



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

**“Reparación de los carenados de las ruedas en materiales compuestos, en referencia al manual de reparaciones estructurales e información técnica aplicable a la aeronave Cessna 150M, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Sede Latacunga”**

Quiroz Culqui, Carmen Cecilia

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología en Mecánica Aeronáutica mención Aviones

Monografía previa a la obtención del título de Tecnóloga en Mecánica Aeronáutica mención

Aviones

Tlgo. Arellano Reyes, Milton Andrés

03 de agosto del 2022

Latacunga

## Reporte de verificación de contenido



1. Trabajo Quiz Carmen\_v2.pdf  
Scanned on: 17 35 August 2, 2022 UTC



Medical Words	190
Words with Minor Changes	174
Paraphrased Words	258
Orphaned Words	0

Firma:

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Milton A. Reyes".

Tigo. Arellano Reyes, Milton Andrés

C.C.: 1723064513



**Departamento De Ciencias De La Energía Y Mecánica**  
**Carrera De Tecnología En Mecánica Aeronáutica Mención Aviones**

**Certificación**

Certifico que la monografía, "Reparación de los carenados de las ruedas en materiales compuestos, en referencia al manual de reparaciones estructurales e información técnica aplicable a la aeronave Cessna 150M, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Sede Latacunga" fue realizado por la señorita Quiroz Culqui, Carmen Cecilia, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 03 de agosto del 2022

Firma:

.....  
**Tigo. Arellano Reyes, Milton Andrés**

C.C.: 1723064513



Departamento De Ciencias De La Energía Y Mecánica  
Carrera De Tecnología En Mecánica Aeronáutica Mención Aviones

Responsabilidad de autoría

Yo, Quiroz Culquí, Carmen Cecilia, con cédula de ciudadanía N° 0503149429, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: "Reparación de los carenados de las ruedas en materiales compuestos, en referencia al manual de reparaciones estructurales e información técnica aplicable a la aeronave Cessna 150M, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Sede Latacunga" es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 03 de agosto del 2022

Firma:

Quiroz Culquí, Carmen Cecilia

C.C.: 0503149429



Departamento De Ciencias De La Energía Y Mecánica

Carrera De Tecnología En Mecánica Aeronáutica Mención Aviones

Autorización de publicación

Yo, Quiroz Culqui, Carmen Cecilia, con cédula de ciudadanía N° 0503149429, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: "Reparación de los carenados de las ruedas en materiales compuestos, en referencia al manual de reparaciones estructurales e información técnica aplicable a la aeronave Cessna 150M, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Sede Latacunga", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 03 de agosto del 2022

Firma:

Quiroz Culqui, Carmen Cecilia

C.C.: 0503149429

### **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado en primer lugar a Dios, por darme fortaleza y sabiduría a lo largo de todos los años de estudio para enfrentar los momentos difíciles y permitirme llegar a la culminación de mi carrera universitaria que es lo que más me apasiona. A mi madre Yolanda, por darme su apoyo incondicional y estar junto a mí en todo momento durante toda mi etapa de aprendizaje, y por ser el ejemplo de vida a seguir. A mi esposo Arturo Alejandro y a mi Hija Victoria, quienes con amor y comprensión me dieron la fuerza necesaria para poder afrontar mis miedos y por la confianza depositada en mí durante todo el proceso de formación.

Quiroz Culqui, Carmen Cecilia

## **Agradecimiento**

Doy gracias a Dios por permitirme cumplir un objetivo más en mi vida académica, y por darme todas las capacidades físicas y mentales para poder realizarlo, y sobre todo por poner a las mejores personas en mi camino para guiarme con su amplio conocimiento a lo largo de todo mi aprendizaje continuo. A mi familia por todos sus consejos y por confiar siempre en mí. A la noble institución la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, que me ha permitido adquirir conocimientos y desarrollar fortalezas en el ámbito de sus valores institucionales. A mi tutor el Tlgo. Andrés Arellano, quien supo guiarme por el camino del conocimiento y la investigación a lo largo de todo este periodo. Y finalmente agradezco a todos los docentes de la carrera por todas las enseñanzas y vivencias obtenidas a lo largo de la vida universitaria, y por todos sus consejos y recomendaciones para seguir adelante.

Quiroz Culqui, Carmen Cecilia

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido .....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento .....	7
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>8</b>
Índice de tablas .....	11
Índice de figuras .....	12
Resumen .....	15
Abstract.....	16
Capítulo I.....	17
Planteamiento del problema.....	17
Antecedentes .....	17
Planteamiento del problema .....	18
Justificación e importancia.....	18
Objetivos .....	19
<i>Objetivo general</i> .....	19
<i>Objetivos específicos</i> .....	19
Alcance.....	20
Capítulo II.....	21
Marco teórico.....	21
Aeronave Cessna 150M.....	21



<i>Historia de la aeronave Cessna 150M</i> .....	21
<i>Descripción de la aeronave Cessna 150M</i> .....	22
<i>Datos técnicos y características de la aeronave Cessna 150M</i> .....	23
<b>Sistema del tren de aterrizaje de la aeronave Cessna 150M</b> .....	26
<i>Tren de aterrizaje principal (MLG)</i> .....	27
<i>Tren de aterrizaje de nariz (NLG)</i> .....	29
<b>Materiales compuestos</b> .....	31
<i>Alcance de los materiales compuestos</i> .....	31
<i>¿Qué es un material compuesto?</i> .....	31
<i>Matrices</i> .....	34
<i>Refuerzos</i> .....	39
<i>Mecánica de laminados</i> .....	42
<i>Procesos de fabricación</i> .....	43
<b>Mantenimiento aeronáutico</b> .....	48
<i>Generalidades del Mantenimiento Aeronáutico</i> .....	48
<i>Tipos de Mantenimiento Aeronáutico</i> .....	50
<b>Documentación a utilizar en el Mantenimiento Aeronáutico</b> .....	54
<i>Documentación Operacional</i> .....	54
<i>Documentación Técnica</i> .....	54
<b>Medidas de seguridad en mantenimiento aeronáutico</b> .....	56
<b>Capítulo III</b> .....	59
<b>Desarrollo del tema</b> .....	59
<b>Descripción general</b> .....	59
<b>Preparación del área de trabajo</b> .....	59
<b>Inspección general de la aeronave</b> .....	60

	10
<b>Inspección de los componentes del tren de aterrizaje .....</b>	<b>61</b>
<i>Tren de aterrizaje principal.....</i>	<i>61</i>
<i>Tren de aterrizaje de nariz.....</i>	<i>63</i>
<i>Sistema de rueda y frenos.....</i>	<i>68</i>
<b>Diseño de los carenados de las ruedas .....</b>	<b>70</b>
<b>Proceso de fabricación de los carenados de las ruedas .....</b>	<b>72</b>
<i>Preparación del molde.....</i>	<i>72</i>
<i>Preparación del material.....</i>	<i>73</i>
<i>Procesamiento .....</i>	<i>75</i>
<i>Post-procesamiento.....</i>	<i>78</i>
<i>Inspección y control de calidad .....</i>	<i>79</i>
<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>81</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>81</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>82</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>83</b>
<b>Abreviaturas .....</b>	<b>86</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>88</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>90</b>

**Índice de tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Parámetros generales de la aeronave Cessna 150M</i> .....	26
<b>Tabla 2</b> <i>Fortalezas y debilidades de los compuestos</i> .....	33
<b>Tabla 3</b> <i>Características resina poliéster</i> .....	36
<b>Tabla 4</b> <i>Características resina viniléster</i> .....	37
<b>Tabla 5</b> <i>Características resina epoxi</i> .....	39
<b>Tabla 6</b> <i>Características fibra de vidrio</i> .....	40
<b>Tabla 7</b> <i>Características fibra de carbono</i> .....	41
<b>Tabla 8</b> <i>Características fibra de aramida</i> .....	42
<b>Tabla 9</b> <i>Medidas de seguridad en el mantenimiento de aeronaves</i> .....	58

