



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS**

**Rehabilitación estructural de vehículos aéreos no tripulados aeroplano LY7 Y BX-04/SB-01 con radio control pertenecientes al taller de aeromodelismo de la Unidad de Gestión de Tecnologías**

Quevedo Narváez, Carlos Josué

Departamento de Ciencias Espaciales

Carrera de Tecnología en Mecánica Aeronáutica Mención Aviones

Monografía, previa a la obtención del título de Tecnólogo en Mecánica mención Aviones

Tlga. Zabala Cáceres, Emmy Samantha

Septiembre, 2020



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA**

**MENCIÓN AVIONES**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que la monografía, **“REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS AEROPLANO LY7 Y BX-04/SB-01 CON RADIO CONTROL PERTENECIENTES AL TALLER DE AEROMODELISMO DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS”**, fue realizado por el señor **QUEVEDO NARVÁEZ, CARLOS JOSUÉ**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 07 de Septiembre del 2020



---

**TLGA. ZABALA CÁCERES, EMMY SAMANTHA**

C.C.: 1500636889



## Urkund Analysis Result

Analysed Document: URKUND QUEVEDO JOSUE.docx (D78629719)  
Submitted: 9/4/2020 10:01:00 PM  
Submitted By: cjquevedo@espe.edu.ec  
Significance: 4 %

### Sources included in the report:

<https://repositorio.upct.es/xmlui/bitstream/handle/10317/3556/pfc5427.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

### Instances where selected sources appear:

8

A small, circular blue stamp or signature, possibly a date or a mark, located in the middle of the page.

A large, handwritten signature in blue ink, appearing to read "Carlos Josue Quevedo Narváez".

---

QUEVEDO NARVÁEZ, CARLOS JOSUE  
C.C.: 1726847294



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES**

**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA**

**MENCIÓN AVIONES**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo, **QUEVEDO NARVÁEZ, CARLOS JOSUÉ**, con cedula de ciudadanía N° **172684729-4**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS AEROPLANO LY7 Y BX-04/SB-01 CON RADIO CONTROL PERTENECIENTES AL TALLER DE AEROMODELISMO DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 07 de Septiembre del 2020



---

**QUEVEDO NARVÁEZ, CARLOS JOSUÉ**  
C.C.: 1726847294



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS ESPACIALES**

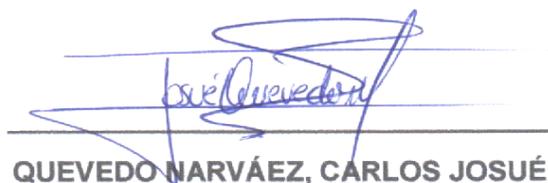
**CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA**

**MENCIÓN AVIONES**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo, **QUEVEDO NARVÁEZ, CARLOS JOSUÉ**, con cedula de ciudadanía N° **172684729-4**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la presente monografía: **“REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS AEROPLANO LY7 Y BX-04/SB-01 CON RADIO CONTROL PERTENECIENTES AL TALLER DE AEROMODELISMO DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 07 de Septiembre del 2020



**QUEVEDO NARVÁEZ, CARLOS JOSUÉ**

C.C.: 1726847294

## DEDICATORIA

En primera instancia, quiero dedicar mi trabajo de titulación descrito en el presente documento, a Dios por darme cada día vida y fuerza para seguir adelante y con su bendición ayudarme a cumplir una meta más en mi vida, a mis padres Carlos y Gabriela, que han sido siempre fuente de inspiración y apoyo en mi vida para no desistir en este largo y duro camino de mi carrera universitaria y a quienes les debo muchos de mis logros, incluyendo este, a mi sobrina Paula, que le sirva de inspiración para que cumpla su sueño de ser profesional, a mi hijo Adrián a quien es y será mi nueva fuente de motivación para lograr los objetivos propuestos a futuro.

QUEVEDO NARVÁEZ, CARLOS JOSUÉ

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de realizar este trabajo de titulación, a mi familia y compañeros que me extendieron su mano cuando lo necesite, a mis docentes, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro, especialmente a quien fue mi tutor y guía para el desarrollo del mismo, Tlga. Samantha Zabala, de igual manera a aquellas personas que mostraron interés durante mi trayecto de estudios superiores.

Gratitud a mis padres porque me han dejado la mejor herencia en la vida que son mis estudios, por formar la persona que hoy en día soy, con valores y principios, a mi padre que con las experiencias de la vida ha sabido guiarme y a mi madre que con su amor incondicional me motivaban para alcanzar este título tan anhelado. A mis hermanos, que con su gran corazón y su preocupación, me motivaron y ayudaron a cubrir mis necesidades.

A mi hijo y pareja, por la paciencia, la comprensión y el apoyo moral para el desarrollo de este trabajo, que comprendan que el esfuerzo y de la dedicación nos proyectará hacia un futuro lleno de bendiciones y de sueños cumplidos.

QUEVEDO NARVÁEZ, CARLOS JOSUÉ

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARÁTULA.....</b>	<b>1</b>
<b>CERTIFICACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>URKUND.....</b>	<b>3</b>
<b>RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA.....</b>	<b>4</b>
<b>AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....</b>	<b>5</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>6</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>8</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>11</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>12</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>16</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Antecedentes.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2 Planteamiento del problema .....</b>	<b>17</b>
<b>1.3 Justificación .....</b>	<b>17</b>
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>18</b>
1.4.1 Objetivo general.....	18
1.4.2 Objetivos específicos .....	18
<b>1.5 Alcance .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>20</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1 Aeromodelos .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 Categorías.....</b>	<b>20</b>
2.2.1 Categoría F1: Vuelo libre .....	21
2.2.2 Categoría F2: Vuelo circular.....	22
2.2.3 Categoría F3: Vuelo Radio controlado.....	23
2.2.4 Categoría F4: Maquetas .....	25
2.2.5 Categoría F5: Vuelo con motor eléctrico.....	26
2.2.6 Vuelo Interiores .....	27
2.2.7 FPV.....	28
2.2.8 UAV (Vehículo Aéreo No Tripulado) .....	28

<b>2.3</b>	<b>Materiales .....</b>	<b>29</b>
2.3.1	No metálicos.....	30
2.3.2	Metálicos .....	32
2.3.3	Materiales Auxiliares .....	34
<b>2.4</b>	<b>Componentes básicos del aeromodelo.....</b>	<b>36</b>
2.4.1	Motor.....	36
2.4.2	Emisor .....	38
2.4.3	Receptor .....	39
2.4.4	Servomotores o servos .....	40
2.4.5	Baterías.....	41
2.4.6	Varillas (pushrod) .....	42
2.4.7	Radiocontrol .....	43
<b>2.5</b>	<b>Frecuencias permitidas de vuelo.....</b>	<b>45</b>
<b>2.6</b>	<b>Configuración electrónica .....</b>	<b>45</b>
<b>2.7</b>	<b>Simulador de vuelo RC.....</b>	<b>46</b>
2.7.1	PhoenixSim .....	47
2.7.2	PicaSim .....	48
2.7.3	Real Flight .....	49
<b>2.8</b>	<b>Sustentación Legal .....</b>	<b>50</b>
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>51</b>	
<b>3. DESARROLLO DEL TEMA .....</b>	<b>51</b>	
<b>3.1</b>	<b>Inspección estructural de aeromodelos.....</b>	<b>51</b>
3.1.1	Traslado de aeromodelos .....	52
3.1.2	Desmontaje de alas .....	52
3.1.3	Desmontaje de motores.....	53
<b>3.2</b>	<b>Rehabilitación estructural del aeromodelo BX04/SB-01.....</b>	<b>55</b>
3.2.1	Inspección de fuselaje .....	55
3.2.2	Reforzamiento estructural de la cabina .....	56
3.2.3	Corrección de grietas en fuselaje .....	57
3.2.4	Alisado de fuselaje y estabilizadores .....	58
3.2.5	Recubrimiento de fuselaje.....	58
3.2.6	Remoción de bisagras de nylon .....	59
3.2.7	Reparación de costillas .....	60
3.2.8	Alisado de superficie alar .....	61
3.2.9	Perfilamiento de superficies móviles.....	62
3.2.10	Recubrimiento de ala y superficies móviles .....	63
3.2.11	Instalación de bisagras .....	64
3.2.12	Ensamblaje de alerones .....	65
3.2.13	Instalación de servos.....	66
3.2.14	Enlace transmisor - receptor .....	67
3.2.15	Alineación de controles de vuelo .....	69
3.2.16	Desmontaje y chequeo estructural de la hélice.....	70

3.2.17	Mantenimiento del motor .....	71
3.2.18	Cambio de control horn .....	72
3.2.19	Cambio de tanque de combustible .....	73
3.2.20	Montaje y aseguramiento del ala .....	74
3.2.21	Prueba operacional de motor del aeromodelo BX-04-SB01 .....	75
3.2.22	Prueba de vuelo. ....	76
<b>3.3</b>	<b>Rehabilitación estructural aeromodelo LY7 .....</b>	<b>77</b>
3.3.1	Inspección de fuselaje y alas .....	77
3.3.2	Corrección de fisuras externas e internas .....	77
3.3.3	Recubrimiento de fuselaje.....	78
3.3.4	Reparación de costillas .....	78
3.3.5	Perfilamiento de superficies móviles.....	79
3.3.6	Recubrimiento de ala y controles de vuelo .....	80
3.3.7	Chequeo de servos y control horn.....	81
3.3.8	Alineación de controles de vuelo .....	82
3.3.9	Mantenimiento del motor .....	83
3.3.10	Prueba operacional de controles de vuelo de aeromodelo LY7 .....	85
<b>3.4</b>	<b>Pruebas operacionales del aeromodelo .....</b>	<b>86</b>
<b>3.5</b>	<b>Simulador .....</b>	<b>88</b>
<b>3.6</b>	<b>Instalación del simulador.....</b>	<b>89</b>
3.6.1	Hardware.....	89
3.6.2	Instalación de software .....	90
3.6.3	Calibración de R/C .....	91
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>.....</b>	<b>92</b>
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>92</b>
4.1	Conclusiones .....	92
4.2	Recomendaciones .....	93
4.3	Glosario .....	94
4.4	Tabla de costos .....	95
4.4.1	Costos primarios.....	95
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>.....</b>	<b>97</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>.....</b>	<b>98</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Componentes para la instalación del software</i> .....	90
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Vuelo Libre</i> .....	21
<b>Figura 2</b> <i>Vuelo Circular</i> .....	22
<b>Figura 3</b> <i>Vuelo Radiocontrolado</i> .....	24
<b>Figura 4</b> <i>Maquetas</i> .....	25
<b>Figura 5</b> <i>Vuelo con motor eléctrico</i> .....	26
<b>Figura 6</b> <i>Vuelo interiores</i> .....	27
<b>Figura 7</b> <i>Vuelo FPV</i> .....	28
<b>Figura 8</b> <i>Materiales no metálicos</i> .....	32
<b>Figura 9</b> <i>Materiales metálicos</i> .....	34
<b>Figura 10</b> <i>Materiales auxiliares</i> .....	36
<b>Figura 11</b> <i>Motor combustión interna</i> .....	37
<b>Figura 12</b> <i>Emisor</i> .....	39
<b>Figura 13</b> <i>Receptor</i> .....	40
<b>Figura 14</b> <i>Servomotores</i> .....	41
<b>Figura 15</b> <i>Baterías</i> .....	42
<b>Figura 16</b> <i>Varillas pushrod</i> .....	43
<b>Figura 17</b> <i>Simulador PhoenixRC</i> .....	48
<b>Figura 18</b> <i>Pica Sim</i> .....	48
<b>Figura 19</b> <i>RealFlight Simulator</i> .....	49
<b>Figura 20</b> <i>Traslado de aeromodelos</i> .....	52
<b>Figura 21</b> <i>Desmontaje de alas</i> .....	53
<b>Figura 22</b> <i>Desmontaje de motores</i> .....	54
<b>Figura 23</b> <i>Inspección del fuselaje</i> .....	55
<b>Figura 24</b> <i>Reforzamiento estructural de la cabina</i> .....	56
<b>Figura 25</b> <i>Corrección de fisuras y grietas del fuselaje</i> .....	57
<b>Figura 26</b> <i>Retiro de exceso de masilla en fuselaje y estabilizadores</i> .....	58
<b>Figura 27</b> <i>Recubrimiento de fuselaje</i> .....	59
<b>Figura 28</b> <i>Bisagras nuevas para posterior instalación</i> .....	60
<b>Figura 29</b> <i>Reparación de costillas fisuradas</i> .....	61
<b>Figura 30</b> <i>Alisado de intrados y extrados del ala</i> .....	62
<b>Figura 31</b> <i>Perfilamiento de controles de vuelo</i> .....	63
<b>Figura 32</b> <i>Recubrimiento de ala con monokote</i> .....	64
<b>Figura 33</b> <i>Instalación de bisagras</i> .....	65
<b>Figura 34</b> <i>Ensamblaje de alerones</i> .....	66
<b>Figura 35</b> <i>Instalación de servos</i> .....	67
<b>Figura 36</b> <i>Enlace transmisor - receptor</i> .....	69
<b>Figura 37</b> <i>Alineación de controles de vuelo</i> .....	70
<b>Figura 38</b> <i>Chequeo de hélice</i> .....	71
<b>Figura 39</b> <i>Mantenimiento del motor</i> .....	72
<b>Figura 40</b> <i>Cambio de seguros de varilla pushrod</i> .....	73
<b>Figura 41</b> <i>Tanque de combustible</i> .....	74

