto debido al golpe contra el viento que se genera en el aire, el desgaste y la resistencia a la corrosión debido a diferentes factores ambientales a los que la aeronave se encuentra expuesta. A pesar de obtener materiales con propiedades excepcionales la obtención de algunos de estos vienen a ser complicadas debido al costo de fabricación o la incompatibilidad entre los mismos.

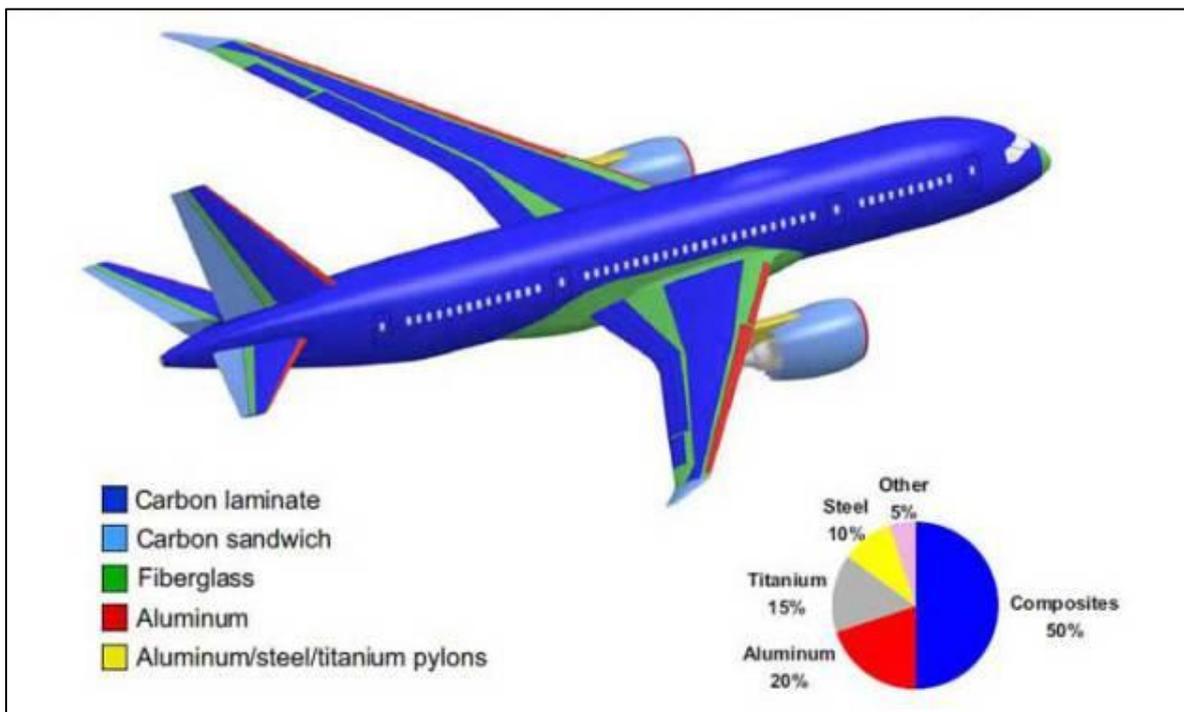
Comprendemos que los materiales compuestos llegan a ser la fusión química o no química de dos materiales para obtener la combinación de propiedades que no es posible obtener entre los originarios, la unión de estos materiales no debe llegar a disolverse o fusionarse completamente para que se pueda identificar por medios físicos. El material compuesto llega a poseer propiedades mecánicas y físicas especiales debido a que combinan las mejores propiedades de sus componentes y descartando defectos que podrían elaborarse, entonces se logra llegar a la conclusión de que los materiales compuestos cumplen características como:

- Se encuentran compuestos por dos o más agentes que se pueden distinguir físicamente y separar mecánicamente.
- Los materiales compuestos presentan varias fases químicamente distintas, insolubles entre si y se encuentran separadas por una inter-fase.



**Figura 1** Materiales Compuestos

**Fuente:** (Milton, 2013)



**Figura 2** Material utilizado en el Boeing 787

**Fuente:** (FREISSINET, 2011)

## **2.2 Categorización de Materiales Compuestos**

### **2.2.1 Materiales Compuestos reforzados con partículas**

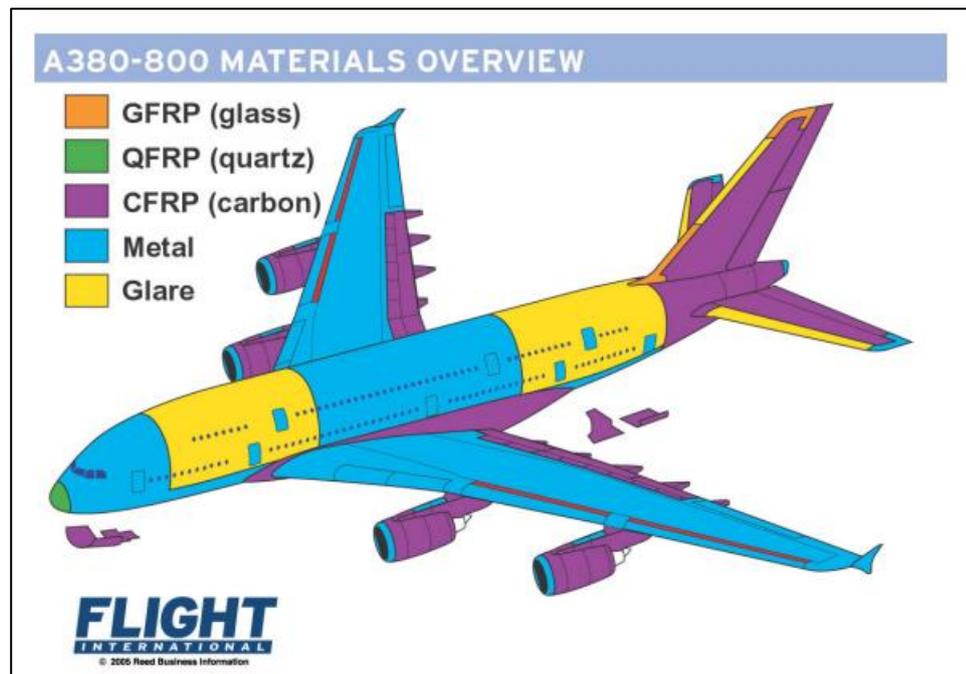
Se componen de partículas de material rígido y frágil que pueden estar dispersas discreta y uniformemente. Posee las siguientes propiedades:

- El agente posee propiedades físicas óptimas.
- La fase dispersa es más dura y resistente que la matriz.
- La unión de estos materiales debe ser perfecta.
- La fase y el agente no deberían por ningún motivo reaccionar químicamente el uno con el otro.

### **2.2.2 Materiales Compuestos reforzados por fibras**

Estos compuestos suelen ser lo más significativos viéndolos desde el punto de vista tecnológico. Un componente suele ser un agentes reforzantes como fibras fuertes: fibra de carbono, fibra de vidrio, kevlar, cuarzo y la importancia de estos materiales proporcionar una alta resistencia a su consumo entre estos factores sobresalen la rigidez, densidad y la fatiga, la resistencia a la temperatura para conseguir una mejor proporción de peso – resistencia. Estos factores se obtendrán si se cumple con las propiedades mecánicas adecuadas. Las principales fibras usadas como refuerzos son:

- Fibras de vidrio
- Fibras de carbono
- Fibras de boro
- Fibras cerámicas
- Fibras metálicas
- Fibras de aramida



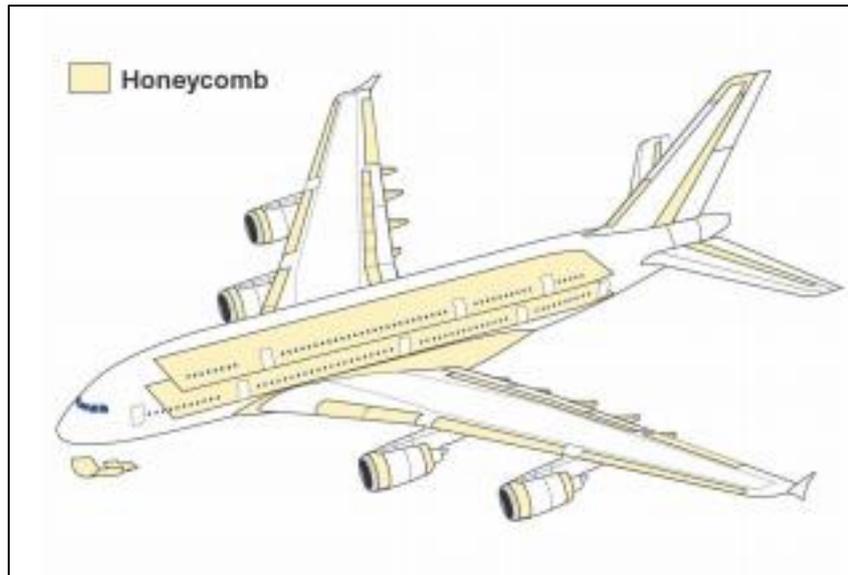
**Figura 3** A380 Materiales compuestos

**Fuente:** (Reche, 2009)

En naranja aparece la fibra de vidrio, en color rojo aparece y verde el cuarzo, en color violeta aparece coloreada la fibra de carbono, el color azul se usó para colorear las partes metálicas y por último el color amarillo es para el glare, este material se encuentra realizado de fibra metálica específico, hecha de aluminio y fibra de virio compuesta. El Glare es un material relativamente reciente. “Junto con la madera y el metal, el glare será el nuevo tercer material usado en estructuras primarias (fuselaje y superficies aerodinámicas primarias)”. (Reche, 2009)

### 2.2.3 Materiales compuestos estructurales

A diferencia de los nombrados anteriormente estos se encuentran formados por materiales sencillos y sus propiedades dependen básicamente de la geometría, diseño y su característica específica de uso, los más usados en aviación debido a que mejoran las propiedades mecánicas juntamente con el aislamiento térmico y acústico son los tipo sándwich o conocidos como Honeycomb.



**Figura 4** Panal de abeja en el A380

**Fuente:** (Reche, 2009)

### 2.3 Materiales Compuestos más usados en Aviación

Los materiales compuestos usados en la estructura del avión como el fuselaje deben soportar altos esfuerzos o cargas, y el criterio fundamental a la hora de seleccionarlos en la industria aeronáutica es que sea ligero y resistente, estos requisitos permite por un lado ahorrar combustible y por otro asegurar el funcionamiento. Condiciones a las que se exponen los materiales compuestos:

- Vibraciones.
- Altas y bajas presiones.
- Exposición a radiación directa
- Temperaturas extremadamente altas  $+200^{\circ}\text{C}$  en exposición solar y extremadamente bajas.
- Impacto de pequeños objetos a muy alta velocidad.

Por ende se debe tener en cuenta el material a usarse como son las diferentes aleación (vidrio, carbón, aluminio, titanio, magnesio) y materiales auxiliares como la goma, los plásticos y las lonas. La característica principal es que los materiales compuestos tienen dos componentes con una función muy específica:

- La matriz: es el componente que se presenta en fase continua, y que actúa como ligante. Da estabilidad al conjunto, protege al refuerzo del deterioro y evita la propagación de grietas.
- El refuerzo: es el componente que al contrario que la matriz, se presenta en forma discontinua, cuya misión es resistir los esfuerzos.