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Aeronave Cessna 150M</i> .....	21
<b>Figura 2</b> <i>Vistas de la aeronave Cessna 150M</i> .....	23
<b>Figura 3</b> <i>Dimensiones principales Cessna 150M</i> .....	24
<b>Figura 4</b> <i>Características generales de la aeronave Cessna 150M</i> .....	25
<b>Figura 5</b> <i>Tren de aterrizaje de la aeronave Cessna 150M</i> .....	26
<b>Figura 6</b> <i>Tren de aterrizaje tipo triciclo</i> .....	27
<b>Figura 7</b> <i>Tren de aterrizaje principal Cessna 150M</i> .....	28
<b>Figura 8</b> <i>Tren de aterrizaje de nariz Cessna 150M</i> .....	29
<b>Figura 9</b> <i>Carenados de las ruedas</i> .....	30
<b>Figura 10</b> <i>Neumáticos y conjunto de frenos</i> .....	30
<b>Figura 11</b> <i>Alcance de los materiales compuestos</i> .....	31
<b>Figura 12</b> <i>Definición de un compuesto</i> .....	32
<b>Figura 13</b> <i>Relación tensión - deformación en un material compuesto</i> .....	33
<b>Figura 14</b> <i>Resina poliéster</i> .....	36
<b>Figura 15</b> <i>Resina viniléster</i> .....	37
<b>Figura 16</b> <i>Resina epoxi</i> .....	38
<b>Figura 17</b> <i>Fibra de vidrio</i> .....	40
<b>Figura 18</b> <i>Fibra de carbono</i> .....	41
<b>Figura 19</b> <i>Fibra de aramida</i> .....	41
<b>Figura 20</b> <i>Sistema de coordenadas local (1-2-3) y global (x-y-z) de una lámina</i> .....	42
<b>Figura 21</b> <i>Secuencia de laminación</i> .....	43
<b>Figura 22</b> <i>Laminación manual (Wet Lay-up/Hand Lay-up)</i> .....	44
<b>Figura 23</b> <i>Infusión por bolsa de vacío (Vacuum Bagging, Wet Lay-up)</i> .....	45

	13
<b>Figura 24</b> <i>Filament Winding</i> .....	46
<b>Figura 25</b> <i>Moldeo por transferencia de resina (RTM)</i> .....	47
<b>Figura 26</b> <i>Prepreg - Autoclave</i> .....	48
<b>Figura 27</b> <i>Proceso del Mantenimiento Aeronáutico</i> .....	49
<b>Figura 28</b> <i>Componente con Vida Límite o Vencimiento</i> .....	50
<b>Figura 29</b> <i>Componente con Overhaul o Recorrida</i> .....	51
<b>Figura 30</b> <i>Componente On Condition</i> .....	51
<b>Figura 31</b> <i>Mantenimiento Predictivo</i> .....	52
<b>Figura 32</b> <i>Mantenimiento Restaurativo</i> .....	53
<b>Figura 33</b> <i>Equipo de protección personal</i> .....	57
<b>Figura 34</b> <i>Indicación de peligro en el manual de mantenimiento</i> .....	58
<b>Figura 35</b> <i>Área de trabajo para materiales compuestos</i> .....	60
<b>Figura 36</b> <i>Inspección general de la aeronave</i> .....	60
<b>Figura 37</b> <i>Inspección del tren de aterrizaje principal_1</i> .....	61
<b>Figura 38</b> <i>Inspección del tren de aterrizaje principal_2</i> .....	62
<b>Figura 39</b> <i>Inspección de los carenados de las ruedas del tren principal_1</i> .....	63
<b>Figura 40</b> <i>Inspección de los carenados de las ruedas del tren principal_2</i> .....	63
<b>Figura 41</b> <i>Inspección del tren de aterrizaje de nariz_1</i> .....	64
<b>Figura 42</b> <i>Inspección del tren de aterrizaje de nariz_2</i> .....	64
<b>Figura 43</b> <i>Inspección del carenado de la rueda del tren de nariz_1</i> .....	65
<b>Figura 44</b> <i>Inspección del carenado de la rueda del tren de nariz_2</i> .....	65
<b>Figura 45</b> <i>IPC - carenado tren principal</i> .....	66
<b>Figura 46</b> <i>IPC - carenado tren de nariz</i> .....	67
<b>Figura 47</b> <i>Sistema de rueda tren principal</i> .....	68
<b>Figura 48</b> <i>Sistema de rueda tren de nariz</i> .....	69

	14
<b>Figura 49</b> <i>Inspección del sistema de rueda del tren principal</i> .....	69
<b>Figura 50</b> <i>Inspección del sistema de rueda del tren de nariz</i> .....	70
<b>Figura 51</b> <i>Aeronave en tamaño real en 3D</i> .....	70
<b>Figura 52</b> <i>Carenado – vista frontal</i> .....	71
<b>Figura 53</b> <i>Carenado – vista lateral</i> .....	71
<b>Figura 54</b> <i>Carenado – vista superior</i> .....	71
<b>Figura 55</b> <i>Preparación del molde_1</i> .....	72
<b>Figura 56</b> <i>Preparación del molde_2</i> .....	73
<b>Figura 57</b> <i>Hoja técnica resina epoxi</i> .....	74
<b>Figura 58</b> <i>Hoja técnica de la fibra de vidrio</i> .....	75
<b>Figura 59</b> <i>Agente desmoldante</i> .....	76
<b>Figura 60</b> <i>Corte del refuerzo de fibra de vidrio</i> .....	76
<b>Figura 61</b> <i>Laminación manual_1</i> .....	77
<b>Figura 62</b> <i>Laminación manual_1</i> .....	77
<b>Figura 63</b> <i>Desprendimiento del molde</i> .....	78
<b>Figura 64</b> <i>Pintura de los carenados</i> .....	79
<b>Figura 65</b> <i>Reducción de la resistencia gracias a los carenados</i> .....	80
<b>Figura 66</b> <i>Inspección y control de calidad</i> .....	80

## Resumen

El presente trabajo de titulación contiene información acerca de la reparación de los carenados de las ruedas en materiales compuestos, en referencia al manual de reparaciones estructurales e información técnica aplicable a la aeronave Cessna 150M, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Sede Latacunga. El mantenimiento aeronáutico cumple un papel muy importante en el campo de la aviación, ya que es indispensable cumplir con estrictos parámetros que garanticen la seguridad de la aeronave y sus sistemas. A través de la recopilación de información técnica, se puede interpretar los procedimientos necesarios para una correcta inspección de los componentes de la aeronave, y en este caso para llevar a cabo los procedimientos de reparación en materiales compuestos de los carenados de las ruedas. Una vez realizado todo lo anterior, es necesario llevar a cabo la detección y evaluación del estado de los carenados, previo a la reparación de los mismos. Al realizar una inspección adecuada y las reparaciones correctas, la aeronave adquirirá una condición operativa para que pueda seguir sirviendo de material de estudio para las futuras generaciones de mecánicos aeronáuticos. Además, para la realización del proyecto se cuenta con herramientas, equipos de apoyo y documentación técnica necesaria para ejecutar las diferentes inspecciones y reparaciones de manera óptima.

*Palabras clave:* inspección visual, carenados, materiales compuestos, reparación estructural.