<b>Figura 42</b> <i>Sujeción del ala al fuselaje</i> .....	75
<b>Figura 43</b> <i>Arranque del motor</i> .....	76
<b>Figura 44</b> <i>Prueba de vuelo</i> .....	76
<b>Figura 45</b> <i>Inspección visual</i> .....	77
<b>Figura 46</b> <i>Corrección de fisuras</i> .....	78
<b>Figura 47</b> <i>Reparación de costillas</i> .....	79
<b>Figura 48</b> <i>Nivelación de la superficie</i> .....	80
<b>Figura 49</b> <i>Recubrimiento del ala y superficies móviles</i> .....	81
<b>Figura 50</b> <i>Inspección de servos y cambio de control horn</i> .....	82
<b>Figura 51</b> <i>Alineación controles de vuelo</i> .....	83
<b>Figura 52</b> <i>Mantenimiento del motor</i> .....	85
<b>Figura 53</b> <i>Aeromodelo LY7 rehabilitado</i> .....	86
<b>Figura 54</b> <i>Simulador PhoenixRC</i> .....	89

## RESUMEN

Este proyecto está centrado en explicar los pasos a seguir para la rehabilitación estructural de aeromodelos pertenecientes a la Unidad de Gestión de Tecnologías “ESPE”, la reparación de materiales utilizados en la construcción de los mismos, la rehabilitación del sistema electrónico que poseen y el mantenimiento respectivo que se debe aplicar a los motores empleados en este tipo de aeronaves. Esta rehabilitación incluye la exposición del uso de componentes extras como la instalación y ajuste de un software simulador de vuelo que permite trabajar y experimentar con aviones entrenadores de características similares a los modelos rehabilitados, la calibración y enlace de un radiocontrol que será empleado en el software simulador como en los modelos rehabilitados, a fin de complementar el trabajo realizado en las aeronaves. Todos los procedimientos de restauración estructural, se especifican en el desarrollo de cada una de las tareas que se realizan durante la rehabilitación de estos aeromodelos, la instalación de software y calibración de R/C poseen manuales donde se explica detalladamente los pasos a seguir y las precauciones que se deben tomar.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **AEROMODELOS**
- **REPARACIÓN ESTRUCTURAL**
- **SIMULADOR DE VUELO**
- **RADIOCONTROL**

## **ABSTRACT**

This project is focused on explaining the steps to be followed for the structural rehabilitation of aeromodels belonging to the Technology Management Unit "ESPE", the repair of materials used in their construction, the rehabilitation of the electronic system they have and the respective maintenance to be applied to the engines used in this type of aircraft. This rehabilitation includes the exposure of the use of extra components such as the installation and adjustment of a flight simulator software that allows working and experimenting with training aircrafts with similar characteristics to the rehabilitated models, the calibration and connection of a radio control that will be used in the simulator software as in the rehabilitated models, in order to complement the work done in the aircrafts. All the procedures of structural restoration, are specified in the development of each one of the tasks that are made during the rehabilitation of these aeromodels, the installation of software and calibration of R/C have manuals where it is explained in detail the steps to follow and the precautions that must be taken.

- **KEYWORDS:**
- **AEROMODELS**
- **STRUCTURAL REPAIR**
- **FLIGHT SIMULATOR**
- **RADIOCONTROL**

## CAPÍTULO I

### 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Antecedentes

El aeromodelismo ha sido una actividad que se va realizando desde hace más de 60 años a nivel mundial, pero debido a la falta de tecnología, no se desarrollaron aeromodelos como los que podemos apreciar en la actualidad. Esta actividad ya no tiene como fin únicamente crear modelos nuevos o a escala, ya que una aeronave no tripulada ha permitido desarrollar vuelos de recreación, de forma competitiva y últimamente es usado como una herramienta que permita acceder a zonas de difícil acceso.

La carrera de Mecánica Aeronáutica, ha considerado la importancia de contar con aeromodelos dentro de la misma, que permitan obtener conocimientos de esta rama de la aviación a los estudiantes. Por ello se crea el taller de aeromodelismo, el cual con ayuda de docentes y estudiantes se ha ido potenciando y de esa manera aportar al crecimiento de la carrera como tal.

Es importante que se mantenga el taller de aeromodelismo dentro de la carrera y es por eso que este proyecto busca retomar el mismo mediante un simulador y la rehabilitación de dos aeromodelos pertenecientes al taller de aeromodelismo que permita tanto a docentes como estudiantes entrenar y de esa manera se pueda desarrollar habilidades que se pueden transmitir a las siguientes generaciones.

## **1.2 Planteamiento del problema**

En el Ecuador el aeromodelismo ha ido ganando espacio y ganando seguidores, el avance tecnológico ha permitido que se creen grupos de aeromodelismo en distintas ciudades del país, mismos que son los que se organizan para realizar concursos en distintas categorías dentro de esta actividad, así como también se encargan del ensamblaje y reparación de estos vehículos aéreos no tripulados.

En la provincia de Cotopaxi existe el Aeroclub Latacunga, el cual ha tenido gran acogida dentro del mundo del aeromodelismo a nivel nacional, sin embargo, el problema radica en que los jóvenes estudiantes de la carrera de que buscan tener participación por esta actividad tienen un acceso limitado a la misma.

La Unidad de Gestión de Tecnologías oferta la carrera de Mecánica Aeronáutica, sin embargo, no cuenta con un simulador digital que permita a los estudiantes conocer el funcionamiento básico de estos sistemas que son de gran ayuda para quienes disfrutan de estas actividades.

## **1.3 Justificación**

La carrera de Mecánica Aeronáutica contará con un simulador de vuelo que poseerá un sin número de modelos, el cual es de gran importancia para impartir el conocimiento necesario hacia los estudiantes.

El simulador digital que se desea implementar al taller de aeromodelismo, cuenta con un software libre que puede ser instalado en cualquier sistema operativo de acuerdo al modelo de computadora, este simulador nos permitirá interactuar con más de 100 aeromodelos, además posee modo de entrenamiento, modo competición y un modo nocturno para de esa manera mejorar las técnicas de vuelo que con la práctica se han de ir adquiriendo.

Este es un gran aporte dentro de la carrera debido a que los jóvenes pueden entrenar y llegar a dominar el mismo, es de suma importancia reconocer que mediante este proyecto la carrera puede aportar al crecimiento constante y desarrollo tanto de la Unidad de Gestión de Tecnologías como a la propia Universidad de las Fuerzas Armadas.

## **1.4 Objetivos**

### ***1.4.1 Objetivo general***

Rehabilitar la estructura de vehículos aéreos no tripulados: aeroplano LY7 y BX-04/SB-01 con radio control pertenecientes al taller de aeromodelismo de la Unidad de Gestión de Tecnologías.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- Adquirir información de los tipos de materiales con los que se realizará la rehabilitación de los UAV LY7 y BX-04/SB-01.
- Realizar entrenamientos en el simulador para el manejo adecuado del vehículo aéreo no tripulado.
- Ensamblar de acuerdo al diseño seleccionado y de esa manera ejecutar pruebas operacionales de la aeronave no tripulada para la constancia del funcionamiento y perfecto estado de la misma.

### **1.5 Alcance**

El presente trabajo de investigación se proyecta a que los estudiantes de la carrera de Mecánica Aeronáutica, desarrollen habilidades dentro del aeromodelismo mediante el constante entrenamiento con ayuda del simulador, para que de esa manera sean ellos los que puedan proponer la realización de un concurso interno, mismo del que pueden sobresalir jóvenes que sean capaces de obtener una representación digna para con ellos y la carrera.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Aeromodelos

Para iniciar, el aeromodelismo es una práctica de entretenimiento de aviones pequeños, ya sean adquiridos o contruidos por el propio operador del mismo.

En los inicios del aeromodelismo en 1936 la Federación de Aeronáutica Internacional lo incorporó como una sección de la aviación deportiva, publicando un código deportivo internacional.

Practicar aeromodelismo requiere de ciertas destrezas que las personas van desarrollando con la experiencia y el conocimiento adquirido, ya que para hacer de este un hobby, se debe tener conocimientos en las ramas de electrónica, motores, aerodinámica, trabajos especiales en madera y sobre todo tener una idea clara de lo que es la aeronáutica en general.

#### 2.2 Categorías

El aeromodelismo crece cada día más y en cualquier lugar del mundo encontraremos todo tipo de prácticas dentro de esta actividad, en la actualidad existen muchos modelos y tipos de aeronaves que han invadido el mundo del aeromodelismo, es por ello que, como toda actividad que crece, debe tener sus reglas y en este caso categorías que permitan trabajar de manera segura a quienes están inclinados por esta afición. La Federación Aeronáutica Internacional (FAI) ha definido las siguientes categorías:

### 2.2.1 Categoría F1: Vuelo libre

Estos modelos son lanzados manualmente por su propietario o a su vez con un motor a goma, estos se limitan a planear, es decir sin que intervenga la persona que previamente lo lanzó. Este tipo de aeromodelos prácticamente vuelan solos, no existe ningún tipo de control que lo ayude a regular sus movimientos. Simplemente se lanza y el avión vuela por sí mismo, mayor o menos tiempo dependiendo de la configuración del propio avión o de las condiciones en las que se vuela.