## 2.4 Aleaciones

### 2.4.1 Aleaciones Ferreras

“La aleación férrea más usada en aviación es el acero (con un 2% de carbono). El acero sustituyó a la madera en la construcción de fuselajes reticulares o tubulares puesto que aguantaba mucho mejor la humedad” (Reche, 2009) , en la industria aeronáutica aviación a pesar de tener bajo costo con respecto a aleaciones ligeras, el uso de estas aleaciones es muy limitado por el peso que posee, y solo se lo usan en partes o componentes que requieran una gran resistencia como para fijar partes o componentes de la aeronave, en los trenes de aterrizaje.



**Figura 5** Pernos y tornillos de acero

**Fuente:** (Alibaba, 2018)

### 2.4.2 Aleaciones Ligeras

**Aleación de Aluminio.-** Son el resultado de la combinación del aluminio con otros metales como el zinc, cobre, entre otros. Tienen alta resistencia y pesan poco una combinación requerida en la aviación al momento que el aluminio se combina pierde su propiedad anticorrosiva.

**Aleación de Titanio.-** Es una de las aleaciones más costosas, pero se debe a que el material es relativamente ligero pero es altamente resistente hacia las corrosiones usualmente se lo usa en componentes de los turborreactores.

**Aleación de Magnesio.-** Es la aleación más ligera en comparación con el acero esta pesa hasta 4 veces menos tiene una gran relación peso-resistencia se los usa en los rotores de los helicópteros, en partes como los cinturones y asientos pero tienen un gran problema que son la corrosión y la alta inflamabilidad y por estas razones se las ha sustituido por aleaciones de aluminio.

### 2.4.3 Plásticos con refuerzos de Fibra

**Fibra de Vidrio.-** Las fibras de vidrio poseen un costo menor al de las fibras de carbono, su gran resistencia a tracción, resistente a los ataques químicos y flexibles. Al compararlas con la fibra de carbón la fibra de vidrio puede sufrir un mayor incremento en la elongación sin romperse, pero con menor resistencia y tensión. Propiedades de la fibra de Vidrio:

- Usadas en la industria de construcción de Carrocerías de automóviles, barcos y aviones.
- Usadas en recipientes de almacenaje en industrias o en el sector empresarial.
- Su uso se basa mayormente en la industria del transporte en general.



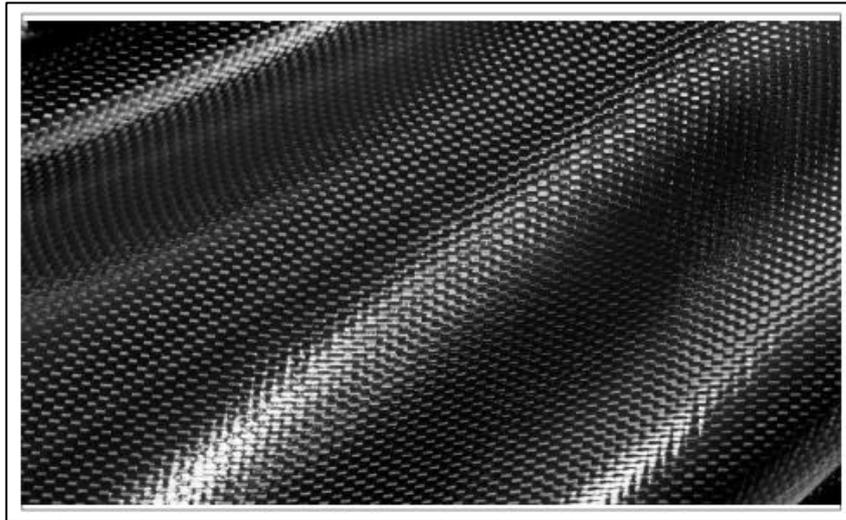
**Figura 6** Juego De Hélice De Fibra De Vidrio

**Fuente:** (Anónimo, toptechservices, 2018)

**Fibra de Carbono.-** Es la más utilizada para los composites de altas prestaciones, Las fibras de baja gama son preparadas a partir de brea. Los filamentos de fibra de carbono tienen un diámetro que oscila entre 5 y 8 mm y están combinados en mechas que contienen entre 5000 y 12000 filamentos. Estas mechas pueden retorcerse en hilos y formar tejidos. Este tipo de fibras poseen excelentes propiedades mecánicas, un buen comportamiento en atmósferas no oxidantes, una buena conductividad térmica y eléctrica, propiedades de dilatación térmica totalmente nulas. (Milton, 2013)

La fibra de carbón se usa en las hélices en la parte de adelante y en aeronaves no tripuladas estas en su mayoría son hechas totalmente la hélice, debido a que posee alta resistencia y rigidez debido a la estructura a base de grafito que posee. Propiedades de la fibra de Carbono:

- Alta resistencia específica
- Alto módulo específico
- Buena resistencia a disolventes orgánicos
- Inerte frente a la humedad y los disolventes



**Figura 7** Tejido de Fibra de Carbono

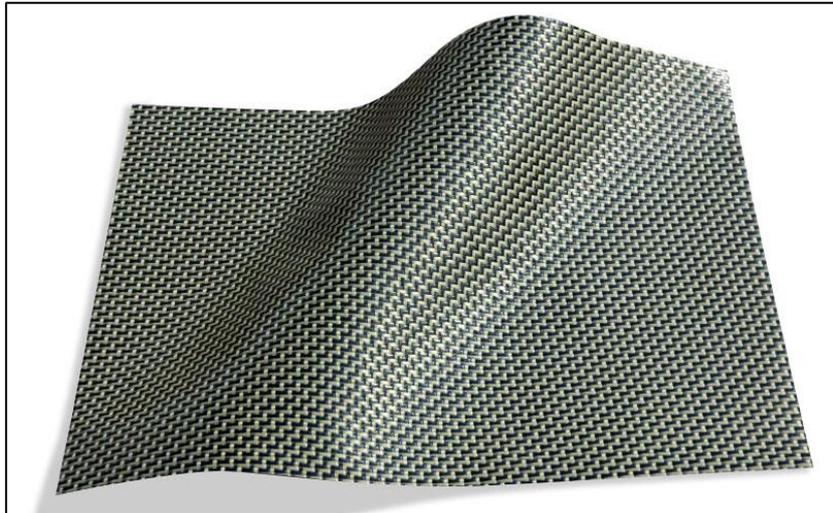
**Fuente:** (Milton, 2013)

**Kevlar.-** “Sus fibras consisten en largas cadenas de poliparafenileno tereftalamida, molécula que soporta altas temperaturas con la que se puede construir equipos ligeros, resistentes (5 veces más fuerte que el acero) y a los que no les afecta la corrosión.” (Anonimo, SF)

Por sus diferentes características se lo ha llegado a emplear en varios sectores como el industrial y social, debido a que existen dos tipos como son el kevlar 29 y kevlar 49 sus usos vienen varían como por ejemplo.

Kevlar 29 su uso es más como un refuerzo de revestimiento mecánico o para tejidas, en la sociedad su aplicación seria en chalecos antibalas; a diferencia del Kevlar 49 que luego de que se lo forme con resina se convierte en un material compuesto y para obtenerlo la superficie es tratada favoreciendo la unión con la resina, uno de sus aplicaciones en la sociedad viene a ser en el ámbito deportivo o para deportes extremos, se lo usa en altavoces, en cascos para motos y en la industria aeronáutica tiene un uso en los neumáticos y en equipo de protección personal (EPP), tanques de combustible, alas de los aviones, trajes espaciales, satélites de comunicaciones. Propiedades del Kevlar:

- Marital muy rígido.
- Su coeficiente de dilatación térmica longitudinal nulo.
- Baja densidad.
- Excelente resistencia al impacto.
- Lata ligereza
- Alta resistencia a la rotura.
- No se derrite.
- No se contrae en llama.
- Carboniza a temperaturas muy altas.
- Buena resistencia y estabilidad química.
- Extremadamente resistente.



**Figura 8** Tejido Kevlar

**Fuente:** (Anónimo, Aerotecnología, 2010)

## 2.5 Vehículos aéreos no tripulados

Se comenzara definiendo que es un vehículo aéreo no tripulado o Drone, para el cual existen varias de abreviaturas o términos con los cuales se identifican aunque se use de manera distinta no significan lo mismo. Los vehículos aéreos no tripulados contienen una infinidad de palabras y siglas pero no siempre se lo usa de manera correcta debido a que algunas de estas siglas no son sinónimos debido a que no existe una entidad u organismo que regule o defina el cómo

llamar a cada aparato. Por ello se definirán algunos de estos términos.

La Organización de Aviación Civil Internacional (ICAO) conoce como: **UA** (Unmanned Aircraft): Avión no tripulado, para llamar lo que popularmente se denomina UAV.

- **Dron / drone:** Se lo usa para designar vehículos no tripulados en el ámbito aeronáutico (ámbito militar).
- **UAV** (Unmanned Aerial Vehicle): Vehículo aéreo no tripulado.
- **UAS** (Unmanned Aerial System): Sistema aéreo no tripulado, es decir, el avión más el sistema de control.
- **UCAV** (Unmanned Combat Aerial Vehicle): Vehículo aéreo no tripulado de combate, para referirse a los aparatos que son capaces de portar armamento para atacar objetivos.
- **RPA** (Remotely Piloted Aircraft): Aviones controlados de forma remota. Se trata de un concepto que surgió con fuerza en EEUU para evitar que la gente se atemorice por el uso de estos ingenios en medios urbanos pensando que no hay ninguna persona que se haga cargo de evitar un desastre en caso de avería en vuelo.
- **RPAS** (Remotely Piloted Aircraft System): Sistema aéreo tripulado de forma remota, en el caso de que se incluya el aparato y el sistema de control. Este término ha ido haciéndose hueco en todo tipo de informes, sobre todo de la UE que llama con este nombre a los aparatos de uso civil.

Los vocablos UAS como RPAS son invariables en singular y en plural, no se ponen esas minúsculas al final ni apóstrofes. Todos los RPA son UAV, ya que son vehículos aéreos no tripulados, pero no todos los UAV son RPA, ya que para ello deben estar controlados por una persona. (González, 2015)

### **2.5.1 Historia de los Vehículos Aéreos no Tripulados.**

El desarrollo de los UAV siempre ha ido de la mano con las tecnologías que permitiesen el control y estabilización de estas aeronaves. En los principios del año 1917, Elmer Sperry construyó una aeronave capaz de auto estabilizarse utilizando giroscopios, barómetros y controles accionados por servomotores. Luego de un despegue asistido por una persona, el “Hewitt-Sperry Automatic Airplane” era capaz de volar de manera autónoma una distancia de 48 km y lanzar una bolsa de arena en un diámetro de 3.2 km del blanco predeterminado. El primer vuelo totalmente no tripulado se dio en el año 1918 con el “Curtis-Sperry Flying Bomb” el cual despegó desde un automóvil en movimiento y recorrió una distancia de 900 m. (Fukuhara, 2015)

El comienzo de la segunda guerra mundial en 1939 renovó el interés en las bombas teledirigidas. Los avances tecnológicos en radiocomunicación, televisión y control giroscópico permitieron producir armas más sofisticadas, pero con resultados mixtos. Los aliados se enfocaron en diseñar bombarderos radio-controlados utilizando video-telemetría por medio de cámaras dispuestas en la punta de la aeronave y la cabina de vuelo. Estos intentos tuvieron poco éxito. Las bombas volantes, específicamente la V-1 (figura 2.3.1.A), tuvieron gran notoriedad debido a su participación en el Blitz sobre Londres. Los V-1 utilizaban un péndulo, giróscopo y barómetro. Un anemómetro colocado en el frente estimaba la distancia recorrida e indicaba el momento para que la bomba cayera. En la práctica, el V-1 era poco preciso; sin embargo, fue responsable de cerca de 6000 víctimas mortales. (Fukuhara, 2015)