### **Abstract**

The present degree work contains information about the repair of wheel fairings in composite materials, in reference to the structural repair manual and technical information applicable to the Cessna 150M aircraft, belonging to the University of the Armed Forces - ESPE Latacunga. Aeronautical maintenance plays a very important role in the field of aviation, since it is essential to comply with strict parameters that guarantee the safety of the aircraft and its systems. Through the collection of technical information, it is possible to interpret the necessary procedures for a correct inspection of the aircraft components, and in this case to carry out the repair procedures in composite materials of the wheel fairings. Once all of the above has been done, it is necessary to detect and evaluate the condition of the fairings, prior to their repair. By performing a proper inspection and correct repairs, the aircraft will be brought to operational condition so that it can continue to serve as study material for future generations of aircraft mechanics. In addition, to carry out the project there are tools, support equipment and technical documentation necessary to carry out the different inspections and repairs optimally.

*Key words:* visual inspection, fairings, composite materials, structural repair.



## Capítulo I

### Planteamiento del problema

#### Antecedentes

Con más de 90 años la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) se ha distinguido por aportar soluciones prácticas a las necesidades de la sociedad, contribuyendo a la generación de nuevos conocimientos, siendo así un referente a nivel nacional e internacional. La universidad cuenta con la Unidad de Gestión de Tecnologías, anteriormente llamada Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico (ITSA), la cual creó la carrera de Mecánica Aeronáutica, basados en la necesidad de aportar a la industria aeronáutica en el Ecuador técnicos encargados del mantenimiento de aeronaves.

La carrera de Mecánica Aeronáutica es la única ofertada en el país, es así que cuenta con varios laboratorios totalmente equipados y aviones escuela, los cuales son adecuados para realizar tareas de inspección, remoción y mantenimiento de componentes, permitiendo de esta manera que los estudiantes puedan poner en práctica sus conocimientos adquiridos. La instrucción impartida, se basa en conocimientos teóricos y prácticos sobre el mantenimiento de aeronaves y uso de documentación técnica, con el fin de mantener la aeronavegabilidad de las aeronaves.

Para mantener los aviones escuela en condiciones adecuadas y evitar que sus componentes se deterioren, se deben realizar diferentes tipos de mantenimiento en diferentes periodos de tiempo, como son, mantenimiento preventivo, predictivo y restaurativo. Es así que se ha visto la necesidad de realizar la reparación de los carenados de las ruedas de la aeronave Cessna 150M, los mismos que están

fabricados en materiales compuestos.

### **Planteamiento del problema**

Las aeronaves requieren de programas de mantenimiento para que las aeronaves sean confiables y seguras, a través del cumplimiento de diferentes tipos de mantenimiento, ya sea mantenimiento preventivo, predictivo y/o restaurativo según corresponda. En los programas de mantenimiento se efectúan diversas inspecciones a los diferentes sistemas de las aeronaves, entre ellas se destacan inspecciones y reparaciones de diferentes componentes estructurales.

La Unidad de Gestión de Tecnologías cuenta con aviones escuela, los cuales son adecuados para realizar tareas de inspección, remoción y mantenimiento de diferentes componentes, desafortunadamente la aeronave Cessna 150M se encuentra a la intemperie desde hace mucho tiempo sufriendo el deterioro constante de diferentes sistemas, componentes, ferretería, entre otros. Es así que se ha visto la necesidad de realizar la reparación de los carenados de las ruedas del tren principal de la aeronave.

Es necesario realizar la reparación, ya que dichos carenados evitarán el deterioro constante de las ruedas y sus diferentes componentes, además se podrá ejemplificar de manera adecuada la forma aerodinámica que deben tener los carenados para disminuir la resistencia aerodinámica producto de la interferencia que genera el tren de aterrizaje en vuelo de las aeronaves Cessna 150M que actualmente se encuentran operativas.

### **Justificación e importancia**

Los avances tecnológicos en el ámbito aeronáutico, hacen necesarios la realización de inspecciones y reparaciones de los componentes estructurales de los aviones escuela, principalmente de la aeronave Cessna 150M, esto teniendo en consideración la evolución de nuevos materiales utilizados en la fabricación de

componentes, ya que son mucho más livianos y muy resistentes a través de la utilización de materiales compuestos, como son fibra de vidrio, fibra de carbono, entre otros.

Al mantener la estructura de la aeronave en buenas condiciones y evitar que se encuentren diferentes componentes a la intemperie, ayudarán a preservar su vida útil y evitar daños internos y externos de sus sistemas y componentes. Con la realización del presente proyecto, se beneficiarán las futuras generaciones de estudiantes y docentes de la carrera de Mecánica Aeronáutica, ya que contarán con materiales de apoyo para una correcta instrucción en los laboratorios y los aviones escuela.

El proyecto es factible ya que la universidad cuenta con herramientas, equipos de apoyo y documentación técnica necesaria para realizar las diferentes reparaciones en la estructura de la aeronave, principalmente a los carenados de las ruedas de la aeronave Cessna 150M, los mismos que están fabricados en materiales compuestos. Así los estudiantes podrán familiarizarse con los procedimientos de trabajo en materiales compuestos y obtendrán las destrezas necesarias para una correcta reparación estructural.

## **Objetivos**

### ***Objetivo general***

Reparar los carenados de las ruedas en materiales compuestos, en referencia al manual de reparaciones estructurales e información técnica aplicable a la aeronave Cessna 150M, perteneciente a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE Sede Latacunga.

### ***Objetivos específicos***

- Recopilar información técnica necesaria para llevar a cabo los procedimientos de reparación en materiales compuestos.

- Detectar y evaluar el estado de los carenados de las ruedas, previo a la reparación de los mismos.
- Implementar un área de trabajo adecuada para la realización de reparaciones estructurales en materiales compuestos.
- Realizar la reparación estructural de los carenados de las ruedas, en base a los procedimientos indicados en la documentación técnica disponible.

**Alcance**

El presente proyecto pretende realizar la reparación de los carenados de las ruedas en materiales compuestos, de la aeronave Cessna 150M, en referencia al manual de reparaciones estructurales e información técnica aplicable. Esto con el fin de mantener en condiciones adecuadas los diferentes componentes, aumentando así la funcionalidad de la aeronave para la utilización por parte de los docentes y estudiantes en el desarrollo de prácticas de mantenimiento.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Aeronave Cessna 150M

##### *Historia de la aeronave Cessna 150M*

El Cessna 150 es un avión básico de entrenamiento y turismo diseñado y construido por la American Aircraft Cessna Company. Es un ala alta monomotor de 2 asientos. También puede desempeñar el papel de entrenador para instrumentos y vuelos acrobáticos. Se encuentra entre los aviones más famosos de su clase y se han producido más de 23000 unidades en 8 versiones diferentes (ECURED, 2018).

#### Figura 1

*Aeronave Cessna 150M*



*Nota.* El gráfico muestra la aeronave Cessna 150M, la misma que ha ganado popularidad a lo largo de los años por su versatilidad. Tomado de (ECURED, 2018).

Esta aeronave ha hecho la historia de la aviación ligera mundial, de hecho, es uno de los aviones más populares del mundo y se ha construido en grandes cantidades. Representó el regreso de la compañía estadounidense al campo de la capacitación biplaza pequeña y el turismo aéreo después de una ausencia de siete años. A lo largo de los años, el 150 se ha modernizado insertando nuevos detalles, como una deriva de flecha y la parte del fuselaje con sección reducida. Desde los primeros años de su presentación, el pequeño avión tuvo un gran éxito de ventas y también fue construido bajo licencia en Francia por Reims Aviation. En 1977 Cessna decidió reemplazar el Modelo 150 en las líneas de producción del Modelo 152, similar en todos los aspectos excepto el motor y la potencia aplicada. El Modelo 150 fue aprobado el 10 de julio de 1958 y las primeras máquinas comenzaron a entregarse a los clientes a partir del mes siguiente.