#### Figura 1

*Vuelo Libre*



Nota. La figura exhibe la técnica usada en el estilo vuelo libre. Tomado de (Aerodeporte, 2015)

Los modelos de esta categoría son:

- ✓ F1A - Veleros sin motor
- ✓ F1B - Veleros con motor a gomas
- ✓ F1C - Veleros con motor a pistón
- ✓ F1D - Modelos de interior
- ✓ F1E - Veleros de ladera
- ✓ F1F - Helicópteros

- ✓ F1G - Modelos con motor a gomas
- ✓ F1H - Planeadores (Clase A-1)
- ✓ F1J - Modelos con motor a pistón
- ✓ F1K - Modelos con motor CO2

### **2.2.2 Categoría F2: Vuelo circular**

Estos modelos giran alrededor del piloto, el cual es controlado por un juego de cables, su motor a explosión es lo que le da empuje al aeromodelo y lo permite permanecer en el aire. El operador de este mueve los cables de acuerdo al movimiento que desee realizar, es decir puede darle movimientos hacia arriba y hacia abajo.

Dentro del vuelo circular podemos encontrar otras modalidades como acrobacia, maquetas o combate, pero siempre controlados por los cables que lo unen a cada piloto. Una parte esencial de esta categoría es que el piloto debe tener en cuenta la cantidad de combustible que le suministra al aeromodelo ya que este no dejará de dar vueltas mientras no se agote el combustible.

#### **Figura 2**

*Vuelo Circular*



Nota. La imagen expone el control de aeronaves en vuelo circular. Tomado de (Aerodeporte, 2015)

Los modelos de esta categoría son:

- ✓ F2A - Modelos de velocidad
- ✓ F2B - Modelos de acrobacia
- ✓ F2C - Modelos de carrera
- ✓ F2D - Modelos de combate
- ✓ F2E - Modelos de combate con motor a diésel (Clase provisional)
- ✓ F2F - Modelos de carreras con motor diésel y fuselaje perfilado (Clase provisional)

### **2.2.3 Categoría F3: Vuelo Radio controlado**

Esta categoría es quizá una de las más ejercidas a nivel del mundo, tanto en la práctica civil como en el aspecto militar. Como su nombre lo indica este tipo de aeromodelos son controlados por un operador, este posee un transmisor de ondas, las cuales son captadas por el receptor instalado internamente en la aeronave.

Con estas ondas emitidas, el operador puede controlar los movimientos de la aeronave de acuerdo a las necesidades que este requiera.

**Figura 3**

*Vuelo Radio controlado*



Nota. La imagen representa el arranque de un aeromodelo radio controlado. Tomado de (Aerodeporte, 2015)

Los modelos de esta categoría son:

- ✓ F3A - Acrobacia
- ✓ F3B - Planeadores térmicos
- ✓ F3C - Helicópteros
- ✓ F3D - Carreras de pílón
- ✓ F3F - Veleros de ladera
- ✓ F3G - Motoveleros
- ✓ F3H - Planeadores de carrera
- ✓ F3I - Planeadores aero remolcados
- ✓ F3J - Veleros térmicos
- ✓ F3M - Modelos de gran escala (3m de envergadura)
- ✓ F3P - Acrobacia indoor con modelos de Depron

### 2.2.4 Categoría F4: Maquetas

En esta categoría se encuentran los aeromodelos que son utilizados para exposiciones al público en general, aquí se puede apreciar aeronaves construidas únicamente para las exhibiciones o a su vez aeronaves de categorías las anteriormente estudiadas.

Las categorías anteriormente estudiadas pueden entrar en esta ya que estas pueden sufrir un gran daño durante la operación de las mismas, ya sea porque su fuselaje se ha deteriorado o debido la falta de los repuestos en sus componentes.

#### Figura 4

##### *Maquetas*



Nota. En la imagen se aprecia la exhibición aeromodelos. Tomado de (Aerodeporte, 2015)

Los modelos de esta categoría son:

- ✓ F4A - Maquetas De vuelo libre
- ✓ F4B - Maquetas de vuelo circular
- ✓ F4C - Maquetas de radiocontrol
- ✓ F4D - Maquetas de vuelo libre en interior con motor a gomas
- ✓ F4E - Maquetas de vuelo libre interior con motor CO2 o eléctrico

- ✓ F4F - Maquetas de vuelo libre interior (Fórmula Peanut)
- ✓ F4J - Maquetas de vuelo propulsadas con turbina de gas

### **2.2.5 Categoría F5: Vuelo con motor eléctrico**

Como se indica en el nombre de su categoría, estos aeromodelos son netamente eléctricos. Gracias a los avances tecnológicos, el mundo del aeromodelismo también ha sentido ese gran impacto gracias a los cambios significativos que ha tenido este, debido a las modificaciones que día a día busca mejorar, es por ello que se considera que esta categoría ha superado a los modelos con motor de combustión.

#### **Figura 5**

*Vuelo con motor eléctrico*



Nota. En la figura se observa los aeromodelos actuales con motor eléctrico. Tomado de (Aerodeporte, 2015)

Los modelos de esta categoría son:

- ✓ F5A - Acrobáticos
- ✓ F5B - Motoveleros
- ✓ F5C - Helicópteros

- ✓ F5D - Carreras de pilón
- ✓ F5E - Aviones solares
- ✓ F5F - Planeadores eléctricos (hasta 10 elementos)

### **2.2.6 Vuelo Interiores**

Estos modelos son especialmente diseñados para realizar las maniobras de vuelo en lugares cerrados, los más útiles en esta categoría son helicópteros de radiocontrol ya que por su bajo peso, son más cómodos para controlarlos. También existen aviones a escala para volar en este tipo de categorías.

#### **Figura 6**

*Vuelo interiores*



Nota. La imagen expresa el espacio límite en vuelo interior. Tomado de (abcsaladillo, 2019)

### **2.2.7 FPV**

Esta categoría proviene de las siglas en inglés “First Person View”, en esta nueva modalidad de aeromodelismo, el operador controla la aeronave mediante imágenes de video que son emitidas por una cámara instalada en el modelo y receptada por el piloto con unas gafas de tipo realidad virtual, lo cual da la sensación al operador de estar volando junto a su aeronave.

#### **Figura 7**

*Vuelo FPV*



Nota. En la figura se aprecia una nueva modalidad de controlar una aeronave a distancia, es importante tener experiencia para controlar este tipo de aeronaves.

Tomado de (fpvmax, 2016)

### **2.2.8 UAV (Vehículo Aéreo No Tripulado)**

Un vehículo aéreo no tripulado (VANT), UAV (del inglés unmanned aerial vehicle) hace referencia a una aeronave que vuela sin tripulación, la cual ejerce su función remotamente.

El diseño de los UAV tiene una amplia variedad de formas, tamaños, configuraciones y características. Históricamente surgen como aviones pilotados remotamente o drones, aumentando a diario el empleo del control autónomo de los UAV.

Existen dos variantes: los controlados desde una ubicación remota, y aquellos de vuelo autónomo a partir de planes de vuelo pre programados a través de automatización dinámica. Cabe señalar que el término UAV es utilizado frecuentemente para referirse a vehículos no tripulados de uso militar.

### **2.3 Materiales**

En los inicios del aeromodelismo, no se tenía mucho conocimiento acerca de los materiales que se podía emplear, por ello anteriormente el material más usado era la madera sin ningún tipo de modificaciones, es decir madera pura, o a su vez caña, lo que dificultaba que estos se levanten fácilmente. Ya con el tiempo se descubrió una madera más ligera y manejable, la madera balsa, con la que se empezaron a realizar los nuevos aeromodelos.

La madera balsa se convirtió en el estándar para la construcción de modelos, y aun lo sigue siendo hoy en día, la madera balsa es fuerte, liviana y es fácil de trabajar. Uno de los materiales importantes son los recubrimientos, es decir la piel del avión que ayudará al mismo a sustentarse en el aire, anteriormente se recubría con plásticos o telas, ya con el tiempo se empezó a usar plásticos termoencogibles que le dan mayor ligereza al ala.

Con el descubrimiento de nuevos materiales, como kevlar, fibra de carbono, fibra de vidrio y aleaciones de aluminio, los aeromodelos tomaron un gran cambio, debido a que las estructuras tomaron mayor resistencia y rigidez, una gran ventaja por el peligro de accidentes a los que estos están expuestos.

### **2.3.1 No metálicos**

El uso de materiales que posean densidades bajas es imprescindible para la construcción de modelos controlados a radiocontrol y como se explica anteriormente, la balsa es uno de los materiales principales a emplearse en esta actividad, depende de cada fabricante el que desee emplear fibras para darle mayor resistencia a su aeromodelo o mayor presencia.

A continuación se describe las características de cada uno de los materiales no metálicos usados para los aeromodelos:

- ❖ Balsa
- ❖ Pino
- ❖ Abeto
- ❖ Haya
- ❖ Contrachapado

#### **2.3.1.1 Balsa.**

La balsa es un material de resistencia alta, es fácil de trabajar y una de las ventajas que tiene este material es su maleabilidad, pues gracias a ello, si se presenta alguna rotura o grieta puede ser reparado sin ningún problema.

Es empleada para las zonas de la aeronave como cuadernas, costillas y a su vez para la piel de la estructura si así se lo requiere.

#### 2.3.1.2 *Pino.*

Esta madera es una de las mejores y más resistentes tanto para largueros del ala como para el fuselaje, esta le dará una consistencia más firme.

#### 2.3.1.3 *Abeto.*

El abeto es una madera que tiene alta resistencia, es blanda, fuerte, flexible; dentro del aerodelismo es un material eficaz y muy eficiente para la fabricación de largueros principales de las alas y larguerillos.

#### 2.3.1.4 *Haya.*

La madera tiene una consistencia pesada y dura, debido a sus características rústicas, esta se puede emplear para la fabricación de trenes de aterrizaje, unión de alas y patines de rozamiento, también conocidos como patín de cola.

#### 2.3.1.5 *Contrachapado.*

El contrachapado es un conjunto de láminas de madera pegadas entre sí, que le dan una consistencia más homogénea. Las ventajas del uso de esta madera son:

La capacidad para evitar la propagación de grietas; si se presenta una grieta en la lámina, esta no es capaz de propagarse, así también las láminas que se encuentran junto a estas no se verán afectadas por su orientación.

Otra de sus grandes ventajas es la gran resistencia a la ferretería, en este tipo de madera se puede emplear tornillos y pernos para la sujeción de componentes, es un material muy necesario para el anclaje del motor, el tren de aterrizaje, refuerzos del ala, etc.

### **Figura 8**

*Materiales no metálicos*



Nota. En la imagen se puede apreciar variedad de madera balsa tanto en tamaño como en grosor para la construcción de aeronaves. Tomado de (Aeromodelismo - Fácil, 2014)

### **2.3.2 Metálicos**

Dentro de los metales empleados para la construcción de un RPA, tenemos:

- ❖ Aluminio
- ❖ Latón
- ❖ Acero
- ❖ Plomo

#### 2.3.2.1 *Aluminio.*

Las aleaciones de aluminio son muy importantes dentro de la construcción de aeromodelos, pues este es ligero y maleable, se usa para colocar soportes en zonas donde la madera no pueda resistir el peso de otros componentes pesados.