**Figura 9** V-1 (del alemán Vergeltungswaffe 1). Bomba volante

**Fuente:** (Fukuhara, 2015)

Un logro notable luego de la guerra fue el QH-50 Gyrodyne (figura 2.3.1.B), el primer helicóptero no tripulado. Fue desarrollado como un arma anti-submarinos ante un ataque inminente por los años 1950. El QH-50 era piloteado desde los barcos y utilizaba los giroscopios para estabilizarse. En la actualidad, las aeronaves robóticas combinan modernas computadoras con tecnología originalmente desarrollada para drones militares y misiles crucero. La mejora en los procesadores, sensores micro electro-mecánicos (MEMS) y cámaras han permitido que los VANT se introduzcan en diversas actividades civiles. (Fukuhara, 2015)



**Figura 10** QH-50 Gyrodyne

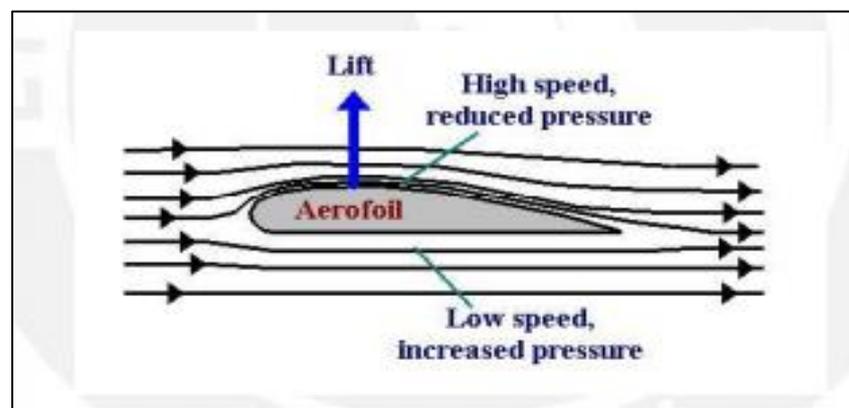
**Fuente:** (Fukuhara, 2015)

## 2.6 Principio de Sustentacion de Vehiculos Aereos.

Los componentes de los multirrotores ayudan a comprender el funcionamiento del vuelo de los drones así mismo como los principios básicos de aerodinámica, que es la ciencia de la mecánica de los fluidos que estudia los efectos que tienen el movimiento relativo de los fluidos (en este caso el aire) con respecto a los objetos. Los vehículos aéreos se pueden clasificar según su principio de sustentación habitualmente en dos grandes grupos.

### 2.6.1 Ala fija

Son conocidos comúnmente como aviones, para explicar la física del vuelo se debe recurrir al Principio de Bernoulli que explica como los vehículos aéreos pueden sustentarse en el aire gracias a la diferencia de velocidad debido al paso de corriente de aire por sus alas, y por la diferencia de presiones que es ejerce por la fuerza de la sustentación. Por ende para que se genere sustentación se requiere que la corriente de aire tenga una velocidad relativa respecto al perfil de las alas, lo cual genera un campo de baja presión en la parte superior y una de alta presión en la parte inferior. (Figura 2.3.2.A). Existen dos teorías que explican la sustentación:

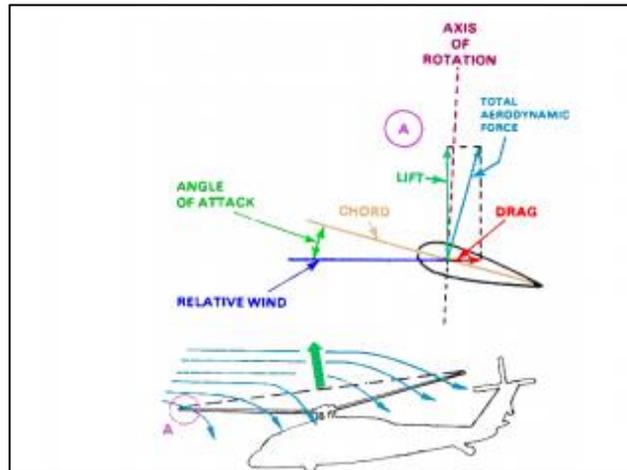


**Figura 11** Perfil aerodinámico de un ala de vehículo aéreo.

**Fuente:** (Muñoz, Manuel de Vuelo, SF)

### 2.6.2 Ala rotatoria:

A los helicópteros se los conoce más en este grupo. La rotación de la hélice genera un campo de velocidades en las aspas. El cambio de velocidad sobre los perfiles de las aspas genera una fuerza de sustentación en cada una de estas que sumadas dan una fuerza de sustentación reducidas al eje del rotor (Figura 2.3.2.B). (Fukuhara, 2015)



**Figura 12** Sustentación de un helicóptero

**Fuente:** (Fukuhara, 2015)

Cada uno de estos principios tiene ventajas y desventajas. Los aviones presentan una mayor eficiencia respecto a la distancia recorrida versus el combustible consumido. Además, son generalmente más rápidos que los helicópteros. Sin embargo, los aviones tienen la principal desventaja de requerir una pista de despegue y aterrizaje preparada, lo cual restringe su versatilidad. En cambio, los helicópteros requieren menos área para el despegue y aterrizaje, la cual no necesariamente tiene que haber sido preparada con anterioridad. Asociado a esto, los helicópteros no requieren un movimiento relativo a tierra para generar sustentación, por lo que pueden mantenerse en un punto fijo en el aire. Esto es fundamental para tareas de inspección o rescate de personas. Finalmente, se debe mencionar que la elección del tipo de aeronave a utilizar dependerá de la tarea a realizar. En la actualidad, ambos tipos de aeronaves presentan una gran ingeniería desarrollada; por lo que no es preciso decir que una de estas es técnicamente superior a la otra.

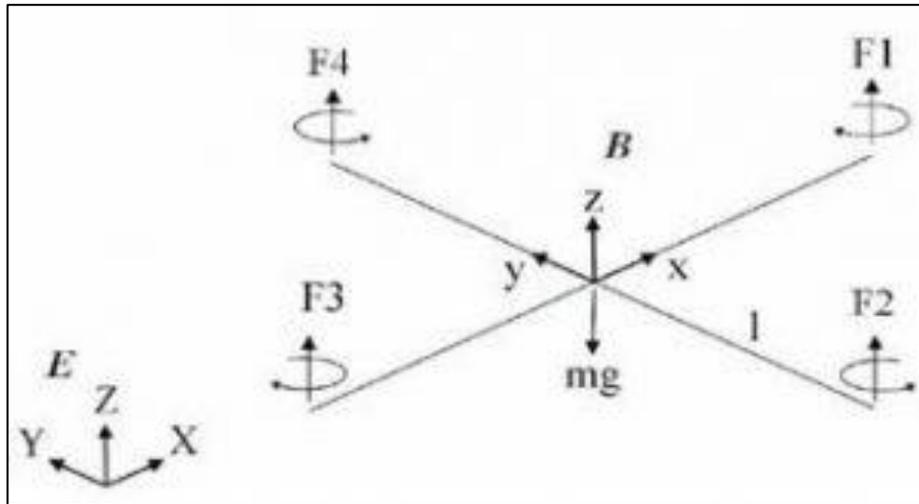
## 2.7 Aeronaves tipo multirotor

**“Los helicópteros para contrarrestar la fuerza de inercia de su rotor y no girar descontroladamente utilizan unos rotores de cola o estabilizadores”**

(Anónimo, infoRepuesto, 2017)

En aeronaves del tipo multirotor (Helicópteros, Tricópteros, Cuadricópteros, Hexacópteros, Octocópteros) se los conoce con el prefijo tri, cuadri, hexa debido a la cantidad de motores que posee el dron o vehículo aéreo no tripulado, A diferencia de los helicópteros, los multirotores sin asistencia electrónica son inestables, porque es extremadamente difícil controlar múltiples rotores manualmente, en el caso de los helicópteros la elucidación es más sencilla, debido a que se trata de contrarrestar la fuerza que ejerce la gravedad con la de empuje que son desarrolladas por las helices que se encuentran conectadas a los rotores y la fuerza de empuje dependera del tamaño y la velocidad que se ejerza.

Uno de los problemas que se podrian originar en los cuadricópteros vendria hacer si las aspas juntamente con los rotores girarian en el mismo sentido (Figura 2.3.3), entonces, paraevitar este problema se colocaron las helices con los rotores en sentido contrario u opuesto alternadamente y colocados de forma diametral y el control del movimiento de la aeronave dependera de las velocidades del motor. En la figura 2.3.3 podemos observar que es necesario considerar las fuerzas que actuan en las aspas de las helices asi como es indispensable el eje sobre el cual se realiza el giro de las helices para el calculo referencial, los momentos de fuerza, el peso que se lo encuentre en la parte central del vehiculo aereo no tripulado.



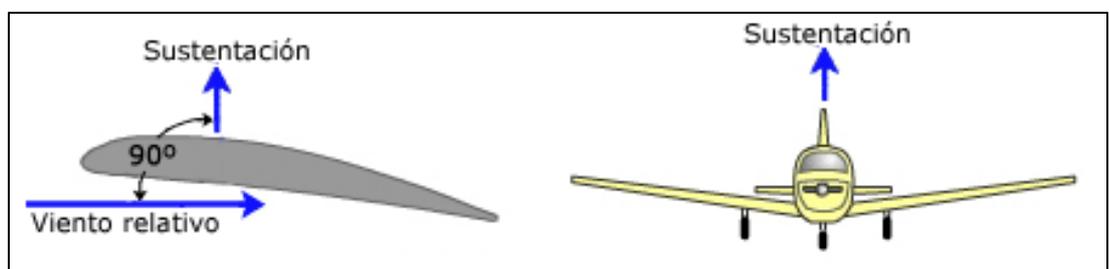
**Figura 13** Modelo dinámico para el desarrollo de un cuadricóptero

**Fuente:** (Anónimo, infoRepuesto, 2017)

### 2.7.1 Fuerzas que actúan en un vehículo aéreo no tripulado.

Las fuerza básicas y principales que actúan sobre vehículo aéreo en vuelo, debido a que influyen sobre cada una de las maniobras son: empuje, resistencia, peso y empuje; estas cuatro fuerzas actúan en pares la sustentación es lo contrario al peso, y el empuje o tracción a la resistencia. En lo cuadricopteros se enfocan en 3 fuerzas que son Arrastre, empuje y elevación.