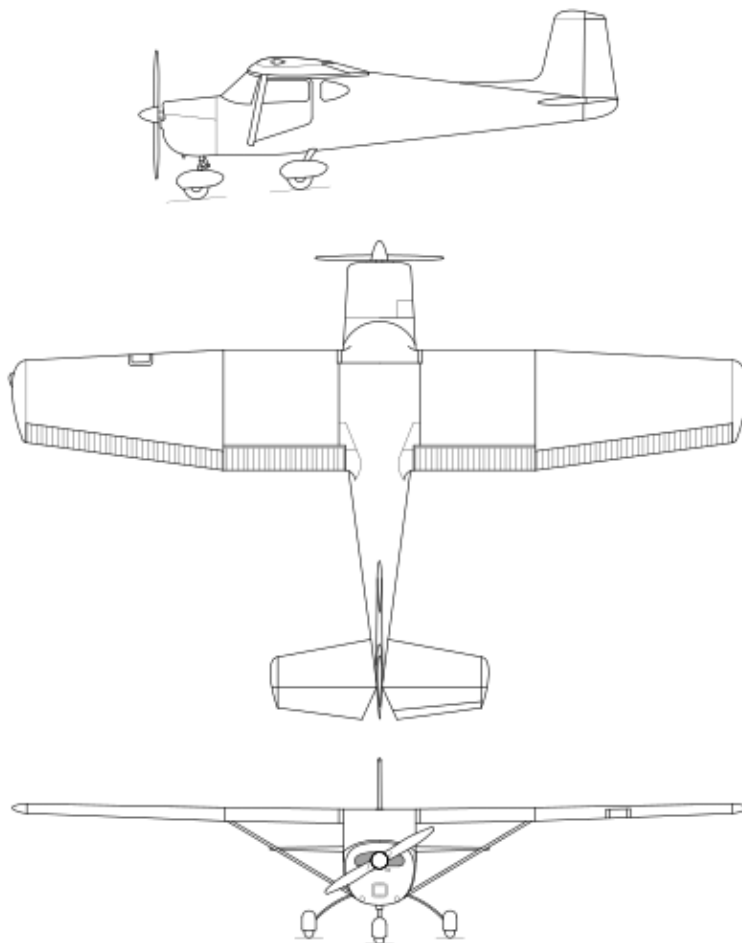
### ***Descripción de la aeronave Cessna 150M***

El Cessna 150 es un avión triciclo de aviación general de dos asientos, es el quinto avión civil más fabricado de la historia. Se ofreció a la venta en los modelos 150 básicos, Commuter, Commuter II, Patroller y los modelos acrobáticos Aerobat. Su primer vuelo tuvo lugar el 12 de septiembre de 1957 y la producción comenzó en 1958.

El rendimiento y el manejo del Cessna 150 han demostrado ser excepcionales a lo largo de su producción, con el primer modelo navegando a 121 mph al 75% de potencia. Un popular avión de entrenamiento, el 150 contiene una estabilidad excelente en todos los ejes. Está propulsado por un motor a pistón Continental Modelo O-200-A de cuatro cilindros opuestos horizontalmente con 100 hp. Un tanque de combustible ubicado en cada ala que suministra 13 galones de combustible a través de la válvula de cierre de combustible al carburador (Proflight, 2019).

**Figura 2**

*Vistas de la aeronave Cessna 150M*



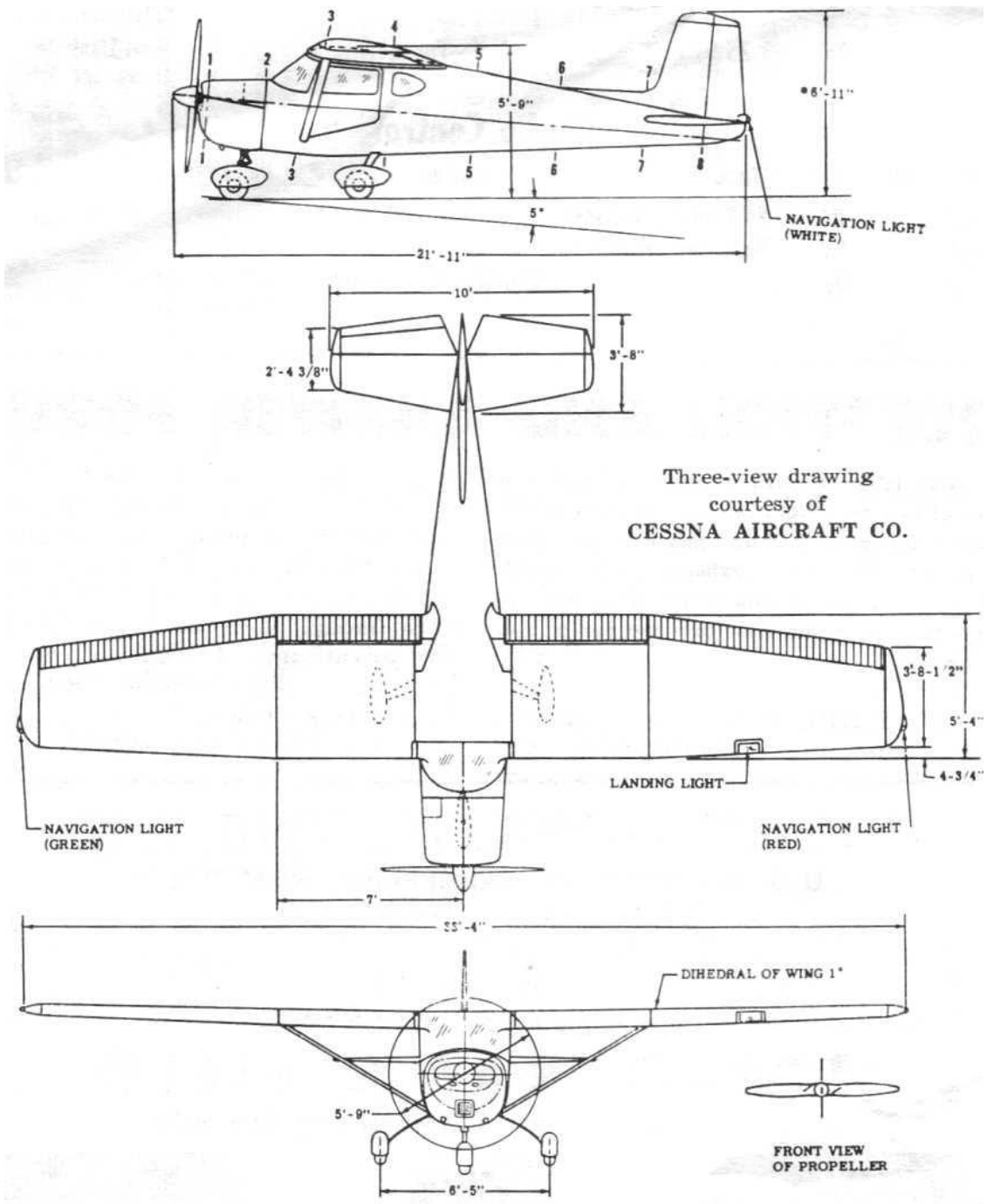
*Nota.* El gráfico muestra las vistas de la aeronave Cessna 150M. Tomado de (Proflight, 2019).

***Datos técnicos y características de la aeronave Cessna 150M***

El modelo Cessna 150M está propulsado por un motor Continental O-200-A de 100 hp con carburador y está equipado con una hélice de paso fijo de dos palas. Los flaps se despliegan con una palanca situada entre los dos asientos, presenta una capacidad de equipaje de 80 libras (36.28 kg) (DISCIPLES FLIGHT, 2022). En la Figura 3, se muestran las dimensiones principales del fuselaje.