#### 2.3.2.2 *Latón.*

Se utiliza en chapa y tubo con resultados excelentes en depósitos de combustibles, palancas de mando de alas, timones, etc., con la ventaja de poder soldarlo con estaño a otras partes de acero, tornillos, etc.

#### 2.3.2.3 *Acero.*

El acero se emplea en componentes de la categoría de vuelo circular antes vista, en el juego de cables del modelo, también es un buen material para trenes de aterrizaje y para colocar bisagras, patín de rozamiento, etc.

#### 2.3.2.4 *Plomo.*

Se utiliza para la compensación de pesos en los aeromodelos, en trozos o perdigones.

**Figura 9***Materiales metálicos*

Nota. La imagen representa aleaciones de aluminio, acero y plomo, los cuales son usados en construcción de aeromodelos de grandes dimensiones. Tomado de (Aeromodelismo - Fácil, 2014)

**2.3.3 Materiales Auxiliares**

A su vez, y para dar un acabado perfecto, se utilizan materiales como:

- ❖ Papeles
- ❖ Telas
- ❖ Plásticos

**2.3.3.1 Papeles.**

El tipo de papel que se aplica para las superficies del aeromodelo, son de un material especial, este se ajusta de acuerdo a las formas en las que va ser instalado.

Se utiliza papel especial de mucha fibra que se adapta a las formas curvas y al ser impregnado con agua, acetona o barnices tensores, quedan tirantes dando rigidez a las estructuras de los modelos.

#### 2.3.3.2 *Telas.*

Las telas son usadas generalmente para aeromodelos de carreras o para concurso de distintas categorías, se emplean telas como seda y nylon, resistentes a la tensión.

#### 2.3.3.3 *Plásticos.*

El uso de plásticos ha ido tomando fuerza al momento de forrar la aeronave, debido a la existencia de plásticos termoencogibles como el monokote, que se adhieren fácilmente a la superficie la cual vamos a forrar.

Para adherir este plástico se emplea una plancha especial que es exclusivamente para estos materiales, la temperatura de esta no debe ser alta para que no se quemé este y se forre adecuadamente.

**Figura 10***Materiales auxiliares*

Nota. En la imagen se observa materiales como vinil y monokote para el recubrimiento de las superficies de las aeronaves. Tomado de (Aeromodelismo - Fácil, 2014)

**2.4 Componentes básicos del aeromodelo****2.4.1 Motor**

Un motor en aeromodelismo es un componente que genera fuerza y en este caso empuje, necesario para elevar y mantener en el aire a una aeronave, entre los tipos de motores tenemos:

- ❖ A combustión interna
- ❖ Turboreactores
- ❖ Motores eléctricos

#### 2.4.1.1 Motores a combustión interna.

Los motores de combustión interna poseen un depósito de combustible, el cual envía el combustible hacia el motor y este trabaja realizando la respectiva combustión. El movimiento de los cilindros genera que el motor trabaje y a su vez gire la hélice.

#### **Figura 11**

*Motor combustión interna*



Nota. La figura representa el tipo de motores empleados en aeromodelos, estos varían de acuerdo a la potencia y al uso que quiera darse. Tomado de (Deportes Aéreos, s.f.)

#### 2.4.1.2 Turboreactores (jet).

Estos motores, tienen similitud con los instalados en aviones tripulados, ya que el funcionamiento es similar, son de difícil acceso económicamente por sus altos precios, sin embargo son motores que recompensan el costo, brindando la potencia y estabilidad necesaria que el aeromodelo necesita.

#### 2.4.1.3 Motores eléctricos.

Son los nuevos motores trifásicos. Estos son alimentados por baterías LiPo (Polímero de Litio) por su bajísimo peso, gran capacidad y bajo índice de atenuación al descargarse durante el uso.

#### **2.4.2 Emisor**

El emisor o también conocido como transmisor, es el encargado de enlazar los movimientos que realiza el piloto con la aeronave, esto de acuerdo a la configuración que se haya hecho en estos componentes.

El funcionamiento de este se basa en la interpretación de los movimientos que realiza el operador en los mandos, “sticks”, pulsadores o interruptores como se los denomina, para de esa manera emitir una señal que será captada por el avión.

Existen variedad de marcas en radiocontroles, las cuales evidentemente tienen características especiales que los diferencian. El radio control más básico posee de 2 a 4 canales para el manejo del modelo.

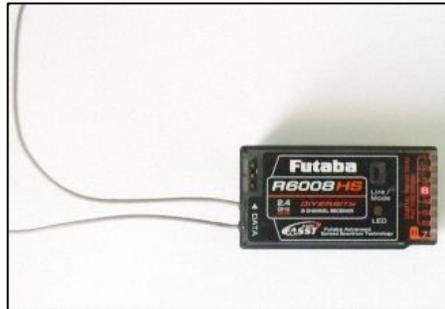
**Figura 12***Emisor*

Nota. En la imagen tenemos una representación de un radio-mando el cual tiene también sus modelos y tipos de acuerdo a la cantidad de canales que posea. Tomado de (Aeromodelismofacil, 2019)

### **2.4.3 Receptor**

El receptor es un pequeño componente que se instala dentro del avión, el cual se encarga de descodificar las señales emitidas por el radio-mando y las convierte en impulsos eléctricos, estos impulsos llegan a los servos conectados al receptor, los cuales reaccionan a los movimientos que emite el radio control.

En caso de poseer un radio-mando antiguo, es imprescindible conocer las frecuencias en las que se trabajara tanto en el radio como en el receptor, de esa manera se evita interferencias.

**Figura 13***Receptor*

Nota. El receptor representado en esta figura pertenece a la marca Futaba, caracterizada por sus equipos electrónicos de alta calidad. Tomado de (Tuelectrónica, s.f.)

#### **2.4.4 Servomotores o servos**

Comúnmente llamados servomotores. Estos objetos son los encargados de producir fuerza mecánica para el movimiento de los distintos sistemas del avión.

Los servos no son de gran dimensión, sin embargo, pueden darle la fuerza necesaria para el movimiento de las superficies a las cuales están conectados. Estos servos están compuestos por un motor, rodamientos y sensores que activan su posición de acuerdo a la señal receptada.

## Figura 14

### *Servomotores*



Nota. Los componentes de la figura son servos de distintas marcas que cumplen la misma función, ejercer el movimiento mecánico necesario para distintos componentes que requieran de fuerza mínima. Tomado de (Morato, s.f.)

### **2.4.5 Baterías**

Las baterías son un elemento fundamental dentro del aeromodelismo, pues esta se encarga de alimentar con energía a todos los sistemas del modelo tales como servos, luces led, y en caso de ser un motor eléctrico, también proporciona la energía necesaria para su funcionamiento.

Las baterías a su vez energizan el receptor de la aeronave, necesario dentro del sistema, pues este se encarga prácticamente de todos los movimientos del aeromodelo.

## Figura 15

### *Baterías*



Nota. La imagen representa una batería de 1.8v para energizar la aeronave, recalcando que el nivel de voltaje varía de acuerdo a los sistemas instalados. Tomado de (Morato, s.f.)

### **2.4.6 Varillas (pushrod)**

Cable o varilla que es el responsable de transmitir el movimiento de los servos a las partes móviles del aeromodelo. Estas son fundamentales dentro de los movimientos del RPA ya que permiten al operador realizar la inclinación de las diferentes superficies de control de la aeronave y de esa manera tener un control total de la misma, así como cumplir con los objetivos dentro del vuelo.

**Figura 16**

*Varilla pushrod*



Nota. Varillas encargadas del movimiento de los servos. Tomado de (Morato, s.f.)

### **2.4.7 Radiocontrol**

Una emisora radiocontrol o mando radio control es un control remoto que permite controlar un modelo radiocontrol como un coche, un aeromodelo o cualquier modelo radio controlado en general.

Se utiliza una radio desde tierra para el control de los aeromodelos. La emisora o radio controla una serie de servos colocados en el avión, relacionados con alerones, flaps, aerofrenos, timón, profundidad, entre otros. El aeromodelo puede tener tantos servos como su tamaño y la capacidad de radio lo permita.

#### **2.4.7.1 Canales.**

Cada modelo de emisora posee una cierta cantidad de canales, mismos que son usados para los distintos movimientos. Algunos aviones pueden funcionar con solo dos canales: con uno se gira y con el otro acelera, eleva y desciende el avión.

Lo recomendable para la operación de un aeromodelo son un mínimo de cuatro canales para las funciones básicas, de acuerdo a la cantidad de componentes que el aeromodelo posea.

Con cuatro canales se puede acceder al control de los movimientos básicos de la aeronave como son la potencia del motor, alerones, elevadores y rudder o timón de dirección. Depende mucho de la cantidad de componentes que posea el aeromodelo ya que de acuerdo a esto, se configura los canales a usarse de la emisora.

En principio cada canal controla un servo, sin embargo, varios servos pueden ser combinarse para compartir funciones.

La principal característica de esta modalidad, la más reciente y con más adeptos hoy en día, es que el avión es controlado por señales de radio emitidas desde una emisora controlada por el piloto.

Para el vuelo de distintas aeronaves no depende exactamente de la emisora que posea sino de la cantidad de canales y la configuración que se le dé a esta.

Entre los radiocontroles más utilizados tenemos dos de las mejores marcas: Futaba y Flysky, ambas marcas son conocidas a nivel mundial y como ya se especificó, estos varían en sus características de acuerdo a la cantidad de canales que posea cada radiocontrol. Es importante que los transmisores que se utilicen tengan como mínimo 5 canales para configurar su modo de vuelo.

## 2.5 Frecuencias permitidas de vuelo

Todas las frecuencias tienen un mínimo y un máximo de frecuencias, unos los pueden llamar canales, otros solo frecuencias, tanto 72 MHz, 75 MHz, 49mhz, 27mhz, 50 y 53 MHz tienen un rango de frecuencias lo cual no es recomendable que dos transmisores estén utilizando la misma frecuencia o canal, ya que esto causará interferencia y traería consigo el desplome del modelo en el aire.

La banda de emisión legal en España se encuentra entre 35.060 y 35.200 MHz en intervalos de KHz, pero en otros países se usa también 27 o 72 MHz.

Ahora se está extendiendo el radio-mando con nuevos tipos de modulación que se están extendiendo notablemente y que trabajan en la frecuencia de 2.4Ghz.

La frecuencia 2.4 GHz terminó con los problemas de las otras frecuencias y sus interferencias, los aeromodelistas han estado migrando a esta frecuencia por la confiabilidad que tienen.

## 2.6 Configuración electrónica

La configuración electrónica dentro de un (RPAS) es muy importante para el mundo del aeromodelismo, se le puede considerar como el corazón de la aeronave. La configuración de la misma se basa principalmente en la cantidad de servos que se utilizará, y de acuerdo a la cantidad de canales que posea la emisora, es decir los canales de la emisora son aquellos que enviarán la señal para el funcionamiento de las distintas superficies de vuelo.

Muchas veces se pueden unir canales que realicen el mismo funcionamiento, por ejemplo, un modelo básico posee elevadores, alerones, flaps y rudder o conocido como timón de profundidad.

Para quienes están al tanto de las funciones de los controles de vuelo primarios, conocen que los elevadores efectúan un movimiento simétrico, es decir estos se mueven hacia la misma dirección sea arriba o abajo con el mismo nivel de ángulo con la finalidad de levantar o elevar al modelo. Por ello, si se requiere que estos realicen la misma función, se procede a unir los canales a los que estén conectados sus servos respectivos.