La sustentación es la fuerza desarrollada por un perfil aerodinámico moviéndose en el aire, ejercida de abajo arriba, y cuya dirección es perpendicular al viento relativo y a la envergadura del avión (no necesariamente perpendiculares al horizonte). Se suele representar con la letra **L** del inglés Lift = Sustentación. (Muñoz, Manuel de Vuelo, SF)



**Figura 14** Sustentación

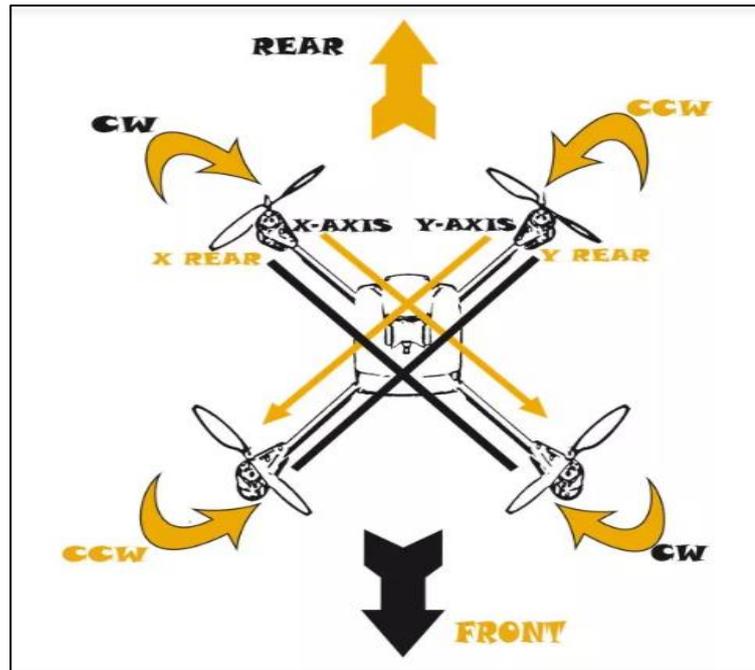
**Fuente:** (Muñoz, Manuel de Vuelo, SF)

**Arrastre.-** El arrastre en vehículos aéreos no tripulados viene a ser una fuerza mecánica que se opone al movimiento de cualquier objeto o un fluido, en si viene a ser la resistencia aerodinámica que se produce de igual manera en aeronaves.

El arrastre aerodinámico se genera a través de la diferencia de velocidad que existe entre el multirrotor con el aire, solamente cuando el vehículo aéreo no tripulado se encuentra en movimiento como : subida, bajada hacia adelante o retroceder, si el multirrotor se encuentra estático no existirá arrastre. La fuerza de arrastre y el peso que ejerce el UAV juntamente con la gravedad son las fuerzas que el multirrotor debe superar para que el UAV pueda elevarse y moverse en el aire.

**Empuje.-** La fuerza de empuje es generada por las aspas que son parte de las hélices del multirrotor, esta fuerza es la actúan en contra de la resistencia para poder hacer que el UAV pueda elevarse en el aire. La fuerza de empuje no es la fuerza principal responsable de mantener el multirrotor en el aire. En su lugar, es la fuerza que permite que el multirrotor viaje dentro del aire, que es un fluido, superando su resistencia al arrastre. (Anónimo, infoRepuesto, 2017)

**Asenso.-** El ascenso es la fuerza que se opone contra el peso de la nave, elevándola en el aire las hélices generan una fuerza que empuja el aire hacia abajo y la diferencia de presión del aire para que el vehículo no tripulado se eleve, esta fuerza debe ser mayor que el peso que posee el UAV.



**Figura 15** Comportamiento de los motores de un UAV

**Fuente:** (Anónimo, infoRepuesto, 2017)

El vehículo no tripulado debe cumplir ciertos requisitos para mantenerse en vuelo como :

- Todos los motores deben girar a la misma velocidad (o RPM)
- Debe tener una velocidad de rotación que genere una elevación para correcta sustentación del UAV, contrarrestando su propio peso, pero no en exageración para que el UAV no exceda en altitud.
- “El efecto de par que actúa sobre el cuerpo del cuadricóptero por cada uno de los motores debe ser cancelado. De lo contrario, el cuadricóptero tiende a querer guiarse en una dirección determinada”. (Anónimo, infoRepuesto, 2017)

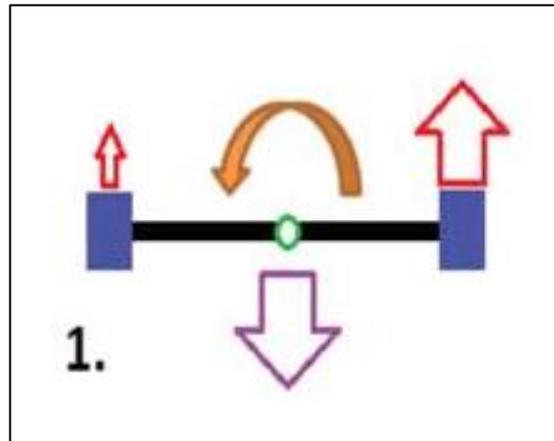
### 2.7.2 Ejes de un vehículo aéreo no tripulado

Las aeronaves tienden a rotar alrededor de tres ejes perpendiculares entre sí, cuyo punto de intersección está situado sobre su centro de gravedad. “En realidad el análisis de los movimientos de las aeronaves y drones es mucho más complejo y se basa en cálculos más avanzados para su diseño” (Anónimo, infoRepuesto, 2017)

**Pitch (cabeceo).**-La velocidad de los motores traseros aumenta con respecto a la velocidad de los motores delanteros. El control ‘pitch’ indica al UAV si debe volar hacia delante o hacia atrás. Con el fin de avanzar por ejemplo, la velocidad de los motores en la parte trasera del UAV debe aumentar, en relación con la velocidad de los motores en la parte delantera. Esto ‘inclina’ la nariz (frente) del UAV abajo, dando por resultado el movimiento delantero. (Anónimo, infoRepuesto, 2017)

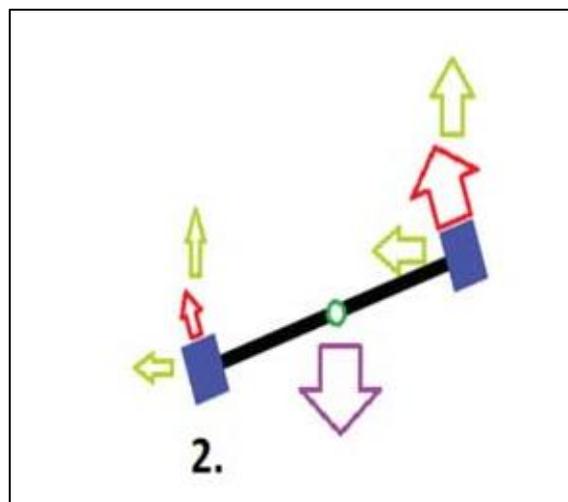
Esto se consigue aumentando la velocidad de los motores traseros o disminuyendo la velocidad de los motores delanteros. Por el contrario, con el fin de ‘pitch’ hacia atrás, la velocidad de los motores en la parte delantera del UAV debe aumentar en relación con la velocidad de los motores en la parte posterior. (Anónimo, infoRepuesto, 2017)

**Roll (Alabeo).**- La velocidad de los motores derechos aumenta respecto a la izquierda, el control ‘roll’ le indica al cuadricoptero que se mueva de lado a lado. Con el fin de “rodar” a la derecha, por ejemplo, la velocidad del motor a la izquierda de los quadcopters debe aumentar, en relación con la velocidad de los motores a la derecha. Esto “rueda abajo” el lado derecho del cuadricoptero, dando por resultado un movimiento de balanceo. Al igual que el paso, esto se logra aumentando la velocidad de los motores izquierdos o disminuyendo la velocidad de los motores derechos. Por el contrario, con el fin de “rodar” a la izquierda, la velocidad de los motores de la derecha del quadcopter debe aumentar en relación con la velocidad de los motores a la izquierda. (Anónimo, infoRepuesto, 2017)



**Figura 16** Alabeo y cabeceo

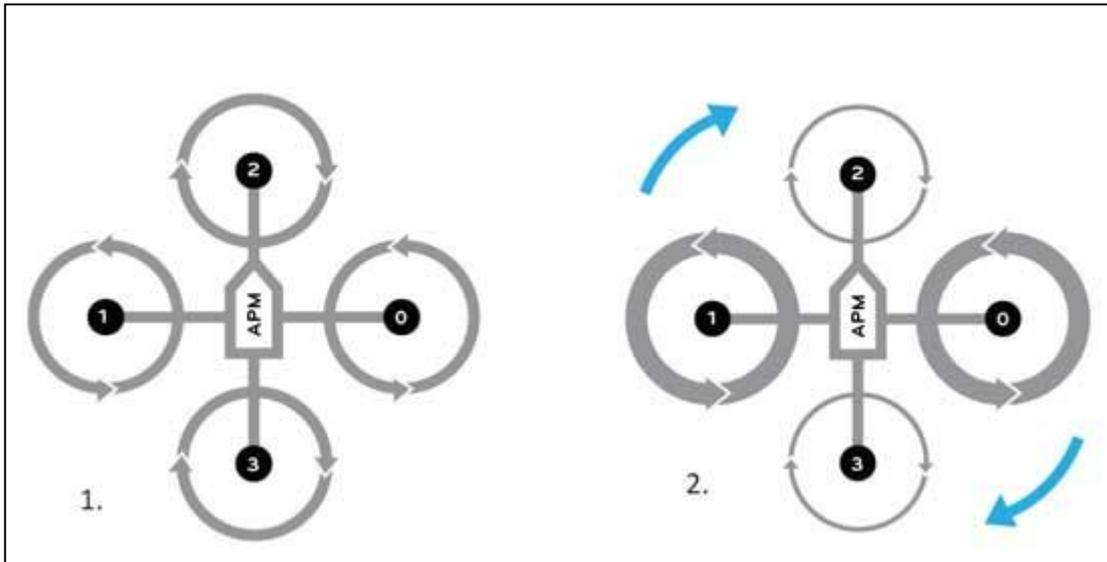
**Fuente:** (Anónimo, infoRepuesto, 2017)



**Figura 17** Explicación alabeo / cabeceo.

**Fuente:** (Anónimo, infoRepuesto, 2017)

**Yaw (Guiñada).**- El movimiento que realiza el vehículo aéreo no tripulado de “yaw” de guiñada trata de la rotación de un UAV haciendo que este incremente su velocidad de rotación en los par motores opuestos en el diametralmente. En estas circunstancias, aumenta o disminuye la velocidad de rotación de par motores opuestos diametralmente, variando el par en la dirección de rotación de ese par haciendo que el UAV gire En la dirección del par incrementado.



**Figura 18** Explicación guiada.

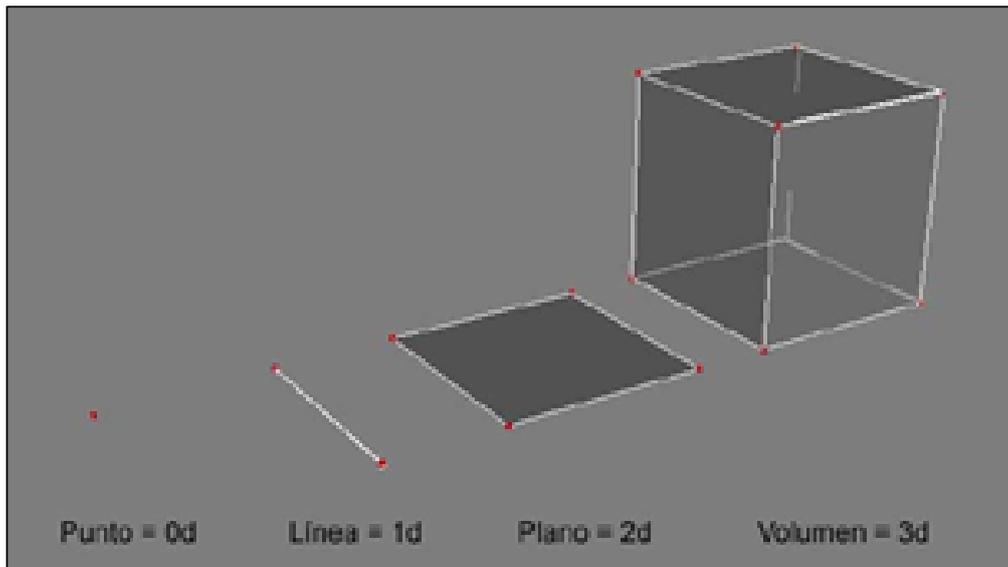
**Fuente:** (Anónimo, infoRepuesto, 2017)

## 2.8. Diseño y Animación

### 2.8.1 Gráficos en 3D

Existe una extensa lista de requerimientos necesarios para el diseño y la construcción de las hélices porque como cabe esperar, a la hora de diseñar un prototipo hay ciertas restricciones o requisitos que son necesarios tener en cuenta para conseguir un diseño óptimo y competitivo en el mercado. Tendremos en cuenta variables como la capacidad de carga, condiciones ambientales estimadas de operación, dimensiones, peso máximo y costos aproximados. Luego, se propone un diseño preliminar a fin de estimar el peso de la estructura mecánica, dato fundamental para el cálculo y selección del sistema de propulsión.