**Figura 3**

*Dimensiones principales Cessna 150M*



*Nota.* El gráfico muestra las áreas y dimensiones generales de la aeronave Cessna 150M.

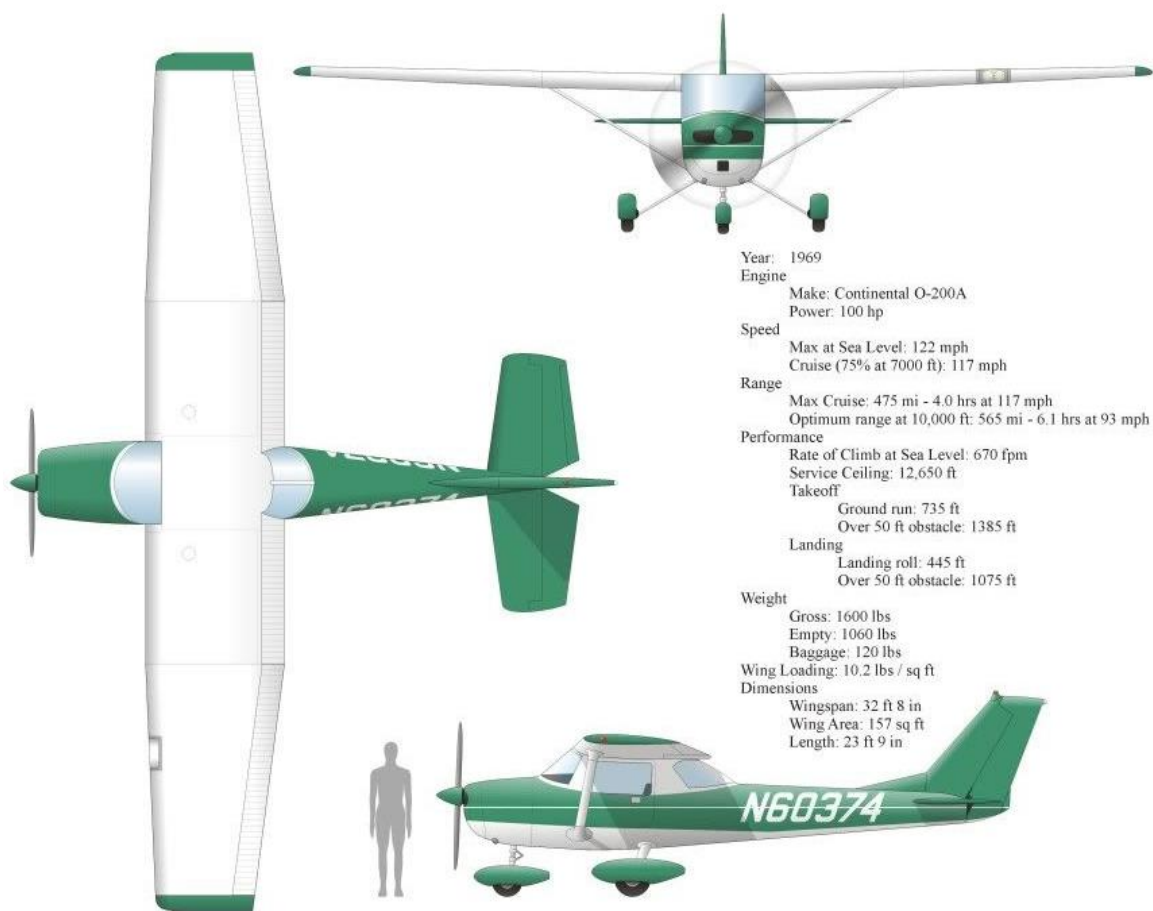
Tomado de (Textron Aviation Inc., 2022).



En la Tabla 1 y Figura 4, se pueden observar las características generales de la aeronave, la misma que ofrece diferentes ventajas frente a otras de su misma categoría. El avión es uno de los modelos más populares durante la existencia de los fabricantes de aviones estadounidenses.

#### Figura 4

##### *Características generales de la aeronave Cessna 150M*



*Nota.* El gráfico muestra las características generales de la aeronave Cessna 150M, uno de los modelos más populares de los fabricantes de aviones estadounidenses. Tomado de (Textron Aviation Inc., 2022).

**Tabla 1***Parámetros generales de la aeronave Cessna 150M*

<b>Características generales</b>	
Tripulación	1
Capacidad	1 pasajero
Longitud	7.5 m (24.7 ft)
Altura	2.6 m (8.5 ft)
Envergadura	10.2 m (33.3 ft)
Superficie alar	15 m <sup>2</sup> (161.5 ft <sup>2</sup> )
Peso vacío	504 kg (1110.8 lb)
Peso máximo al despegue	730 kg (1608.9 lb)

*Nota.* Tomado de (Planephd LLC, 2022).**Sistema del tren de aterrizaje de la aeronave Cessna 150M**

El tren de aterrizaje es un elemento imprescindible y única de las aeronaves. Es la conexión entre el avión y el suelo. Técnicamente hablando y de forma resumida, el tren de aterrizaje es una estructura formada por el conjunto de las ruedas, los soportes, los amortiguadores y diferentes equipos que utiliza un avión para maniobrar en la superficie y para aterrizar (Cessna Aircraft Company, 1972). El tren de aterrizaje de la aeronave Cessna 150M es del tipo triciclo y fijo como se observa en la Figura 5.

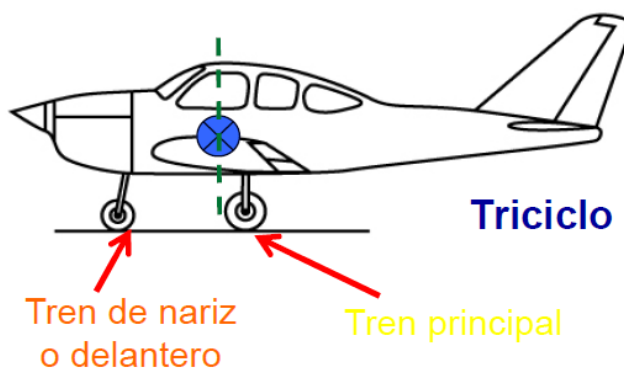
**Figura 5***Tren de aterrizaje de la aeronave Cessna 150M*

*Nota.* El gráfico muestra el tren de aterrizaje de la aeronave Cessna 150M, que es de tipo triciclo y fijo. Tomado de (Textron Aviation Inc., 2022).

La función del tren de aterrizaje es absorber las cargas de aterrizaje al momento de su contacto contra la superficie, es aceptable su operación para las condiciones de resistencia del fuselaje de la aeronave al momento del impacto contra una superficie dura. La configuración del tren de aterrizaje tipo triciclo de la aeronave está constituida por dos conjuntos fundamentales: tren de aterrizaje principal y tren de aterrizaje de nariz (OÑATE, 2019).