## **2.7 Simulador de vuelo RC**

Un simulador de vuelo por radiocontrol es un programa informático que permite a pilotos de esta rama, realizar prácticas o a su vez acrobacias sin el riesgo de estropear el modelo real.

Además, es una forma segura para aquellas personas que están entrando al mundo del aerodelismo, ya que como principiantes, este simulador les permite acoplarse al funcionamiento de un aerodelo y sobre todo es una gran ayuda para que obtengan confianza y puedan ejecutar maniobras sin el temor de causar daños estructurales al RPA.

En la actualidad, la mayoría de los simuladores permiten el uso de transmisores de radiocontrol real para controlar el modelo simulado en computadora.

Existe gran variedad en lo que a simuladores de vuelo se trata, a continuación se presenta la lista de los simuladores creados especialmente para vuelos R/C:

- ❖ PhoenixSim
- ❖ PicaSim
- ❖ Real Flight

### **2.7.1 PhoenixSim**

Simulador de alta calidad. Destaca por su compatibilidad con cualquier emisora del mercado, añadiendo un simple adaptador para cada modelo.

La ventaja del simulador, es que cada año, los creadores de este software realizan actualizaciones con mejoras notables dentro del juego, como gráficos, efectos de agua, reflejos, así como el implemento de nuevos aviones o escenarios. Este simulador tiene distintas versiones, es decir, en el mercado existe el Phoenix R/C Flight Simulator 2, 3, 4 y 5, este último tiene las siguientes características:

- Nueva versión 5.0 en DVD
- Modo multijugador por internet
- Más de 100 modelos
- Visualización panorámica completa de 360° con 20 escenarios y calidad fotográfica
- Interface USB
- Modo entrenamiento para aviones y helicópteros
- Modo vuelo nocturno

**Figura 17**

*Simulador PhoenixRC*



Nota. Logo de uno de los mejores simuladores de vuelo. Tomado de (HobbyPlay, s.f.)

**2.7.2 PicaSim**

Es un simulador de vuelo gratuito para aeronaves controladas por radio. Por el momento se centra principalmente en planeadores, pero también tiene algunos otros aviones.

Este simulador nos brinda también varios modelos y escenarios en los que se puede adquirir práctica, este no tiene características avanzadas como el anterior, sin embargo, es recomendable para los principiantes que deseen iniciar en el mundo del aeromodelismo.

**Figura 18**

*Pica Sim*



Nota. Pica Sim para principiantes Tomado de (Rowlhouse, 2019)

### 2.7.3 Real Flight

Simulador de vuelo con pago de licencia, es considerado uno de los mejores simuladores de vuelo, es la mejor herramienta absoluta que los nuevos pilotos de aeromodelos pueden usar cuando aprenden a volar. Este simulador permite que pilotos que posean experiencia, adquieran nuevas destrezas para realizar maniobras y de esa manera obtener mayor habilidad al momento de ejercer el vuelo real. Contiene más de 100 modelos de aeronaves donde se incluyen helicópteros y multirrotores.

#### Figura 19

*RealFlight Simulator*



Nota. Considerado uno de los mejores simuladores a nivel mundial. Tomado de (RealFlight, 2018)

## **2.8 Sustentación Legal**

La aviación crece día a día con el avance tecnológico mundial, producto de ello son la fabricación de RPA, UAV o más conocidos como drones, esto ha provocado que la sociedad amante de la aviación lo adopte como una actividad recreativa; considerando que la aviación es el medio de transporte más seguro del mundo, sabemos que la misma cuenta con regulaciones, leyes, códigos, y ciertas reglas que ayudan a salvaguardar la seguridad de sus pasajeros.

De la misma manera se vieron obligados a la necesidad de realizar una regulación acerca de la reglamentación y sanción que permita estar seguros tanto a sus operadores como a aquellos que se encuentran a sus alrededores.

Es por eso que la DGAC de nuestro país ha elaborado la resolución No 251/2015 que se encuentra en vigencia sin ningún cambio emitido, el detalle de esta resolución se la encuentra en el Anexo 2 de este proyecto de titulación.

## CAPÍTULO III

### 3. DESARROLLO DEL TEMA

#### 3.1 Inspección estructural de aeromodelos

Para cumplir con la rehabilitación estructural de los aeromodelos, se sigue un minucioso proceso de inspección, con la finalidad de encontrar la mínima falla, daños e inoperatividad de sus componentes. La inspección que se aplica a los modelos nos permite hallar ciertas anomalías tanto superficialmente como en el interior de la estructura del fuselaje y de sus alas. En el transcurso del reconocimiento de las aeronaves, se detectó fallas tales como:

- Grietas y fisuras superficiales e internas del fuselaje
- Estructura de cabina frágil
- Rotura de bisagras
- Fractura de costillas en alas
- Desfase en controles de vuelo
- Falta de mantenimiento en motores
- Impurezas y óxido en elementos de sujeción de la hélice
- Control horn inexistentes
- Inoperatividad del motor del aeromodelo LY7

### **3.1.1 Traslado de aeromodelos**

Los aeromodelos se encontraban en el taller de aeromodelismo de la Unidad de Gestión de Tecnologías, se trasladaron hacia el taller de reparación estructural especializado en este tipo de aeronaves con el objetivo de cumplir con la reparación estructural de cada uno de ellos, una vez trasladados, se los ubicó en la zona de reparaciones estructurales para su posterior chequeo.

#### **Figura 20**

*Traslado de aeromodelos*



Nota. En la imagen se puede apreciar las condiciones en las que las aeronaves llegaron hacia el taller de reparaciones estructurales de RPAS.

### **3.1.2 Desmontaje de alas**

Para iniciar con el proceso de reparación, se procede a desmontar las alas de cada uno de estos para su chequeo estructural, determinar las fallas y las zonas más afectadas.

Para ello se desmonta la ferretería de las mismas, se retira manualmente girando en sentido anti horario los pernos de goma que sujetaban las alas de cada una de las aeronaves y así obtener una mejor visión interna de las aeronaves.

Se coloca los pernos de goma en la caja de herramientas para evitar la pérdida de estos. Se realiza un breve chequeo de los servos y las conexiones de estos con el fin de determinar si sus cables se encuentran rotos y necesitan un cambio.

### **Figura 21**

#### *Desmontaje de alas*



Nota. En la imagen se puede apreciar que al desmontar las alas, el deterioro es notable, los recubrimientos se encuentran rotos y mal conservados.

#### **3.1.3 Desmontaje de motores**

Se procedió al desmontaje de los motores de ambos aeromodelos, con ayuda de destornilladores tipo estrella, se retiró 4 elementos de sujeción.

En este caso tornillos de cabeza redonda tipo estrella que se encargaban del ajuste del motor a la estructura del fuselaje, con ello se logró desprender de la base estructural a los que estaban instalados.

Contaban con residuos de combustible en cada uno de los reservorios, se enfatizó a una breve limpieza y purga de combustible con el fin de evitar daños de los mismos.

### **Figura 22**

*Desmontaje de motores*



Nota. En la imagen se puede observar el desmontaje de los motores de cada uno de los modelos con la finalidad de realizar el mantenimiento respectivo, posterior a la inspección visual de las aeronaves.

## 3.2 Rehabilitación estructural del aeromodelo BX04/SB-01

### 3.2.1 Inspección de fuselaje

Para iniciar, se despojó el recubrimiento del modelo, se retiró la piel de vinil cuidadosamente con el objetivo de desprender en su totalidad y a su vez evitar la rotura de sus partes. Se inspeccionó el fuselaje y sus superficies de control, con el objetivo de determinar posibles roturas, grietas o fallas de los mismos.

Dentro de la inspección visual se localizaron zonas con un sin número de grietas, fisuras y fallas que requieren reparación, ya que es parte primordial dentro de la rehabilitación de estos aeromodelos.

#### Figura 23

*Inspección del fuselaje*



Nota. La imagen representa notablemente el desprendimiento de la piel que cubría la estructura principal y su ala, se debe retirar cuidadosamente para evitar residuos del material en la estructura.

### 3.2.2 Reforzamiento estructural de la cabina

Para el reforzamiento estructural de la cabina, se fijó dos pedazos de balsa, de la misma forma y medida de la parte central de la cabina, ya que sus paredes laterales se encontraban frágiles, se cortó dos piezas de balsa de 10 cm x 3cm, los refuerzos fueron pegados con cianoacrilato, un pegamento instantáneo ideal en estructuras de madera balsa y excelente para darle mayor resistencia a la estructura.

Una vez adheridas con este pegamento, se empleó pinzas especiales para madera balsa, con la finalidad de brindar un mayor ajuste. El retiro de las pinzas se lo realizó 10 minutos después de haberlas colocado en los refuerzos.

#### Figura 24

*Reforzamiento estructural de la cabina*



Nota. Como se representa en la imagen, se debe colocar pinzas en las zonas que requiera refuerzo, la presión de estas ayudará a que los refuerzos se mantengan firmes.

### **3.2.3 Corrección de grietas en fuselaje**

Las fisuras y grietas que se presentó en el chequeo previo que se realizó al fuselaje, se corrigió con masilla universal decorlac, la cual es empleada para maderas de distintas características sin excepción.

Cuidadosamente se recorrió aplicando masilla desde el soporte del motor hasta los estabilizadores del avión en las fallas identificadas.

La pasta empleada debe ser en proporciones equivalentes al daño que presente la superficie, esta debe presionarse bien en la zona que requiera reparar, se espera alrededor de 120 minutos hasta que la masilla esté completamente seca.

#### **Figura 25**

*Corrección de fisuras y grietas del fuselaje*



Nota. La imagen representa la masilla totalmente seca aplicada en la zona delantera de la cabina del fuselaje, para su posteriormente realizar el alisado respectivo.

### **3.2.4 Alisado de fuselaje y estabilizadores**

Para el fuselaje, se aplica lija P80 con el objetivo de retirar el exceso de masilla aplicada en las grietas y fisuras de este. El uso de esta lija en las superficies debe ser minucioso para evitar daños representativos tanto en los estabilizadores como en el fuselaje.

#### **Figura 26**

*Retiro de exceso de masilla en fuselaje y estabilizadores*



Nota. En la figura se puede apreciar que el alisado del fuselaje se realizó sobre un extractor de polvo, para evitar la inhalación del mismo.

### **3.2.5 Recubrimiento de fuselaje**

Se procede a recubrir el fuselaje con material monokote, el cual se adhiere con la ayuda de una plancha especial para dicho material. Se conecta la plancha para la aplicación del monokote, el uso de esta plancha debe ser extremadamente cuidadoso, ya que trabaja a temperaturas de 65 a 210 grados Celsius. Se coloca el adhesivo monokote sobre la estructura a cubrir y se le da la forma de la superficie, retirando excesos y perfilando las zonas con ayuda de un estilete.

Se regula la temperatura de la plancha en un rango de 120 a 130 grados Celsius para estirar el material en la estructura, suavemente se presiona la plancha sobre el material para que vaya tomando la forma de la estructura, una vez realizado este procedimiento se retira el exceso de material. Se procede a someter al calor para tensionar el material y evitar que se desprenda de área.

### **Figura 27**

#### *Recubrimiento de fuselaje*



Nota. En la imagen se puede observar el recubrimiento completo del fuselaje con material monokote.