La creación de imágenes gráficas 3D procede de gráficos bidimensionales principalmente por la forma que este ha sido generado incluyendo el uso de planos bidimensionales para iluminación, para los gráficos en 3 dimensiones se usan coordenadas en los planos x, y, z. para la creación de estos gráficos en 3D existen disponibilidad de programas para computadoras facilita la creación tridimensional dependiendo de la necesidad del creador del diseño.



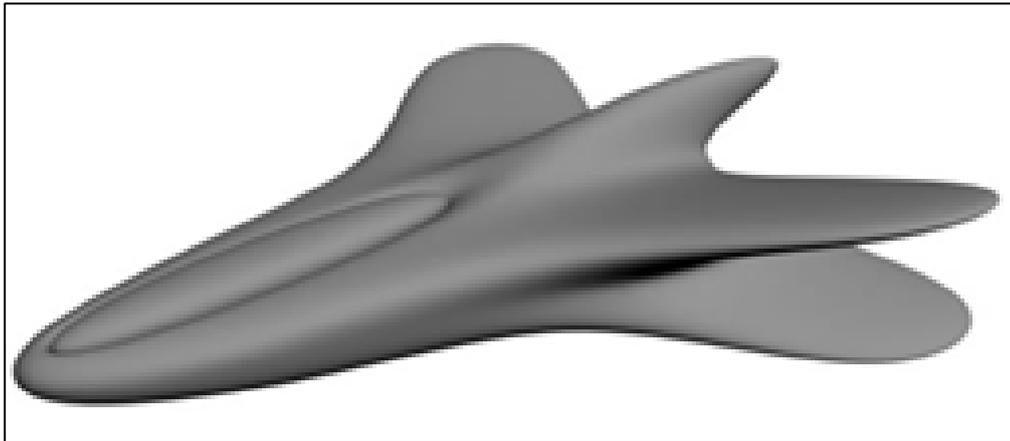
**Figura 19** Imagen en 3D

**Fuente:** (Pérez, 2014)

Este tipo de gráficos difiere de un proceso de cálculos sobre factores, entidades geométricas. Para la construcción de las figuras consiste en un procedimiento matemático en las cuales se representa las curvas y superficies de esta manera estas pueden ser proyectadas de manera visual a través de una pantalla o en un papel.

### 2.8.2 MODELADO DE LA FIGURA.

El modelo en 3D es el proceso mediante el cual se crean figuras, personajes, objetos para el uso de la animación. En la fase inicial del modelado la creación es fundamental para los consecuentes bocetos que se emplee en el proyecto, los factores que influyen en la creación de la figura son relevantes debido al funcionamiento para el cual se proyecta el uso de la imagen en su material didáctico. Entonces la etapa del modelado es una manera de dar forma a los objetos individuales los cuales se lo podrá usar por separado como en escenas.



**Figura 20** Modelado 3D

**Fuente:** (Francisco Rodríguez Pérez. Modelado en 3D y composición de objetos. 2014)

### 2.8.3 Requerimientos de diseño

La hélice es uno de los componentes principales en las aeronaves, estas giran alrededor de su propio eje generando una fuerza propulsora para el desplazamiento de la aeronave, esta fuerza es la contraria a la resistencia y es la necesaria para el desplazamiento hacia adelante. La hélice se encuentran constituidas por un numero variable de palas las cuales se las usa según los requerimientos de la aeronave. Se mencionan los diversos requerimientos para el UAV multi-rotor fundamentando cada uno de estos desde una perspectiva técnica, funcionalidad, ergonómica y económica.

**Dimensiones.-** Las hélices del UAV deben caber en un diámetro de 330mm (590 mm incluidos los puntales de hélices externas). Esto responde a la necesidad de trabajar en espacios confinados de manera menos intrusiva que sus contrapartes tripuladas. Por ende la hélice deberá tener un diámetro de 9.4inch con tornillo pitch de 5.0.

**Peso.-** Tendrá un peso máximo de 0.5 kg considerando todos los dispositivos necesarios para la operación de las hélices del UAV. Estos 0.5 kg no incluyen el peso extra que el UAV puede cargar. Este límite ha sido establecido para que una sola persona pueda transportarlo con facilidad.

**Palas.-** Existen diferentes tipos de hélices según el número de hélices y su material. Teoría del elemento pala: en esta teoría llamada también como la teoría de las franjas se toman en cuenta pérdidas del perfil de las secciones de pala. Es la teoría más usada en el diseño de una pala de hélice y para evaluar características de desempeño de un diseño acabado de una hélice. (Caro, 2006) Por su diseño versátil y estabilidad que le aportan al drone se elaboraran hélices de tres palas

**Material.-** Como mencionamos anteriormente el material tiene mucha incidencia en el peso de la hélice que puede llegar a afectar en los diferentes factores que inciden sobre la funcionalidad del drone. El material que será utilizado para la elaboración de la hélice por sus características de alta resistencia y por ser ligero es de la fibra de carbón

**Modalidad de vuelo.-** El UAV debe tener la capacidad de mantenerse en el aire en un punto fijo a fin de poder tomar imágenes o mediciones. Además debe ser capaz de aterrizar y despegar en lugares estrechos sin necesidad de una pista de aterrizaje.

**Capacidad de carga.-** El peso que se transportara será de 1000 gramos. Este peso se tomó en referencia a una cámara digital la go-pro usada para grabaciones en alta calidad de personas o lugares. La carga fue considerada en función al peso promedio de una cámara digital compacta cuyo peso oscila en los 300 g y agregando un factor de seguridad en caso se requieran accesorios adicionales. Incluso el peso varía por la tecnología que sigue avanzando y mejorando en varios, sus dimensiones corresponden al modelo para el cual se realizaron las hélices que es un Drone el Phantom 2 que posee la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

**Autonomía de vuelo.-** La autonomía que se espera en promedio es de 15 min al elevarse. Se proyectó que el tiempo que se demorara en elevarse y lograr su estabilidad sería de 3 minutos (contando con la configuración que realice el UAV, y lo mismo al momento de regresar de manera segura

**Resistencia a caídas e impactos.-** Las hélices del UAV contará se encuentra elaborada por fibra de carbono un material compuesto que podrá soportar un choque a una velocidad de 60 km/h, o una caída libre claramente los motores no estarían ahí contando. Este requerimiento responde al hecho de que en ocasiones el UAV no aterrizará de manera suave debido a las condiciones ambientales adversas. Las otras partes del VANT no contemplan su diseño para resistir impactos, por lo que el usuario debe tomar las precauciones necesarias y manipular con cuidado la unidad.

**Resistencia mecánica que posee la estructura.-** Un UAV multi-rotor es un vehículo aéreo no tripulado que trabaja utilizando motores que rotan a alta velocidad. Por tal motivo, tendrá un funcionamiento permanente de vibración. La estructura y sujeciones deben estar preparadas para tales condiciones de trabajo

**Simplicidad Mecánica.-** Se busca un sistema mecánico el cual sea rentable en lo económico y en su mantenimiento sea fácil, lo cual nos permitirá tener un sistema más confiable ya que al proceder a tener una emergencia en mantenimiento esto se lo realizara en un tiempo menor y con un gasto económico menor en cuanto a sus repuestos. También se toma en cuenta el tiempo en capacitar al personal para su uso y el mantenimiento se reduce.

**Potencia.-** Consiguiente a la finalización de este proyecto de tesis, se espera implementar el diseño propuesto. Se ha proyectado que siendo este el primer prototipo sea probado y desarrollado en la ciudad de Latacunga. Por tal razón, se requiere que el UAV con su carga útil pueda elevarse en zonas con vientos de hasta 7 m/s (26 km/h) que son velocidades que se dan en la ciudad por la mañana.

**Condiciones ambientales.-** En la ciudad de Latacunga se han registrado temperatura de -0.1 hasta 27 °C a lo largo del año con una humedad relativa cercana al 100%. Por tal motivo, el UAV debe poder operar en ese rango climático, en condiciones sin lluvia. Las hélices son unos de los componentes más importantes del drone, ya que de ellas dependerá la fuerza de empuje de cada uno de los sistemas propulsores, para un mismo motor seleccionado puede variar su eficiencia en función de la hélice que se asocie.

Las hélices son caracterizadas por dos parámetros que indican su comportamiento de vuelo. La longitud de las hélices, o distancia entre las puntas. Un tamaño de hélice mayor genera un mayor empuje, por consiguiente podremos soportar más carga. El paso de la hélice, indica la distancia teórica que la hélice avanzará a lo largo del eje de rotación en una revolución completa, es capacidad de la hélice para mover el aire y generar empuje. (MARTÍN, S.f)

**Estabilidad de vuelo.-** Las hélices del UAV deben tener la capacidad de trasladar a la aeronave de manera fluida y estable aun en condiciones de viento dentro de los límites de diseño

## **CAPÍTULO III**

### **DESARROLLO DEL TEMA**

#### **3.1. Preliminares**

A continuación se procederá a explicar el proceso que se siguió para poder realizar la elaboración práctica del presente proyecto, es decir, se detallara los componentes usados y la manera en cómo se los utilizo, el uso que se los dará en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, las propiedades de cada uno de los materiales y la medida de precaución que se debe tener al utilizar cada uno de los materiales.

La elaboración del CAPITULO II fue una herramienta muy importante juntamente con todo el conocimiento y habilidad obtenida en la Universidad de las Fueras Armadas – ESPE, para comenzar a describir cada uno de los procedimientos que se han realizado para el correcto desarrollo del trabajo de grado, con la información que se obtuvo mediante la investigación en documentos, sitios web y libros se logró satisfacer aún más los conocimientos sobre elaboración de componentes nuevos mediante el uso de materiales compuestos.

#### **3.2 Adquisición de Herramientas**

Las herramientas que fueron requeridas para la realización del trabajo de titulación fueron obtenidas del exterior debido que en el país no se logran obtener o realizar ninguno de las herramientas para trabajar con materiales compuestos y su uso es poco común.

A continuación se describirá cada uno de estos materiales, la empresa de la cual se adquirió los mismos y el uso que cada uno de ellos tendrá para la elaboración de la hélice a base de Fibra de Carbón.