### Figura 6

*Tren de aterrizaje tipo triciclo*



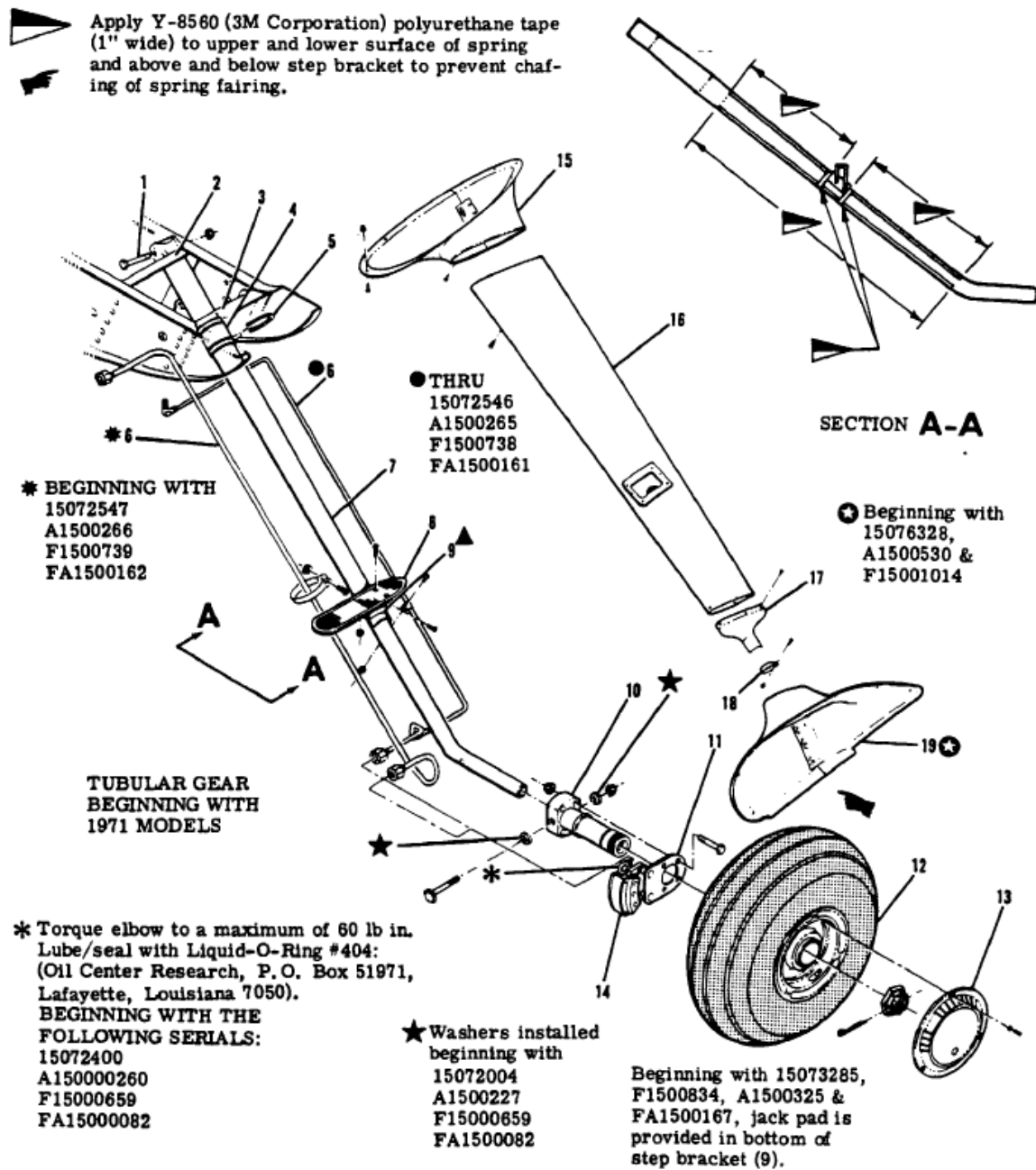
*Nota.* Tomado de (Manual de Vuelo, 2020).

### **Tren de aterrizaje principal (MLG)**

Soporta la mayor parte del peso del avión en tierra. Está constituido por dos conjuntos de una rueda. Además, el tren principal incluye mecanismos que cumplen funciones diversas en la operación del tren, tales como amortiguadores, frenos, neumáticos, etc. (OÑATE, 2019). El tren de aterrizaje principal de la aeronave Cessna 150M consta de puntales amortiguadores de aire/aceite, y contiene ruedas con frenos tipo disco y neumáticos tipo cámara. Los discos de freno se sujetan a las ruedas con pernos pasantes de capuchón y son una parte integral de la rueda. En la Figura 7 se pueden observar los carenados de las ruedas, donde es necesario realizar la inspección.

Figura 7

Tren de aterrizaje principal Cessna 150M



Nota. El gráfico muestra los carenados de las ruedas de la aeronave Cessna 150M.

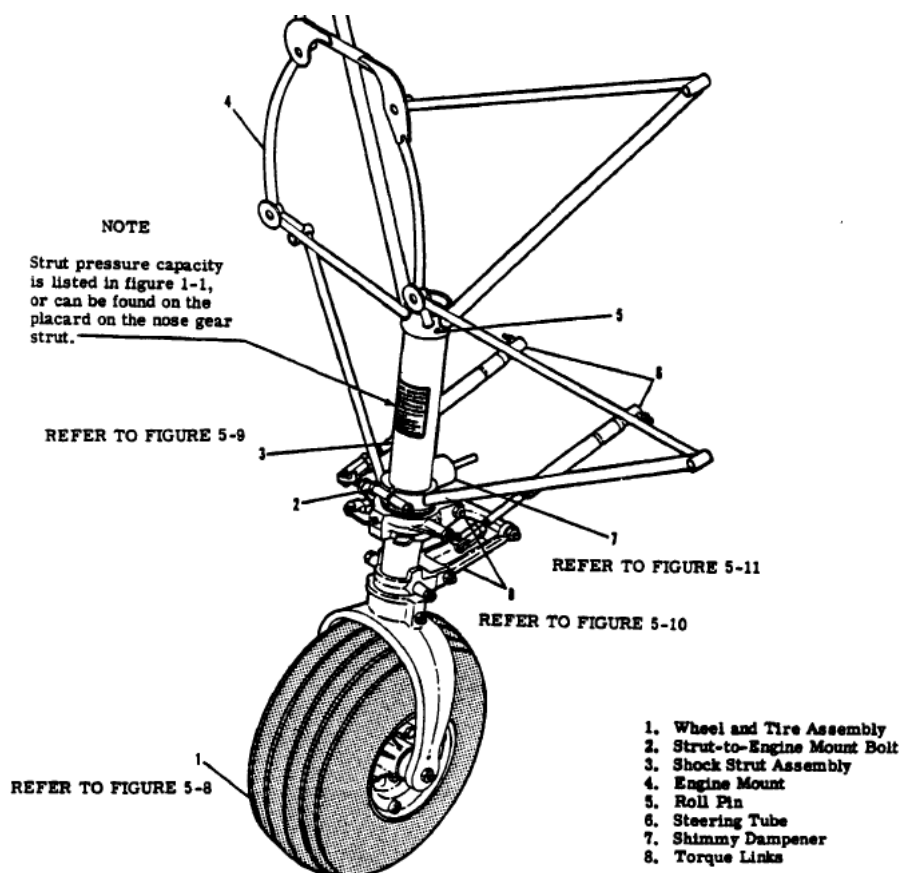
Tomado de (Cessna Aircraft Company, 1972).

### **Tren de aterrizaje de nariz (NLG)**

Consiste en un conjunto de una rueda, situada en la nariz del avión, que completa la función de trípode la cual tiene como función el dar direccionamiento a la aeronave en caso de dirigirse de un lugar a otro por la pista. La rueda de nariz se puede dirigir con los pedales del timón hasta una desviación máxima del pedal, después de lo cual se vuelve de giro libre hasta un recorrido máximo de 30 grados a cada lado del centro.

### **Figura 8**

*Tren de aterrizaje de nariz Cessna 150M*

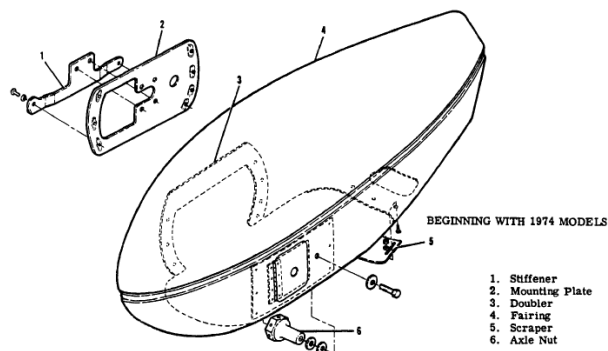


*Nota.* El gráfico muestra los componentes del tren de aterrizaje de nariz de la aeronave Cessna 150M. Tomado de (Cessna Aircraft Company, 1972).