#### **3.2.6 Remoción de bisagras de nylon**

Las bisagras son un elemento fundamental en las superficies de control del aeromodelo, por tal motivo, se retiró las bisagras deterioradas pertenecientes al aeromodelo con el uso de pinzas debido al mal estado del material y por la solución aditiva aplicada a las mismas contra el ala.

**Figura 28**

*Bisagras nuevas para posterior instalación*



Nota. La imagen representa las bisagras de material nylon que fueron instaladas en las superficies móviles de la aeronave.

**3.2.7 Reparación de costillas**

Al inspeccionar la estructura alar, se encontró costillas con fisuras. En la mayoría del caso la zona media de las costillas presentaban roturas, para lo cual se recortó pedazos de madera balsa de 2mm y de esa manera completar las costillas rotas con ayuda de pegamento cianoacrilato.

Para la superficie superior e inferior de las costillas se recortó tiras de madera balsa de 15cm x 1cm, se adhirió las mismas usando el pegamento antes mencionado.

Es necesario hacer presión en las tiras de balsa una vez pegadas, ya que estas deben acoplarse a la forma aerodinámica que posee el ala debido a que no puede perder su uniformidad.

**Figura 29***Reparación de costillas fisuradas*

Nota. En la imagen se puede observar como evidencia, la rotura en la zona media de las costillas, la cual fue reparada para mayor resistencia.

**3.2.8 Alisado de superficie alar**

Una vez reparada y reforzada el ala, se emplea lija P80 tanto en intrados como en extradados, con el fin de nivelar la superficie y los refuerzos adheridos anteriormente. Cabe recalcar que el lijado debe ser minucioso y de forma circular en todas las superficies.

Mientras se alisa la superficie a lo largo del ala, se verifica sobre la marcha que no existan grumos o desniveles que puedan afectar la aerodinámica del conjunto alar. Es importante que el proceso de lijado nos ayude a obtener una superficie uniforme ya que esto influye notablemente en la aerodinámica del ala, el viento que fluye tanto por intrados y extradados del ala no debe ser interrumpido por ninguna falla en el conjunto alar.

**Figura 30**

Alisado de intrados y extrados en el ala



Nota. La imagen demuestra el alisado minucioso que se aplica a este tipo de superficies, debido a la sensibilidad de la madera balsa y de sus costillas recién instaladas.

**3.2.9 Perfilamiento de superficies móviles**

El correcto funcionamiento de las superficies móviles, es decir alerones, elevadores y rudder depende también del estado de su superficie. Se alisó la superficie de estas con ayuda de una lijadora de banco.

La superficie debe estar lisa para darle una mejor apariencia al aeromodelo al momento de forrar las mismas con monokote, ya que este, al adherirse a la superficie toma la forma en la que se encuentre esta.

**Figura 31**

*Perfilamiento de controles de vuelo*



Nota. La imagen representa el perfilamiento de las superficies móviles de la aeronave, utilizando una lijadora de banco, la cual es mucho más cómoda y práctica para lijar pedazos de mayor dimensión.

### ***3.2.10 Recubrimiento de ala y superficies móviles***

Una vez que se aliso y se nivelo la superficie del ala y de las superficies móviles, se procede a recubrir estas partes con papel monokote. Este material es diseñado especialmente para trabajos de aeromodelismo, ya que al forrar los materiales con este papel especial le da una mejor apariencia al aeromodelo y es mucho más ligero que otros.

Al igual que el fuselaje, para el recubrimiento del ala y de sus superficies móviles, empleamos la plancha para monokote. Se coloca este material sobre la superficie a recubrir, se regula la temperatura de 120 a 130 grados Celsius y se procede a presionar el papel con la plancha para que este se adhiera a la superficie.

**Figura 32**

*Recubrimiento de ala con monokote*



Nota. En la imagen se visualiza el papel monokote antes de ser adherido a la superficie alar y después de haber sido instalado.

### **3.2.11 Instalación de bisagras**

Las bisagras que son instaladas en las superficies móviles del aeromodelo, ayudarán a que se mantengan firme junto al perfil aerodinámico. Estas a su vez cumplen la función de soportar los movimientos que realice el operador al actuar los servos desde la emisora.

Se instaló 5 bisagras de nylon en cada alerón, los alerones tienen una medida de 60 cm, se distribuyó la medida para las cinco bisagras en cada alerón haciendo agujeros en su perfil, se aplicó pegamento cianoacrilato en la mitad de la bisagra y se penetró en los agujeros hechos previamente en los alerones.

Se aplica el mismo procedimiento para la superficie móvil del estabilizador vertical de la aeronave. Se instala 3 bisagras con pegamento cianoacrilato.

### **Figura 33**

#### *Instalación de bisagras*



Nota. La imagen demuestra tanto el recubrimiento de las superficies móviles con papel monokote y la instalación de bisagras en las mismas.

#### **3.2.12 Ensamblaje de alerones**

Se trazó las mismas medidas de las bisagras instaladas en el borde de salida del ala para realizar los respectivos agujeros, desde la varilla pushrod que permitirá el movimiento de los mismos, hasta el perfil aerodinámico, se aplica el mismo procedimiento con el otro alerón teniendo medidas simétricas para el montaje de estos.

La varilla fue incrustada en el alerón haciendo un orificio en este, y para mantenerla fija se añade una mezcla mínima de 50% resina epóxica y 50% de acelerante, el tiempo empleado para que esta mezcla este seca y se endurezca es de 30 minutos.

Una vez que el alerón este firme en la varilla, se incrusta las bisagras evitando que ingrese en su totalidad ya que primero se aplica pegamento cianoacrilato y se introduce de manera instantánea todas las bisagras en los agujeros del borde de salida del ala.

### Figura 34

#### *Ensamblaje de alerones*



Nota. La imagen representa el pegamento epóxico empleado y la instalación de los alerones en la superficie alar.

#### **3.2.13 Instalación de servos**

Se tomó los servos que pertenecían al sistema anterior de los aeromodelos y se los instaló en lugares adecuados para evitar anomalías en el funcionamiento, tanto en tierra como en vuelo. Se desprendieron de la estructura interna del fuselaje, con ayuda de destornilladores especiales para aeromodelismo, se retiró los elementos de sujeción y se realizó una inspección para constatar el buen estado en el que se encontraban.

Una vez comprobando que estos no estaban deteriorados se los colocó dentro de la cabina del fuselaje ajustándolos en su lugar de origen.

También se colocaron de manera ordenada para que las varillas de movimiento no choquen entre si y de esa manera no existan fallas en las maniobras que ejecute el operador.

### **Figura 35**

*Instalación de servos*



Nota. En esta imagen se puede observar el servo instalado en la superficie inferior del ala con sus respectivas varillas, su juego de control horn y sus cables de conexión para el receptor.

#### **3.2.14 Enlace transmisor - receptor**

El enlace o binding del transmisor con el receptor se lo realiza con un radiocontrol FlySky FSI6 que sería nuestro transmisor, la antena receptora, su conector puente y la alimentación de una batería de 6v y 1600 mAh.

Colocar el conector puente en el plug B/VCC y alimentar con una batería de 4v hasta 6v en el plug PPM. Esta conexión permitirá que la luz led del receptor se encienda y se mantenga parpadeando. Una vez alimentado el receptor con su puente y su batería, mantener presionado el botón bind key del radiocontrol y encenderlo sin soltarlo hasta que la luz led del receptor se detenga.

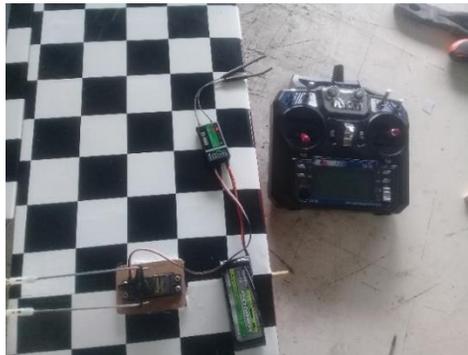
Cuando la luz roja se detiene, se proyecta en la pantalla la señal del receptor Rx lo cual indica que este ya está enlazado con nuestro emisor.

Es importante señalar que al conectar el servo con el receptor, debe hacerlo en el canal designado por el fabricante del mismo, es decir, el servo de alerones debe ser conectado al canal de alerones, y de esa forma con los demás servos, las funciones de cada canal se encuentran en el manual del transmisor, el cual se puede encontrar en el Anexo 3.

Teniendo en cuenta estos parámetros, se efectúa una prueba manipulando el transmisor, comprobando de esa manera el movimiento de los controles de vuelo.

**Figura 36**

*Enlace transmisor - receptor*



Nota. La imagen representa el enlace entre transmisor o radiocontrol y el receptor con ayuda de un generador de energía (batería) y el puente del receptor.

### ***3.2.15 Alineación de controles de vuelo***

La alineación de los alerones depende del ajuste de los servos, la alineación se efectúa de acuerdo a la posición en la que se encuentren estos, los servos poseen ajustes en sus seguros, los cuales giran y permiten que las varillas bajen o suban de acuerdo a lo que se requiera.

Al culminar la tarea con los alerones, se realiza el mismo proceso con los demás controles de vuelo y por último, energizar el transmisor y receptor para ejecutar las pruebas de alineamiento y comprobar el funcionamiento de las superficies móviles.

**Figura 37**

*Alineación de controles de vuelo*



Nota. La imagen representa la alineación de los controles de vuelo, mediante el movimiento de sus superficies móviles, la calibración se realiza ajustando el control horn de cada varilla.

**3.2.16 Desmontaje y chequeo estructural de la hélice**

La verificación estructural de la hélice del modelo, nos ayudará a determinar la existencia de roturas o grietas que puedan afectar al funcionamiento de la misma.

Al desmontar se pudo apreciar que su ferretería se encontraba oxidada y con impurezas, para lo cual se aplicó WD-40, este líquido ayudó a que los tornillos del spinner cedan y de esa manera se pueda desencajar las partes que conforman la hélice.

La hélice se encuentra en perfectas condiciones por lo que se procede a realizar una limpieza simple con WD-40 para mantenerla en lubricación.

**Figura 38***Chequeo de hélice*

Nota. Esta imagen representa el desmontaje de la hélice y la inspección realizada para el control operacional de la misma.

**3.2.17 Mantenimiento del motor**

Con ayuda de las herramientas especiales para aeromodelismo, se removió los pernos de cabezote hexagonal que sujetaban la cubierta del pistón y a su vez la bujía. Se retiró los componentes que conforman el motor, tales como cabezote, pistón y carburador, con la intención de reconocer el estado de las partes y determinar si se encuentran en condiciones operativas.

Debido al tiempo en que no se ha brindado el respectivo mantenimiento, el desprendimiento de los componentes del motor fue complejo, por ello, se sometió a altas temperaturas para lograr así removerlas de su posición.

Una vez que se retiró las partes se aplicó WD-40 con el objetivo de retirar las impurezas que estas contenían, se concretó con la limpieza y montaje de los componentes del motor. Considerando que el motor está en condiciones operativas, se ajustó nuevamente al soporte delantero del fuselaje.

### **Figura 39**

#### *Mantenimiento del motor*



Nota. La imagen muestra el sometimiento del motor a altas temperaturas y la remoción de sus partes una vez que el calor ayudó a sus partes a tener movilidad.