**Clibcarbono.-** Clipcarbono.com viene a ser una pagina web que comerciala compuestos o componentes que ellos mismos realizan dentro de sus talleres ubicados en Avenida de Lugo, nº 20 - 15320 As Pontes, A Coruña - España,

estos materiales vienen a no encontrarse mucho países tercer mundistas debido a sus cualidades y propiedades que poseen. Su trato al momento de realizar compras es muy satisfactorio

En este sitio web se logro adquirir 5 articulos de los cuales 3 fueron prendas de vestir tanto para el estudiante el estudiante como para el docente debido a que los materiales compuestos pueden causar algunas picaciones o irritaciones en la piel si llegara a tener contacto, entonces estyos trajes de mono como se los conoce seran para tener una proteccion adecuada al realizar el trabajo, y dos herramientas para relizar el trabajo.

### **3.2.1 Tijeras micro-serradas y asistidas, especiales para Kevlar y Carbono**

Las tijeras adquiridas poseen un agarre engomado y un sistema de cierre automatico son exclusivas para el uso de materiales logrando un mejor uso, comunmente la utilizacion de esta herramienta viene a ser para cortar terlas, tejidos de carbon y kevlar , de este modo no se logrará relizar un esfuerzo significativo, pero el usuario debe poseer la habilidad adecuada para el uso del mismo. Características:

- Peso: 126 gr.
- Ancho total: 5,5 cm.
- Longitud total: 20 cm.
- Distancia de corte: 6 cm.



**Figura 21** Tijeras para kevlar y carbono

**Fuente:** (ClipCarbono, ClipCarbono)

### **3.2.2. Cúter circular OLFA 60 mm.**

Esta herramienta es un producto que será útil para lugares centrales donde la tijera puede no ingresar por no existir apertura posee un diseño ergonómico para uso con la mano izquierda o derecha (Incluye una cuchilla ya instalada), con el cúter se podrá realizar cortes intermedios debido a que posee una cuchilla capaz de cortar cuero, tela, papel, película - grueso y delgado, duro y blando y se encuentra ubicada en la parte superior del cúter con un diseño giratorio de  $\varnothing$  (diámetro) 60 mm. Características:

- Cuchilla en la parte superior con  $\varnothing$  de 60mm.
- Posee un mango con diseño ergonómico
- Su uso puede ser con la mano izquierda o derecha.
- Botón de bloqueo de seguridad, que cubre a la cuchilla mientras no se la está usando.
- Las cuchillas cortan cuero, tela, papel, película - grueso y delgado, duro y blando.



**Figura 22** Cúter circular OLFA 60 mm

**Fuente:**0020 (ClipCarbono, ClipCarbono)

### 3.2.3 Buzo blanco de protección - Talla L (2) - XL

El buzo o mono de protección está constituido por una capa suave al interior y a su vez en la parte externa se encuentra de un material resistente. Este mono comprende una certificación para la protección contra partículas radioactivas y agentes biológicos por su material que se encuentra constituido disminuye la acumulación de corriente y por ende disminuye la acumulación cargas. Esta prenda llega a cumplir los estándares de protección de la Categoría III, tipo 5/6 de la Directiva de EPP.

La prenda se encuentra altamente recomendada para el trabajo para limpieza en lugares o industrias cerradas, mantenimiento de maquinaria, inspecciones empresariales; y manipulación con materiales compuestos, así mismo con sustancias tóxicas líquidas, en polvo y con revestimientos de resinas. El número de prendas que se obtuvo de para el trabajo de titulación fueron de 3 siendo dos buzo en talla L y uno solo en talla XL. Características:

- Excelente para protección contra partículas secas o salpicaduras.
- Material cómodo con laminado suave y tapizado
- El color de la prenda es blanco.
- Cierre de doble sentido tanto inferior y exterior solapa sellable
- Muñeca elástica, puño tejido, y escudete reforzado.
- Capucha con 3 paneles protectores
- Muy bajo desprendimiento de fibras
- Tratamiento antiestático



**Figura 23** Buzo blanco de protección

**Fuente:** (CLipCarbono)

## **NORMAS / CERTIFICACIONES:**

EN ISO 13982-1:2004 Polvos peligrosos tipo 5

EN 13034:2005+A1:2009 Salpicaduras de líquidos tipo 6

EN 14126 - Agentes infecciosos (riesgo biológico)

CE Categoría III, EN 1073-2 Contaminación de partículas radioactivas

EN 1149-5 - Propiedades electrostáticas (CLipCarbono)

**Castro Composites.-** Es una empresa online de Resinas Castro ubicada en Pontevedra –España que ha venido fabricando todo tipo de composites (Materiales compuestos) por más de 40 años, especializándose en:

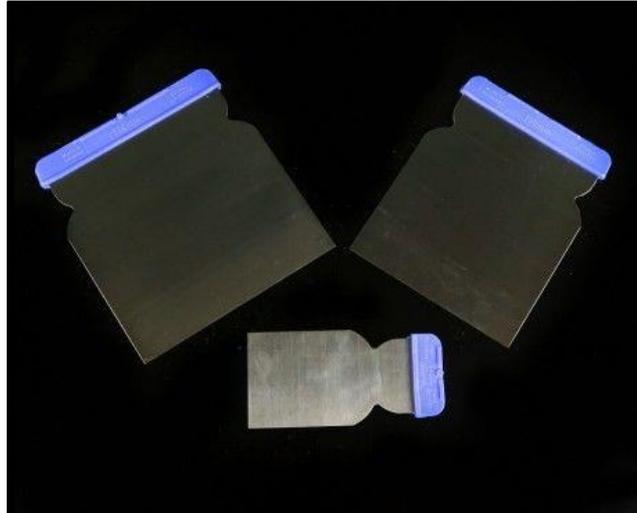
- Poliéster
- Siliconas
- Aramidas
- Carbono
- Vidrio
- Kevlar
- Materiales de vacío

### **3.2.4 Conjunto de 4 Espátulas Metálicas**

Las espátulas constan de una lámina metálica que generalmente no llegan a oxidarse, en este conjunto vienen cuatro espátulas metálicas de distintas medidas sus dimensiones son: 50, 80, 100 y 200 mm. La hoja posee una terminación en V y uniforme, y su espesor llega a variar, el uso que se les dará es para retirar viejas capas de resina, elementos extraños en la superficie (óxidos, pegamentos) o para distribuir de manera correcta y emparejar superficies

#### **Recomendaciones luego de su uso**

- Se recomienda limpiarla de manera correcta al finalizar de trabajar, eliminando todo el material con el que se trabajó anteriormente.
- Luego de comprobar que quedó limpia, secarla.



**Figura 24** Conjunto de 4 Espátulas Metálicas

**Fuente:** (Castro)

### 3.2.5 Cuña de Plástico Rígido

Las cuñas de plástico rígido se usan para desmoldeo de los materiales compuesto, lo usaremos mientras los compuestos que estemos usando se encuentren frescos y no se requiera mucha dureza para quitar las superficies que se encuentren elevadas. Para esto usaremos de dos medidas de 10 cm y 25 cm



**Figura 25** Cuña de Plástico Rígido para desmoldeo (10 cm).



**Figura 26** Cuña de Plástico Rígido para desmoldeo (25 cm)

**Fuente:** (Castro, CastroComposites)

### 3.2.6 Depresores de madera desechables

Esta herramienta se comprara por caja que posee 100 unidades, los cuales son desechables y realizados con madera, su forma es plana totalmente con un espesor de (135 X 17 X 2) mm. El uso que se les dará es para agitar los gelcoats o las resinas, mezclarlos con sus correspondientes catalizadores o endurecedores según se realice las pequeñas mezclas a requerir.

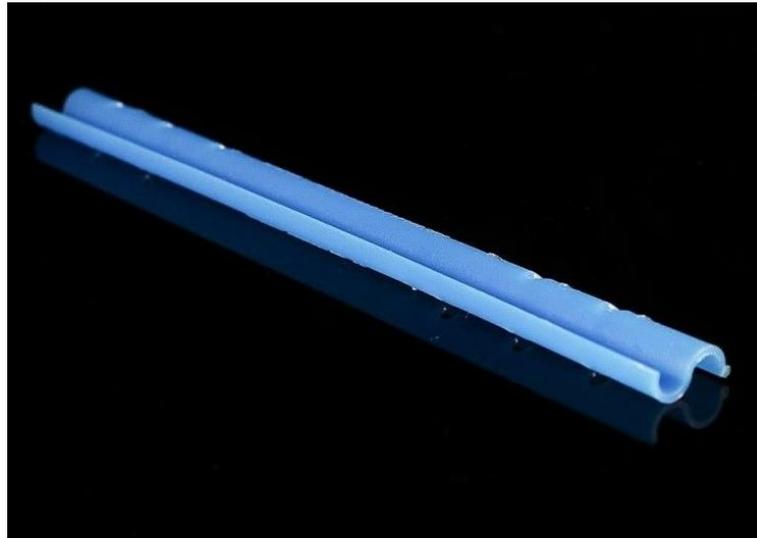


**Figura 27** Depresores de madera desechables

**Fuente:** (Castro, CastroComposites)

### 3.2.7 Varilla Mezcladora

La varilla mezcladora tendrá el mismo uso que los depresores de madera, a diferencias que estos poseen unos pequeños orificios los cuales no permitirán que se queden grumos, estos se lo realiza para mezclas especiales de pinturas, resinas adhesivos, gelcoats, topcoats, masillas. La cantidad de varillas mezcladores que se adquirieron fueron 4 con un tamaño de 20cm.



**Figura 28** Varilla Mezcladora

**Fuente:** (Castro, CastroComposite)

### 3.2.8 Tubo de Poliuretano Flexible

Tubo diseñado para aplicaciones neumáticas, para infusiones y usado como tubo de absorción, se consiguió 5 metros del tubo de poliuretano por si alguna vez se necesita extenderlo o solo cortarlo y usar las porciones que se requiera, a continuación se describirán las propiedades que posee.

#### **Características**

- Diámetro externo: 8 mm
- Diámetro interno: 6 mm
- Espesor: 1 mm
- Radio de cobertura: 25 mm
- Presión de trabajo a 23 °C: 10 Bar
- Presión de explosión a 23 °C: 29 Bar
- Color: azul
- Temperatura de uso: -40 °C - +60 °C



**Figura 29** Tubo de Poliuretano, Ø 8 x 6 mm

**Fuente:** (Castro, CastroComposites)

### 3.2.9 Toma de infusión

Las tomas de infusión tienen diferentes usos y para tener un mejor funcionamiento se han comprado dos.

- **Toma de infusión de 12 mm para canal plano de infusión Diadrain**

Esta toma posee un canal plano de infusión para la resina o también conocido como Diadrain, es perfecto para conexiones de tubos de absorción con un diámetro interno y externo de 10 y 12mm respectivamente.

- **Toma de infusión para Spiralnet**

Empleados en conexiones de tubos de infusión, usándolos para inyectar resina durante procesos de infusión de resinas térmicamente estables. Se lo llama spiralnet debido a la conexión de perfil espiralado con malla de distribución de diámetro interno y externo de 12 y 14 mm respectivamente, la temperatura máximo que logra resistir es de 120°C



**Figura 30** Toma de infusión de 12 Diadrain

**Fuente:** (Castro, CastroComposites)



**Figura 31** Toma de infusión para Spiralnet

**Fuente:** (Castro, CastroComposites)

### 3.2.10 Conjunto de Enchufe Rápido

Existen varios enchufes pero nos basamos en la compra de 2 de ellos ambos con una alta resistencia al calor y con un sellado para que no existan fugas.

- **Conjunto de Enchufe Rápido con Válvula Anti-Retorno**

El enchufe se encuentra realizado de acero de carbono resistente a una temperatura de 210°C se encuentra desarrollado para funcionar a conexiones de mangueras de vacío y contiene un acople macho y otro hembra, ambos de ¼ de pulgada.