Los carenados de las ruedas tanto del tren principal como el tren de nariz son muy importantes, ya que deben proteger a los diferentes componentes que forman parte de las ruedas, como por ejemplo los neumáticos y frenos (ver Figura 10) y así evitar que sufran daños y/o desgaste por las condiciones climáticas y objetos extraños.

### Figura 9

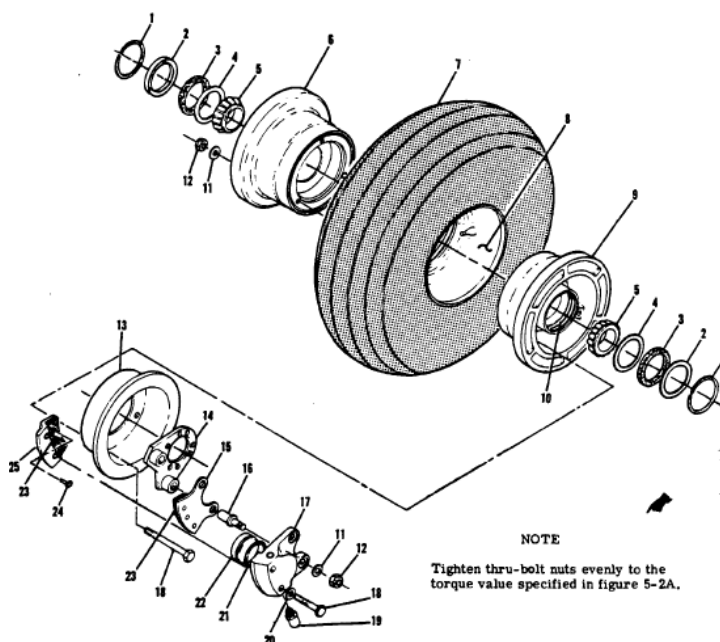
*Carenados de las ruedas*



*Nota.* Tomado de (Cessna Aircraft Company, 1972).

### Figura 10

*Neumáticos y conjunto de frenos*



*Nota.* Tomado de (Cessna Aircraft Company, 1972).

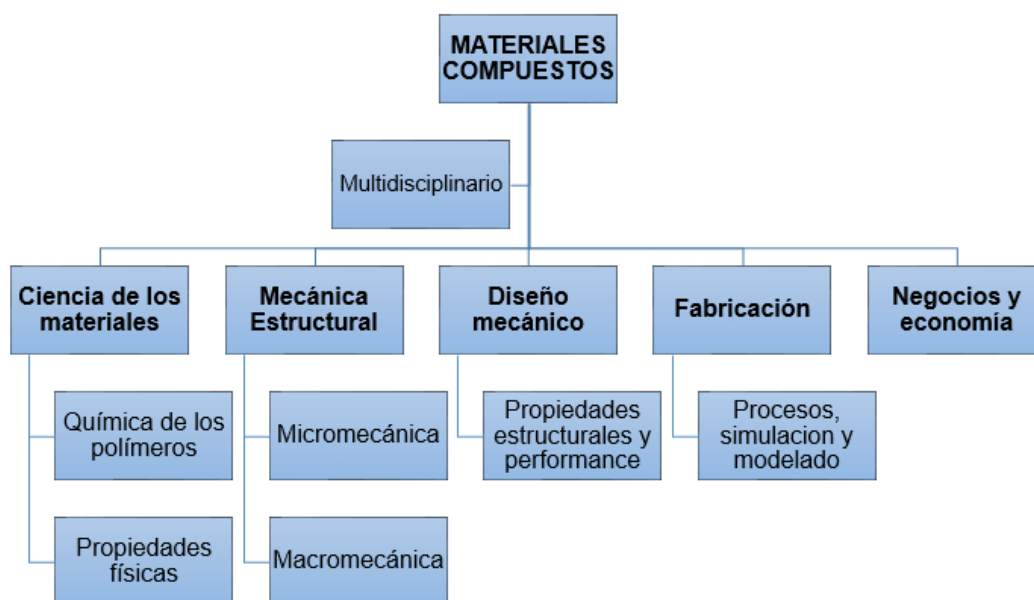
## Materiales compuestos

### *Alcance de los materiales compuestos*

El estudio de los materiales compuestos es multidisciplinario e involucra disciplinas como: la ciencia de los materiales donde se desarrolla el refuerzo (fibra) y la matriz para obtener las mejores propiedades físicas, la mecánica estructural donde se analiza la estructura, el diseño mecánico donde se diseña la estructura y por último la fabricación donde se busca un proceso de fabricación rentable como se observa en la Figura 11. Detrás de todo esto están presentes cuestiones de negocios y economía.

### Figura 11

#### *Alcance de los materiales compuestos*



*Nota.* Tomado de (Zurita, 2022).

### **¿Qué es un material compuesto?**

Un material compuesto, es un sistema material que consiste en dos o más fases en una escala macroscópica, cuyo desempeño y propiedades mecánicas están diseñadas para superar a las de los constituyentes por separado (Bonet, 2012). En

aplicaciones estructurales, generalmente se tiene una fase más rígida y resistente denominada REFUERZO (fibras), y una fase menos rígida y resistente denominada MATRIZ (resina) que se encarga de contener los refuerzos, protegerlos de daños químicos y mecánicos, además distribuye las cargas para equilibrar el conjunto. Comúnmente se requiere una matriz con alta tenacidad para estirar la vida útil del compuesto.

### Figura 12

*Definición de un compuesto*



*Nota.* Tomado de (The Boeing Company, 2014).

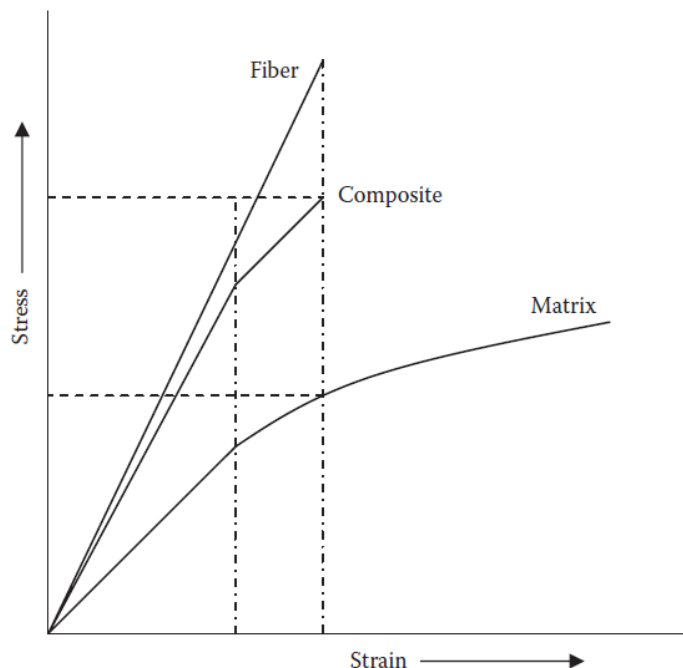
Por su característica heterogénea, los materiales compuestos suelen presentar un comportamiento altamente anisótropo; existe por lo tanto direccionalidad en el material que debe ser aprovechada por el diseñador. A diferencia de los metales, el diseñador debe también diseñar el material junto con la estructura (Bonet, 2012). Las razones principales por la que se usan materiales compuestos son, lograr: alta resistencia, mayor rigidez, reducción de peso, incremento de vida a fatiga, baja expansión térmica y resistencia a la corrosión

La mayoría de materiales compuestos son lineales hasta la falla como se observa en la Figura 13, por lo que las relaciones tensión – deformación son elásticas (“Ley de Hooke”); sus fallas son frágiles con deformaciones muy pequeñas.