#### **3.2.18 Cambio de control horn**

Se instaló nuevos control horn o más conocidos como seguros de varilla, debido al deterioro de los ya colocados anteriormente, estos fueron ubicados en los servos conectados al estabilizador horizontal y vertical, esto con el objetivo de brindarle mayor seguridad y movilidad a los controles de vuelo. Para la varilla que controla la potencia del motor junto con el carburador, se acopló un control horn y dos seguros, para de esa forma impedir el desprendimiento de la varilla con el carburador por las constantes vibraciones a las que se somete cuando el motor está encendido.

**Figura 40***Cambio de seguros de varilla pushrod*

Nota. La imagen hace referencia al cambio de control horn en estabilizadores y cambio de seguros en la varilla pushrod del control del carburador.

### **3.2.19 Cambio de tanque de combustible**

El tanque de combustible que poseía la aeronave, tiene grietas por las cuales se derrama el combustible, por ello se vio la necesidad de reemplazarlo por uno nuevo para evitar que la estructura se humedezca y perjudique el trabajo realizado.

Con ayuda de un motor eléctrico se efectuó la transferencia de combustible del reservorio antiguo al nuevo, con ello, la aeronave posee un tanque nuevo y 100% funcional, se añade combustible al tanque y se asegura dentro de cabina. El tipo de combustible que se emplea para aeromodelos es Nitrometano.

El tanque de combustible posee dos mangas, las cuales van conectadas al escape y al carburador. Esto con el objetivo que el escape cumpla también la función de empuje de combustible hacia el carburador.

**Figura 41**

*Tanque de combustible*



Nota. La imagen representa el cambio de un tanque nuevo para el combustible de la aeronave.

**3.2.20 Montaje y aseguramiento del ala**

Con el cumplimiento de la reparación estructural del ala, la nivelación de la misma y el recubrimiento de esta con material monokote, se realiza orificios en el ala para incrustar los elementos de sujeción conjuntamente con los orificios previamente hechos en el fuselaje. Se ajusta los pernos de goma para sujetar el ala con el fuselaje.

**Figura 42**

*Sujeción del ala al fuselaje*



Nota. En la imagen se aprecia el ajuste del ala con el fuselaje.

### **3.2.21 Prueba operacional de motor del aeromodelo BX-04-SB01**

Culminando con la rehabilitación estructural y los sistemas de operación de la aeronave, se procede a realizar una prueba de arranque de motor, para lo cual se emplea un chispero y un arrancador.

Se coloca el chispero en la bujía para energizar el motor, se coloca el arrancador en el spinner de la hélice, se envía combustible hacia el motor y se enciende el arrancador para darle giro a la hélice y que la chispa de la bujía encienda el motor.

**Figura 43**

*Arranque del motor*



Nota. La imagen demuestra la prueba de encendido que se realizó al motor previo a la prueba de vuelo.

### **3.2.22 Prueba de vuelo.**

Se trasladó la aeronave hacia la pista del aeropuerto de la ciudad de Ambato, donde se procedió a realizar la prueba de vuelo, culminando así con éxito la rehabilitación de la aeronave.

**Figura 44**

*Prueba de vuelo*



Nota. La imagen es una representación y una prueba de la operación exitosa de la aeronave.

### 3.3 Rehabilitación estructural aeromodelo LY7

#### 3.3.1 Inspección de fuselaje y alas

Se retira el retiro del recubrimiento de alas y fuselaje cautelosamente para realizar la inspección visual de estas partes, lo que permitirá descubrir el nivel de daño que estas posean y de esa manera determinar la reparación que necesita tanto el ala como su fuselaje.

#### Figura 45

*Inspección visual*



Nota. En la imagen se puede observar el decapado del recubrimiento de la estructura total de la aeronave.

#### 3.3.2 Corrección de fisuras externas e internas

La previa inspección visual interna y externa de la aeronave, nos facilita la identificación de las fallas que posee y de esa manera proceder a corregir o reparar, según sea el caso. En esta ocasión se aplicó masilla universal de madera decorlac en varios agujeros y grietas para mantener es buen estado la estructura.

Cabe recalcar que la aplicación de esta pasta debe aplicarse proporcionalmente a las grietas y presionarla para que esta penetre en el daño a reparar.

Posterior a esto se aplicó lija P80 para remover el exceso de masilla. El lijado debe ser minucioso y sentido circular para evitar daños en la estructura.

#### **Figura 46**

*Corrección de fisuras*



Nota. En la imagen se aprecia el resultado de la corrección de las fallas y su alisado.

#### **3.3.3 Recubrimiento de fuselaje**

Para el recubrimiento del fuselaje, se utilizó 2 metros de material vinil color blanco y se cortó pedazos de color azul y negro para darle más detalles a la aeronave como ventanas, líneas finas que le dan mayor relevancia. El material usado en esta aeronave no requiere del uso de una plancha especial, ya que este se adhiere solo al material.

#### **3.3.4 Reparación de costillas**

En lo que consiste la estructura alar, se pudo identificar costillas destrozadas, para lo cual se restauró con balsa de 5mm tomando en cuenta el grosor y la medida de estas.

Se cortó pedazos de esta balsa para reparar las zonas más afectadas que son la parte superior e inferior. Con la ayuda del pegamento cianoacrilato se fueron fijando las piezas recortadas para darle firmeza a la estructura alar.

#### **Figura 47**

##### *Reparación de costillas*



Nota. En la imagen se observa el estado deteriorado del ala, esta cuenta con una viga de aluminio, lo que impedía el acceso a la zona inferior del ala.

#### **3.3.5 Perfilamiento de superficies móviles**

Es importante que las superficies de vuelo conserven una superficie lisa, manteniendo su perfil alar, con ello tendrá una mejor movilidad cuando el viento choque contra estas superficies. Para cumplir con esas características, se empleó una garlopa, lo cual permite nivelar las superficies de la madera. Una vez nivelada, se aplicó lija P80 para remover los residuos y darle un mejor acabado.

**Figura 48**

*Nivelación de la superficie*



Nota. En la figura se aprecia el uso de la garlopa para la correcta nivelación de las superficies, se debe tener cuidado con este tipo de herramientas manuales.

**3.3.6 Recubrimiento de ala y controles de vuelo**

Para el recubrimiento, primero se recubre el ala y sus superficies móviles con material vinil de color blanco, empleando un estilete se da la forma del ala incluyendo alerones, para ello se empleó 3 metros de este material.

Se recorta pequeñas tiras de vinil de 2cm de ancho de color negro y azul para ultimar detalles del ala, estas van ubicadas en la punta de cada ala, en el fuselaje y en los estabilizadores horizontal y vertical.

**Figura 49***Recubrimiento del ala y superficies móviles*

Nota. La imagen representa el recubrimiento que se aplicó al ala del aeromodelo LY7.

**3.3.7 Chequeo de servos y control horn**

En primera instancia, los servos de la aeronave no se encontraban en una posición adecuada, por lo que se procedió a bajar toda la base de servos a la cabina interna del avión, desmontando los tornillos que sujetan al servo con la estructura alar y debido también al difícil acceso e instalación de las varillas de los servos para el control de cada uno de los controles de vuelo y la potencia del motor.

Con esto las varillas de cada uno de los servos pueden fluir en libre movimiento hacia el regulador de potencia del motor y a sus superficies móviles.

Se cumplió con el cambio de control horn en todas sus varillas, los antiguos están totalmente obsoletos, motivo por el cual se realizó el cambio de estos.

Se concluyó con una inspección visual y posterior con un chequeo operacional de los mismos, para constatar el libre movimiento de estos.

**Figura 50**

*Inspección de servos y cambio de control horn*



Nota. En la figura se observa la ubicación inadecuada de los servos, dentro de la estructura del ala y el cambio de control horn de varillas.

**3.3.8 Alineación de controles de vuelo**

Para la alineación de los controles de vuelo, se procede a realizar nuevamente el enlace o binding del transmisor con el receptor, se lo realiza con un radiocontrol FlySky FSI6 que sería nuestro transmisor, la antena receptora, su conector puente y la alimentación de una batería de 6v y 1600 mAh.

Colocar el conector puente en el plug B/VCC y alimentar con una batería de 4v hasta 6v en el plug PPM. Esta conexión permitirá que la luz led del receptor se encienda y se mantenga parpadeando.

Una vez alimentado el receptor con su puente y su batería, mantener presionado el botón bind key del radiocontrol y encenderlo sin soltarlo hasta que la luz led del receptor se detenga.

Cuando la luz roja se detiene, se proyecta en la pantalla la señal del receptor Rx lo cual indica que este ya está enlazado con nuestro emisor.

Se realiza los movimientos de los controles de vuelo para verificar el libre movimiento de estos y si no tiene alguna falla interna al momento de operarlo. Culminando con la prueba de funcionamiento de los servos, se alinea los mismos con el control horn, el cual regula el ángulo de las superficies móviles. Depende del operador la regulación de los mismos.

### **Figura 51**

*Alineación controles de vuelo*



Nota. La imagen demuestra el proceso de alineación de los controles de vuelo, operando los mismos con el radiocontrol enlazado a su receptor.

#### **3.3.9 Mantenimiento del motor**

El motor empleado en esta aeronave es un motor de dos tiempos, es una composición de alcohol metanol con nitro metano y aceite de arcino en diferentes proporciones. Se retira los pernos con ayuda de herramientas especiales para componentes de aeromodelismo, tomando en cuenta la posición de sus partes, es

importante hacer una señal en los componentes para saber la posición original al momento de volver a armarlo cuando se culmine con el mantenimiento.

Cabe señalar que este motor no se encuentra en condiciones de operación, debido a la falta de ciertas partes imprescindibles para la operación. Este motor carece del regulador de potencia, es decir no posee la llave que permite el paso regular de aire hacia el combustible, y en consecuencia esto dificulta tener un control total de la aeronave.

El eje que brinda al movimiento de la hélice está simplemente acoplado, es decir no contiene su propio eje, ya que al momento de girar el mismo para realizar el mantenimiento este se desprendió del motor, situación que no debería suceder con un motor normal.

Sus elementos de sujeción, pernos de cabezote hexagonal, tornillos tienen en su mayoría sus cabezas aisladas, por lo que es imposible chequear internamente el motor.

Y por último, no contiene la cabeza de acople que debería estar instalada en el eje de la hélice.

**Figura 52**

*Mantenimiento del motor*



Nota. El motor que se observa en la imagen, se encuentra inoperativo, se acopló una hélice para mejorar la imagen del mismo y se lo realizó la limpieza respectiva.

### **3.3.10 Prueba operacional de controles de vuelo de aeromodelo LY7**

Se ejecutó la prueba operacional de los controles de vuelo del aeromodelo, la rehabilitación de los mismos se realizaron con éxito, implementando una batería de 6v y un receptor FS-IA6B con switch de dos posiciones, estos elementos pertenecen a la aeronave.

Una vez culminado el proceso de calibración y pruebas operacionales de la aeronave, se concluye la rehabilitación de este aeromodelo.

**Figura 53***Aeromodelo LY7 rehabilitado*

Nota. En la figura se aprecia un gran cambio de aspecto estructural, se puede observar el desempeño en la rehabilitación de este.

**3.4 Pruebas operacionales del aeromodelo**

Para los vuelos de prueba de los aeromodelos rehabilitados, se ha visto necesario la implementación de un programa simulador que permita al operador familiarizarse con los controles y maniobras del aeromodelo.

Esta constante práctica dentro del simulador ayudará al operante a evitar el deterioro del aeromodelo, ya que, se requiere adquirir experiencia al manipular el radiocontrol que se empleará para el vuelo de los mismos.