**Figura 32** Conjunto de Enchufe Rápido con Válvula Anti-Retorno

**Fuente:** (Castro, CastroComposites)

- **Conjunto de Enchufe Rápido con Válvula Anti-Retorno para conexión de vacío**

El enchufe se encuentra realizado de acero forjado al carbono, de esta manera se logra evitar que en algún momento exista oxidación. Son utilizadas para conectar las mangueras de silicona hacia las mangueras de las válvulas de vacío, para procesos de unión al vacío. Posee una conexión hembra de 1/8 de pulgada y soportando una temperatura de 260°C.

Al momento de separar las mangueras mientras se las usa estas poseen un sistema el cual detiene por completo el flujo de aire, logrando que la bolsa de vacío logre quedar compactada incluso luego de la separación de la manguera. Esto proporciona una gran fiabilidad hacia con los conjuntos de enchufes, además de su facilidad y rapidez de enchufarlos y separarlos.



**Figura 33** Conjunto de Enchufe Rápido para conexión de vacío

**Fuente:** (Castro, CastroComposites)

### **3.2.11 Vaso de Plástico para Mezclas con Tapa**

Vasos de plástico usados para mezclar todo tipo de material compuesto. Resistente contra productos químicos y disolventes. Cada vaso incluye alrededor de una escala volumétrica para mediciones



**Figura 34** Vasos plasticos

**Fuente:** (Castro, CastroComposites)

### 3.2.12 Guantes negros

Los guantes negros tendrán un uso desechable y el mismo será usado al trabajar con mezclas de materiales compuestos.



**Figura 34** Guantes negros

**Fuente:** (Castro, CastroComposites)

### 3.2.13 Bomba de Vacío

Una bomba de vacío utilizara un sistema de succión de alta potencia creando un vacío parcial. Su función es extraer moléculas de gas en un volumen sellado, esta bomba posee las siguientes características:

- Modelo.- 11.VP-1.5
- Free air.- 2.5 CFM
- Ultimate vacuum.- 5PA
- Voltage.- 115V / 60HZ
- Power.- ¼HP
- Oil Capacity.- 220ml.



**Figura 35** Bomba de Vacío

**Fuente:** (Castro, CastroComposites)

### 3.2.14 Mini tolos kit set

Es un kit compuesto con pequeñas herramientas para realizar cortes pequeños o corregir pequeñas fallas con multi usos. Son ideales para cortar, limpiar, pulir, cavar.

### 3.3 Diseño y Construcción

Para el proceso de diseño y construcción se usara el programa de software CAD –CAE y “Fusion 3D” que es un programa en el cual se puede realizar cálculos estructuras mediante la fabricación un componente en base a las necesidades requeridas por el usuario. Anexo A.

### 3.4 Costos

La tabla a continuación representa los costos de los equipos implementados para la elaboración del trabajo de titulación para detalles de gastos se encuentran en el Anexo C las facturas correspondientes.

RECURSOS	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
Equipos de protección personal	1	\$ 50,00	\$ 50,00
Diseño de Planos	2	\$ 50,00	\$ 100,00
Adquisición de Software CAD - CAE	1	\$50,00	\$50,00
Materiales requeridos para la construcción	1	\$600,00	\$600,00
Equipos necesarios para la elaboración	1	\$500,00	\$500,00
Alimentación	5 meses	\$50,00	\$250,00
Transporte	5 meses	\$20,00	\$100,00
Impresiones	200	\$0,15	\$30,00
<b>TOTAL:</b>			<b>\$1680.00</b>

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- Se logró reunir información en base a tesis, documentos y ensayos sobre vehículos aéreos no tripulados. Con la información que se obtuvo se determinó el material adecuado para el uso de diseño y construcción
- Se desarrollaron los planos mediante software CAD- CAE prototipando la hélice y para su análisis de resistencia estructural se usó fibra de carbono que es un composite.
- Se implementó un kit de reparación y mantenimiento de materiales compuestos con el cual se pueda reproducir y rediseñar el modelo de la hélice planteada.

#### 4.2 Recomendaciones

- Al momento de la recopilación de información asegurar que los sitios sean confiables y buscar de acuerdo al modelo de pala que en este proyecto de titulación es un tripala.
- El prototipado de la hélice debe ser realizado de acuerdo a medidas, de preferencia usar un pie de rey que es lo más confiable hacia mediciones pequeñas o milimetradas como es en este caso.
- Al momento del uso del kit de reparación o mantenimiento de materiales compuesto asegurarse de leer las instrucciones y modo de uso, el uso adecuado de EPP para protección antes cualquier disolvente.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Defensa Nacional. (22 de Enero de 2015). Recuperado el 21 de Marzo de 2018, de Ministerio de Defensa Nacional: <http://www.defensa.gob.ec/aviacion-del-ejercito-comprometida-con-el-pueblo-ecuatoriano/>
- Alibaba. (2018). Recuperado el 28 de Mayo de 2018, de Alibaba: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/gr5-titanium-hex-flange-bolts-with-hole-for-motorcycle-60806753674.html>
- Anónimo. (14 de Noviembre de 2010). Aerotecnología. Recuperado el 30 de Mayo de 2018, de Materiales Espaciales: <http://ionizado.blogspot.com/2010/11/materiales-espaciales.html>
- Anónimo. (11 de junio de 2017). infoRepuesto. Recuperado el 05 de junio de 2018, de infoRespuesto: <http://inforepuesto.com/como-funcionan-y-vuelan-los-drones/>
- Anónimo. (2018). toptechservices. Recuperado el 29 de Mayo de 2018, de toptechservices: <http://www.toptechservices.co/Juego-de-h%C3%A9lice-de-fibra-de-vidrio-MYWING-5045-Triblade-de-nylon-Dise%C3%B1o-aerodin%C3%A1mico-para-180-250mm-FPV-Racing-Multirotores-Aficiones-y-Juguetes-Radio-Control-Colormix-00100-kg-7vZfBYxn-p-4425.html>
- Anónimo. (SF). Muy interesante. Recuperado el 30 de mayo de 2018, de Muy interesante: <https://www.muyinteresante.es/curiosidades/preguntas-respuestas/¿que-es-el-kevlar>
- Caro, A. G. (28 de 05 de 2006). Obtenido de Rediseño de Ingeniería de una hélice de paso variable para un aerodeslizador ruso: [http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/1732/1/desarrollo\\_metodologia\\_diseno\\_ardila\\_2011.pdf](http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/1732/1/desarrollo_metodologia_diseno_ardila_2011.pdf)
- Castro, R. (s.f.). CastroComposite. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de [https://www.castrocompositesshop.com/es/herramientas-utensilios/1572-varilla-mezcladora.html#/180-tama%C3%B1o-1\\_unidad](https://www.castrocompositesshop.com/es/herramientas-utensilios/1572-varilla-mezcladora.html#/180-tama%C3%B1o-1_unidad)
- Castro, R. (s.f.). CastroComposites. Recuperado el 11 de Agosto de 2018, de [https://www.castrocompositesshop.com/es/herramientas-utensilios/1564-conjunto-de-4-esp%C3%A1tulas-met%C3%A1licas.html?search\\_query=+Espatulas+Metalicas&results=1](https://www.castrocompositesshop.com/es/herramientas-utensilios/1564-conjunto-de-4-esp%C3%A1tulas-met%C3%A1licas.html?search_query=+Espatulas+Metalicas&results=1)
- Castro, R. (s.f.). CastroComposites. Recuperado el 11 de Agosto de 2018, de

[https://www.castrocompositesshop.com/es/herramientas-utensilios/1481-cuna-plastica-para-desmoldeo.html?search\\_query=cuna+de&results=1#/354-tama%C3%B1o-25\\_cm](https://www.castrocompositesshop.com/es/herramientas-utensilios/1481-cuna-plastica-para-desmoldeo.html?search_query=cuna+de&results=1#/354-tama%C3%B1o-25_cm)

Castro, R. (s.f.). CastroComposites. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de <https://www.castrocompositesshop.com/es/herramientas-utensilios/1483-caja-de-depresores-de-madera-para-agitacion.html>

Castro, R. (s.f.). CastroComposites. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de [https://www.castrocompositesshop.com/es/tecnologia-de-vacio/1693-tubo-de-poliuretano-flexible-%C3%B8-8-x-6-mm.html#/153-tama%C3%B1o-1\\_m](https://www.castrocompositesshop.com/es/tecnologia-de-vacio/1693-tubo-de-poliuretano-flexible-%C3%B8-8-x-6-mm.html#/153-tama%C3%B1o-1_m)

Castro, R. (s.f.). CastroComposites. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de [https://www.castrocompositesshop.com/es/buscar?controller=search&orderby=position&orderway=desc&search\\_query=Toma+de+infusi%C3%B3n&submit\\_search=](https://www.castrocompositesshop.com/es/buscar?controller=search&orderby=position&orderway=desc&search_query=Toma+de+infusi%C3%B3n&submit_search=)

Castro, R. (s.f.). CastroComposites. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de [https://www.castrocompositesshop.com/es/materiales-de-vac%C3%ADo/1390-conjunto-de-enchufe-r%C3%A1pido-con-v%C3%A1lvula-anti-retorno-qac62-de-14-qac82-m-14.html?search\\_query=Conjunto+de+Enchufe+Rápido&results=3](https://www.castrocompositesshop.com/es/materiales-de-vac%C3%ADo/1390-conjunto-de-enchufe-r%C3%A1pido-con-v%C3%A1lvula-anti-retorno-qac62-de-14-qac82-m-14.html?search_query=Conjunto+de+Enchufe+Rápido&results=3)

Castro, R. (s.f.). CastroComposites. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de [https://www.castrocompositesshop.com/es/herramientas-utensilios/1571-vaso-de-pl%C3%A1stico-para-mezclas-con-tapa.html#/420-tama%C3%B1o-300\\_ml](https://www.castrocompositesshop.com/es/herramientas-utensilios/1571-vaso-de-pl%C3%A1stico-para-mezclas-con-tapa.html#/420-tama%C3%B1o-300_ml)

Castro, R. (s.f.). CastroComposites. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de [https://www.castrocompositesshop.com/es/herramientas-utensilios/1571-vaso-de-pl%C3%A1stico-para-mezclas-con-tapa.html#/420-tama%C3%B1o-300\\_ml](https://www.castrocompositesshop.com/es/herramientas-utensilios/1571-vaso-de-pl%C3%A1stico-para-mezclas-con-tapa.html#/420-tama%C3%B1o-300_ml)

CLipCarbono. (s.f.). Recuperado el 11 de Agosto de 2018, de ClipCarbono: [https://www.clipcarbono.com/es/herramientas-y-consumibles/1391-buzo-blanco-de-proteccion-3m-4545-talla-l-vacio.html?search\\_query=Buzo+blanco+de+proteccion+3M%E2%84%A2+4545+--+Talla+L&results=5](https://www.clipcarbono.com/es/herramientas-y-consumibles/1391-buzo-blanco-de-proteccion-3m-4545-talla-l-vacio.html?search_query=Buzo+blanco+de+proteccion+3M%E2%84%A2+4545+--+Talla+L&results=5)

ClipCarbono. (s.f.). ClipCarbono. Recuperado el 11 de Agosto de 2018, de ClipCarbono: <https://www.clipcarbono.com/es/herramientas-y->

- consumibles/273-tijeras-microserradas-y-asistidas-especiales-para-cortar-kevlar-y-carbono.html?search\_query=Tijeras+microserradas+y+asistidas%2C+especiales+para+cortar+Kevlar+y+Carbono&results=1
- ClipCarbono. (s.f.). ClipCarbono. Recuperado el 11 de Agosto de 2018, de ClipCarbono: [https://www.clipcarbono.com/es/herramientas-y-consumibles/1287-cuter-circular-olfa-60mm-vacio.html?search\\_query=%09Cuter+circular+OLFA+28+mm.&results=6](https://www.clipcarbono.com/es/herramientas-y-consumibles/1287-cuter-circular-olfa-60mm-vacio.html?search_query=%09Cuter+circular+OLFA+28+mm.&results=6)
- F., R. C. (13 de septiembre de 2011). SlideShare. Recuperado el 27 de Mayo de 2018, de SlideShare: <https://es.slideshare.net/raecabrera/capitulo-4-materiales-compuestos-9247042>
- FREISSINET, S. (Octubre de 2011). vandaair. Recuperado el mayo de 2018, de vandaair: <https://vandaair.com/2014/04/14/the-use-of-composites-in-aircraft-construction/>
- Fukuhara, R. T. (Junio de 2015). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. Recuperado el 02 de Junio de 2018, de Facultad de Ciencias e Ingeniería : [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/6105/TABUCHI\\_RUBEN\\_DISE%C3%91O\\_VEHICULO\\_AEREO.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/6105/TABUCHI_RUBEN_DISE%C3%91O_VEHICULO_AEREO.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- González, D. D. (11 de Agosto de 2015). MasScience. Recuperado el 02 de Junio de 2018, de MasScience: <https://www.masscience.com/2015/08/11/2051/>
- Maricela, Q. C. (2015). Reparacion de los carenajes del helicóptero Gazelle SA 342L, utilizando materiales compuestos en el taller de estructuras del Centro de Mantenimiento de Aviacion del Ejercito. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- MARTÍN, P. R. (S.f). Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73170/RUIP%C3%89REZ%20-%20Dise%C3%B1o%20y%20fabricaci%C3%B3n%20de%20un%20dron%20mediante%20impresi%C3%B3n%203D.pdf?sequence=5>
- Milton, M. M. (2013). Repositorio Espe. Recuperado el 29 de Mayo de 2018, de Repositorio Espe: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/7310/T-ESPE->

ITSA-000002.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Muñoz, M. A. (SF). Manual de Vuelo. Recuperado el 05 de junio de 2018, de Manual de Vuelo: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>

Muñoz, M. A. (SF). Manual de Vuelo. Recuperado el 05 de junio de 2018, de Manual de Vuelo: <http://www.manualvuelo.com/PBV/PBV13.html>

Pérez, F. J. (Julio de 2014). Masterperuvian. Recuperado el 15 de Junio de 2018, de Masterperuvian: <https://masterperuvian.files.wordpress.com/2012/06/lectura-2.pdf>

Reche, A. (22 de Abri de 2009). estructuras principales del avion. Recuperado el 28 de Mayo de 2018, de <file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Estructuras%20principales%20del%20avi%C3%B3n.pdf>

Stupenengo, F. (2011). Instituto Nacional de Educacion Tecnologica - Argentina. Recuperado el 27 de Mayo de 2018, de Instituto Nacional de Educacion Tecnologica - Argentina: <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>

# ANEXOS

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ANEXO A: Diseño y construcción

ANEXO B: “Manual de Operación”

ANEXO C: Manual de Mantenimiento”

ANEXO D “Manual de Seguridad”

# ANEXO A

## Diseño y construcción

### ANEXO A:

### Diseño y construcción

## Estudio de cargas perfil aerodinámico



Analyzed File	Perfil alar v1
Version	Autodesk Fusion 360 (2.0.4114)
Creation Date	2018-08-16, 15:42:29
Author	Esteban Sánchez

#### Project Properties

Title	Studies
Author	Acer

#### Simulation Model 1:1

##### Study 2 - Static Stress

##### Study Properties

Study Type	Static Stress
Last Modification Date	2018-08-16, 15:23:03

##### Settings

##### General

Contact Tolerance	0.1 mm
Remove Rigid Body Modes	No

##### Mesh

Average Element Size (% of model size)	
- Solids	10
Scale Mesh Size Per Part	No
Average Element Size (absolute value)	-
Element Order	Parabolic
Create Curved Mesh Elements	Yes
Max. Turn Angle on Curves (Deg.)	60
Max. Adjacent Mesh Size Ratio	1.5
Max. Aspect Ratio	10
Minimum Element Size (% of average size)	20

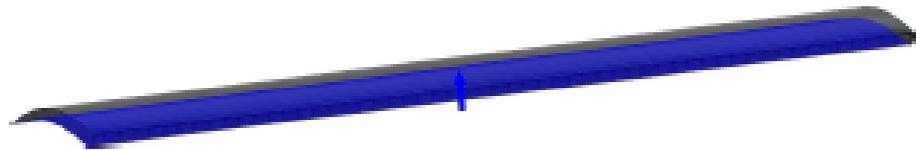
##### Adaptive Mesh Refinement

Number of Refinement Steps	0
Results Convergence Tolerance (%)	20
Portion of Elements to Refine (%)	10
Results for Baseline Accuracy	Von Mises Stress

##### Materials

Component	Material	Safety Factor
Body1	CFRP	Yield Strength

☐ Selected Entities



☐ Results

☐ Result Summary

Name	Minimum	Maximum
Safety Factor		
Safety Factor (Per Body)	4.535	15
Stress		
Von Mises	0.003382 MPa	66.15 MPa
1st Principal	-36.34 MPa	103 MPa
2nd Principal	-38.7 MPa	34.09 MPa
Normal XX	-37.87 MPa	83.59 MPa
Normal YY	-37.2 MPa	53.57 MPa
Normal ZZ	-37.06 MPa	53.46 MPa
Shear XY	-12.98 MPa	9.17 MPa
Shear YZ	-3.408 MPa	3.84 MPa
Shear ZX	-28.12 MPa	8.763 MPa
Displacement		
Total	0 mm	0.6337 mm
X	-0.01791 mm	0.01119 mm
Y	-2.264E-04 mm	0.6162 mm
Z	-0.1474 mm	9.015E-04 mm
Reaction Force		
Total	0 N	125.2 N
X	-77.29 N	82.1 N
Y	-79.52 N	109 N
Z	-33.15 N	18.63 N
Strain		
Equivalent	3.516E-08	7.905E-04
1st Principal	3.223E-08	8.236E-04
2nd Principal	-5.089E-04	-3.488E-08
Normal XX	-2.773E-04	4.761E-04
Normal YY	-2.307E-04	1.609E-04
Normal ZZ	-1.812E-04	6.76E-05
Shear XY	-2.713E-04	1.917E-04
Shear YZ	-7.123E-05	8.026E-05
Shear ZX	-3.878E-04	1.832E-04

**ANEXO B**  
**Manual de Operación**

	<b>ANEXO B: MANUAL DE OPERACIÓN</b>	<b>PÁG.: 01</b> <b>DE 03</b>
	<b>MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA FABRICAR PARTES DE FIBRA DE CARBONO MOLDEADO AL VACÍO</b>	<b>CÓDIGO:</b> <b>EMC-MD-006</b>
	<b>ELABORADO POR: SÁNCHEZ ZAPATA HÉCTOR ESTEBAN</b>	<b>REVISIÓN: 001</b>
	<b>APROBADO POR: CRISTIAN EDWAR DÍAZ</b>	<b>FECHA:</b> <b>06/09/2018</b>

### 1. OBJETIVO

Documentar los procedimientos para la elaboración de partes en fibra de carbono por moldeo al vacío.

#### ALCANCE

Instruir a los usuarios sobre el correcto uso de EPP antes de iniciar cualquier actividad con los materiales compuestos de moldeo al vacío, así como también contribuir con el estudio y aprendizaje de la fabricación de estructuras aeronáutica, para los estudiantes.

### 2. HERRAMIENTAS Y MATERIALES

1. Buzo blanco de protección
2. Tijeras especiales para cortar materiales compuestos.
3. Espátulas metálicas.
4. Cuffas de plástico
5. Depresores
6. Tomas de infusión
7. Enchufes rápido
8. Varilla mezcladora
9. Tubo de poliuretano.

**ANEXO C**  
**Manual de Mantenimiento**

	<b>ANEXO C: MANUAL DE MANTENIMIENTO</b>	<b>PÁG.: 01</b> <b>DE 01</b>
	<b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS PARA USO CON MATERIALES COMPUESTOS</b>	<b>CÓDIGO:</b> <b>EMC-MD-</b> <b>006</b>
	<b>ELABORADO POR: SÁNCHEZ ZAPATA HÉCTOR ESTEBAN</b>	<b>REVISIÓN:</b> <b>001</b>
	<b>APROBADO POR: CRISTIAN EDUAR DÍAZ</b>	<b>FECHA:</b> <b>06/09/2018</b>
<p><b>1. OBJETIVO</b></p> <p>Mantener las herramientas y componentes para trabajo con materiales compuestos libre de cualquier agente externo que pueda dañarlos para así poder preservar y alargar la vida útil de los mismos.</p> <p><b>2. ALCANCE</b></p> <p>Preservar de la mejor manera los componentes y equipos.</p> <p><b>3. HERRAMIENTAS Y MATERIALES</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Limpieza con guantes de vinil.</li><li>2. <del>Wipe</del>.</li></ol> <p><b>4. MANTENIMIENTO SEMESTRAL</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Limpiar los componentes con alcohol y dejarlos secar al aire libre.</li><li>2. Limpiar con cuidado la bomba de <del>vacio</del> que no tenga ningún objeto extraño por dentro.</li><li>3. Dejar en lugares frescos.</li></ol> <p><b>5. MANTENIMIENTO ANUAL</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Limpieza de componentes de la bomba de <del>vacio</del>.</li><li>2. Instalar bolsas de gel de silicio nuevas</li><li>3. Cerrar la funda y almacenar en un lugar fresco y seco.</li></ol>		

**ANEXO D**  
**Manual de Seguridad**

	<b>ANEXO D: MANUAL DE SEGURIDAD</b>	<b>PÁG.: 01</b> <b>DE 01</b>
	<b>HERRAMIENTAS Y EQUIPOS PARA</b> <b>USO CON MATERIALES COMPUESTOS</b>	<b>CÓDIGO:</b> <b>EMC-MD-</b> <b>006</b>
	<b>ELABORADO POR: SÁNCHEZ ZAPATA</b> <b>HÉCTOR ESTEBAN</b>	<b>REVISIÓN:</b> <b>001</b>
	<b>APROBADO POR: CRISTIAN EDUAR</b> <b>DÍAZ</b>	<b>FECHA:</b> <b>06/09/2018</b>
<p><b>1. OBJETIVO</b></p> <p>Prevenir que los componentes de uso para materiales compuestos entren en contacto con distintos agentes que puedan dañar su funcionalidad y pongan en peligro la vida útil del componente.</p> <p><b>2. ALCANCE</b></p> <p>Minimizar los daños que pueden ocurrir al momento de usar los componentes.</p> <p><b>3. PROCEDIMIENTO</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Evitar el contacto con sustancias inadecuadas cuando se encuentre operando el componente.</li><li>2. Conectar los componentes de acuerdo al manual de operación.</li><li>3. No forzar el componente para evitar la ruptura del mismo.</li><li>4. Limpiar los componentes antes de uso</li><li>5. Verificar que no existan roturas alrededor de la bomba de vacío.</li><li>6. No utilizar el componente en días lluviosos.</li><li>7. Mantener los componentes en un lugar fresco y seco.</li></ol>		