El aeromodelo BX-04/SB-01 respondió favorablemente a los resultados esperados, logrando elevarse y sustentarse por más de 10 minutos en el aire, satisfaciendo así, la gran labor y el constante empeño dentro de la rehabilitación estructural y operacional de este.

Por consiguiente el aeromodelo LY7 presenta ciertas dificultades para cumplir con los requisitos de vuelo. Su motor se encuentra totalmente inoperativo, la falta de sus componentes como hélice, acople de hélice y regulador de carburador son algunos de los inconvenientes presentes en esta aeronave.

Por otra parte la implementación de un motor de las mismas características es un caso imposible, debido a que son motores muy pequeños y antiguos por lo que no existe demanda en el mercado.

No es recomendable la instalación de otro motor de distintas características, ya que los motores actuales son de mayor dimensión, al girar su hélice puede hacer contacto con el suelo y sufrir daños estructurales irreparables. Evidentemente el peso de la aeronave será mayor con la instalación de un motor actual. A su vez tomando en cuenta que la estructura del ala posee una barra de aluminio, lo cual lo hace aún más pesado y este no podrá elevarse.

Tomando en consideración estos inconvenientes, se resolvió realizar la rehabilitación estructural de la aeronave y a su vez la recuperación de sus sistemas de operación, es decir, servos, varillas y superficies móviles, así como también la instalación de un receptor que estará calibrado con el mismo R/C usado para la prueba de vuelo del modelo anterior.

Esto planteando como una solución alternativa, la cual puede servir como guía e incentivar a los estudiantes de la carrera de Mecánica Aeronáutica a realizar un proyecto de restauración de la aeronave o a su vez la construcción de una nueva aeronave, empleando los mismos componentes instalados en el aeromodelo LY7.

De esa forma los estudiantes se familiarizan con los componentes y pueden aplicar los conocimientos adquiridos en sus respectivas asignaturas.

### **3.5 Simulador**

El entrenamiento en el simulador permite adquirir ciertas destrezas y habilidades que con el tiempo se convierte en experiencia, lo cual es muy importante para la operación de los aeromodelos reales.

Se conecta el emisor al computador con ayuda de un hardware indispensable para el correcto funcionamiento y el enlace del mismo con el programa. Abierto el programa se procede a calibrar la emisora.

Una vez que se ha calibrado la emisora, se elige un modelo de aeronave con características semejantes a las de nuestros aeromodelos, con el objetivo de familiarizarse y desarrollar destrezas en estas, y de esa manera tener un mayor control en vuelo real.

Se realiza pruebas de potencia de motor, movimiento de alerones, elevadores y timón de profundidad, culminando con el chequeo operacional de los mandos, se procede a realizar un vuelo de prueba en el simulador.

Se realizó vuelos de prueba, en escenarios de alta, media y baja dificultad así como también se sometió a la aeronave a condiciones meteorológicas normales y extremas por ejemplo se aumentó la brisa de viento, se voló en condiciones lluviosas, etc.

El proceso de instalación y operación de este simulador usado para este entrenamiento virtual, se lo encuentra de manera más detallada en el Anexo 5.

## Figura 54

### *Simulador PhoenixRC*



Nota. Representación del funcionamiento del simulador.

## 3.6 Instalación del simulador

### 3.6.1 *Hardware*

Para el proceso de instalación, debemos asegurarnos de contar con los siguientes elementos:

**Tabla 1***Componentes para la instalación del software*

Componente	Característica
USB Dongle	Pequeños circuitos con drivers para distintos simuladores de vuelo. Luz led color cyan. Simulador de alta calidad
CD Instalador del simulador	Contiene más de 100 modelos
PhoenixRC_5	Variedad de escenarios
Cable de dos plug tipo stereo	Modo entrenamiento para aviones y helicópteros
Cable adaptador RC	Transmisor de datos entre usb dongle y cable adaptador R/C
Baterías AA (1,5v c/u) 4 unidades	Transmisor de datos de radiocontrol a usb dongle
R/C FLYSKY FS-I6	Brindan energía necesaria para el encendido y la operación del radiocontrol.
	Permite operar y controlar los movimientos de aeromodelos pertenecientes al simulador.

**Nota.** Esta tabla explica los componentes y sus características.

### **3.6.2 Instalación de software**

Para la operación de los aeromodelos rehabilitados, es indispensable familiarizarse primero con el simulador para de esa manera, adaptarse al radiocontrol y a sus mandos. Los pasos de instalación de este software, así como también la conexión de cables de hardware se encuentran en el Anexo 5.

### **3.6.3 Calibración de R/C**

Una vez instalado el software, se realiza la calibración adecuada del radiocontrol, de esa forma se podrá efectuar maniobras dentro del programa simulador y conforme vaya adquiriendo experiencia se podrá transmitir al aeromodelo real. Los pasos para la calibración se encuentra en el Anexo 6.

Las partes y funciones del sistema que posee el R/C Flysky FS-I6 para calibrar con el receptor del aeromodelo, se lo puede encontrar en el Anexo 3.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

La información recopilada permitió conocer y reconocer los materiales empleados para la rehabilitación de las aeronaves, entre los que se pudo reconocer: balsa, control horn, masilla universal, material monokote para el recubrimiento de alas y fuselaje de las aeronaves, a su vez se implementó receptores, baterías de 6v y 1600 mAh, así como la instalación de bisagras para las superficies móviles del conjunto alar y del conjunto estabilizador horizontal y vertical.

El entrenamiento en el simulador de vuelo permitió acoplarse al funcionamiento de un aeromodelo, desarrollar y adquirir destrezas para el adecuado pilotaje y maniobras en las aeronaves al momento de realizar las pruebas operacionales.

La aeronave BX-04/SB-01 se encuentra en óptimas condiciones de vuelo. Se realizó las respectivas pruebas de vuelo con la satisfacción de haber cumplido con las expectativas de este proyecto de titulación.

## 4.2 Recomendaciones

Tomar en cuenta la fragilidad de los materiales empleados tanto en lo estructural como en el sistema electrónico de la aeronave, tener precaución y asegurarse de realizar la conexión correcta al momento de conectar la batería y el servo del ala.

Realizar la adecuada configuración del simulador con el radio-mando siguiendo debidamente los pasos sin exceptuar alguno, la calibración debe ser la adecuada para mantener los mismos controles que en los aeromodelos, de esa manera se puede obtener la experiencia necesaria para pilotar las aeronaves.

Cumplir estrictamente los pasos descritos en el manual de operación y manual de mantenimiento de la aeronave BX-04/SB-01, para que esta mantenga un funcionamiento continuo y sus componentes permanezcan en óptimas condiciones y su vida útil sea mayor.

### 4.3 Glosario

**RPA (Remoted Pilot Aircraft):** Aeronave pilotada remotamente. Vehículo aéreo controlado a distancia.

**RPAS (Remoted Pilot Aircraft System):** Sistema de la aeronave pilotada remotamente. Sistema que controla los mandos y las órdenes del operador de vuelo.

**AGL (Above Ground Level):** Sobre el nivel del suelo.

**VMC (Visual Meteorologic Condition):** Condición meteorológica visual.

**MTOW (Maximum Takeoff Weight):** Peso máximo de despegue.

#### 4.4 Tabla de costos

##### 4.4.1 Costos primarios

**TABLA DE COSTOS PRIMARIOS**

<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Monokote avión trainer 51	2	50 \$
Vinil avión Cessna	2	10 \$
Bisagras de nylon	18	36 \$
Filtro glow	1	6 \$
Batería 1600 mAh 6V	2	64 \$
Seguros de motor	1	3 \$
Control horn	1	3 \$
Switch batería	2	24 \$
Spinner	1	12 \$
Hélice de nylon	1	10 \$
Tanque de combustible	1	15 \$
Forrado de avión	2	80 \$
Reparación estructural	2	80 \$
Reconstrucción, calibración controles de vuelo	2	20 \$
Capacitación	1	300 \$
Calibraciones	1	100 \$
Operación en tierra	1	200 \$
Vuelo de prueba	1	100 \$
R/C Flysky FS-I6	1	90 \$
Cables adaptadores	2	30 \$
Receptores FS-IA6B	2	80\$
Software simulador	1	50 \$

**TABLA DE COSTOS PRIMARIOS**

<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Impresión de adhesivos	3	30 \$
<b>TOTAL</b>		<b>1,293 \$</b>

Costos secundarios

**TABLA DE COSTOS SECUNDARIOS**

<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
Transporte	-	180 \$
Estadía	10 días	120 \$
Quema de CD	3	5,50 \$
<b>TOTAL</b>		<b>305,50 \$</b>

Costo total

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Costos primarios	1,293 \$
Costos secundarios	305,50 \$
<b>TOTAL</b>	<b>1,598.50 \$</b>

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- abcsaladillo. (10 de Septiembre de 2019). *abcsaladillo*. Recuperado el 4 de Agosto de 2020, de abcsaladillo: <https://www.abcsaladillo.com.ar/saladillo/deportes/hubo-actividad-de-aerodelismo-en-el-saladillo-automovil-club/>
- Aerodeporte. (2015). *Aerodeporte*. Recuperado el 23 de Julio de 2020, de Aerodeporte: [https://aerodeporte.blogspot.com/2015/11/introduccion-al-aerodelismo.html?fbclid=IwAR3-Mb3\\_m0h5Z9Np8k7fsIQWU-3MCp\\_b2yzCIFlixCtKrUEBX4uK8I0J9Gs](https://aerodeporte.blogspot.com/2015/11/introduccion-al-aerodelismo.html?fbclid=IwAR3-Mb3_m0h5Z9Np8k7fsIQWU-3MCp_b2yzCIFlixCtKrUEBX4uK8I0J9Gs)
- Aerodelismo - Fácil*. (26 de Noviembre de 2014). Recuperado el 3 de Febrero de 2020, de Aerodelismo - Fácil: <http://aerodelismo-facil.blogspot.com/2014/11/materiales-y-herramientas.html>
- Aerodelismofacil*. (06 de Agosto de 2019). Recuperado el 6 de Febrero de 2020, de Aerodelismofacil: <http://www.aerodelismofacil.com/empezar.htm>
- Deportes Aéreos*. (s.f.). Recuperado el 9 de Febrero de 2020, de Deportes Aéreos: <http://deportesaereos.info/Aerodelismo.html>
- fpvmax*. (2016). Recuperado el 19 de Febrero de 2020, de fpvmax: <http://fpvmax.com/que-es-el-fpv/>
- HobbyPlay*. (s.f.). Recuperado el 15 de Julio de 2020, de HobbyPlay: <https://www.hobbyplay.net/simulacion/simulador-phoenix-v5-spektrum-dx4e>
- Morato, N. (s.f.). *Ikkaro*. Recuperado el 27 de Julio de 2020, de Ikkaro: <https://www.ikkaro.com/introduccion-al-aerodelismo-electrico/>
- RealFlight*. (2018). Recuperado el 10 de Julio de 2020, de RealFlight: <https://www.realflight.com/index.php>
- Rowlhouse*. (2019). Recuperado el 16 de Junio de 2020, de Rowlhouse: <http://www.rowlhouse.co.uk/PicaSim/>
- Tuelectrónica*. (s.f.). Recuperado el 10 de Junio de 2020, de Tuelectrónica: <https://tuelectronica.es/obtener-salida-rssi-de-un-receptor-de-aerodelismo/>

# ANEXOS