**Figura 13**

*Relación tensión - deformación en un material compuesto*



*Nota.* Tomado de (The Boeing Company, 2014).

Cuando se decida la utilización de una estructura de material compuesto en una cierta aplicación, se deberá evaluar las fortalezas y debilidades que presentan dichos materiales. Algunas de ellas se pueden observar en la Tabla 2.

**Tabla 2**

*Fortalezas y debilidades de los compuestos*

<b>FORTALEZAS</b>	<b>DEBILIDADES</b>
Baja densidad – menor peso.	Mayor costo.
Resistencia y rigidez específica.	Malas propiedades fuera del plano.
Propiedades personalizables.	Propenso a delaminación.
Resistencia a la fatiga.	Baja resistencia al impacto.
Resistencia a la corrosión.	Sensibilidad al ambiente (Temperatura y humedad extremas).
Menor desperdicio de material.	Conductividad (Requiere protección contra rayos).
“Tailoring”	Complejidad de análisis y diseño.
Reducción en la cantidad de partes.	Corrosión galvánica.
Absorción de microondas de radar.	
Coefficiente de expansión térmica bajo.	

*Nota.* Tomado de (Boeing Company, 2018).

## **Matrices**

Las matrices (resinas) que se utilizan en compuestos reforzados con fibra a veces se denominan "polímeros". Todos los polímeros exhiben una propiedad común importante en el sentido de que están compuestos de moléculas similares a cadenas largas que consisten en muchas unidades repetitivas simples. Los polímeros hechos por el hombre generalmente se denominan "resinas sintéticas" o simplemente "resinas". Los polímeros se pueden clasificar en dos tipos: termoplásticos y termoestables, según el efecto del calor sobre sus propiedades.

Los termoplásticos, como los metales, se ablandan con el calor y eventualmente se derriten, endureciéndose nuevamente con el enfriamiento. Este proceso de cruzar el punto de ablandamiento o fusión en la escala de temperatura se puede repetir tantas veces como se desee sin ningún efecto apreciable sobre las propiedades del material en cualquiera de los estados. Los termoplásticos típicos incluyen nailon, polipropileno y ABS, y estos pueden reforzarse, aunque generalmente solo con fibras cortas y cortadas, como el vidrio (Gurit, 2022).

Los materiales termoestables, se forman a partir de una reacción química in situ, donde la resina y el endurecedor o la resina y el catalizador se mezclan y luego experimentan una reacción química irreversible para formar un producto duro e infusible. En algunos termoestables, como las resinas fenólicas, se producen sustancias volátiles como subproductos (una reacción de "condensación"). Otras resinas termoestables, como el poliéster y el epoxi, se curan mediante mecanismos que no producen subproductos volátiles y, por lo tanto, son mucho más fáciles de procesar (reacciones de "adición").

Una vez curados, los termoestables no volverán a ser líquidos si se calientan,

aunque por encima de cierta temperatura sus propiedades mecánicas cambiarán significativamente. Esta temperatura se conoce como temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y varía ampliamente según el sistema de resina particular utilizado, su grado de curado, y si se midió y mezcló correctamente. Por encima de la  $T_g$ , la estructura molecular del termoestable cambia de un polímero cristalino rígido a un polímero amorfo más flexible. Este cambio es reversible al volver a enfriarse por debajo de la  $T_g$ . Por encima de la  $T_g$ , propiedades como el módulo de la resina (rigidez) caen bruscamente y, como resultado, la resistencia a la compresión y al corte del material compuesto también lo hace.

Aunque hay muchos tipos diferentes de resina en uso en la industria de los compuestos, la mayoría de los componentes estructurales se fabrican con tres tipos principales, poliéster, viniléster y epoxi.

**Resina poliéster.** Las resinas de poliéster son los sistemas de resina más utilizados, particularmente en la industria marina. La gran mayoría de los botes, yates y barcos de trabajo construidos con materiales compuestos utilizan este sistema de resina. Las resinas de poliéster como estas son del tipo "insaturado". La resina de poliéster insaturado es un termoestable, capaz de curarse de un estado líquido o sólido cuando se somete a las condiciones adecuadas. Hay dos tipos principales de resina de poliéster que se utilizan como sistemas de laminación estándar en la industria de los compuestos. La resina de poliéster ortoftálica es la resina económica estándar utilizada por muchas personas. La resina de poliéster isoftálico se está convirtiendo ahora en el material preferido en industrias como la marina, donde es deseable su resistencia superior al agua.

Figura 14

Resina poliéster



Nota. Tomado de (Fibratéc, 2020).

Tabla 3

Características resina poliéster

Resina poliéster
Curado rápido
Bajo costo
Propiedades mecánicas bajas
Curado a temperatura ambiente
Productos comerciales (automotriz, náutica, energía eólica, piscinas, tanques de almacenamiento, etc.)
Emissiones tóxicas de estireno (volátiles)

Nota. Tomado de (Bonet, 2012).

**Resina viniléster.** Las resinas de viniléster son similares en su estructura molecular a los poliésteres, pero difieren principalmente en la ubicación de sus sitios reactivos, que se ubican solo en los extremos de las cadenas moleculares. Como toda la longitud de la cadena molecular está disponible para absorber las cargas de choque, esto hace que las resinas de viniléster sean más duras y resistentes que los poliésteres.

La molécula de viniléster también presenta menos grupos éster. Estos grupos éster son susceptibles a la degradación del agua por hidrólisis, lo que significa que los vinilésteres exhiben una mejor resistencia al agua y a muchos otros productos químicos que sus contrapartes de poliéster, y se encuentran con frecuencia en aplicaciones tales como tuberías y tanques de almacenamiento de productos químicos.

### Figura 15

*Resina viniléster*



*Nota.* Tomado de (NauticEXPO, 2022).

### Tabla 4

*Características resina viniléster*

<b>Resina viniléster</b>
Costo medio
Propiedades mecánicas mejores que poliéster, no tan buenas como epoxi
Curado rápido y sencillo
Muy buena resistencia a la degradación en agua y humedad
Ideal aplicaciones náuticas

*Nota.* Tomado de (Bonet, 2012).

**Resina epoxi.** La gran familia de resinas epoxi representa algunas de las resinas de mayor rendimiento de las disponibles en este momento. Los epoxis generalmente superan a la mayoría de los otros tipos de resinas en términos de propiedades mecánicas y resistencia a la degradación ambiental, lo que lleva a su uso casi exclusivo en componentes de aeronaves. Como resina de laminación, sus mayores propiedades adhesivas y su resistencia a la degradación por agua hacen que estas resinas sean ideales para su uso en aplicaciones como la construcción de embarcaciones. El término 'epoxi' se refiere a un grupo químico que consiste en un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono que ya están unidos de alguna manera. El epoxi más simple es una estructura de anillo de tres miembros conocida por el término "epoxi alfa".

**Figura 16**

*Resina epoxi*



*Nota.* Tomado de (Aircraft Spruce and Specialite Co., 2022).

**Tabla 5***Características resina epoxi*

<b>Resina epoxi</b>
Mejores propiedades mecánicas y térmicas
Baja contracción durante el curado
Procesamiento sencillo
Pueden ser curadas a diferentes temperaturas
En aplicaciones de alto desempeño expuestas a altas variaciones de temperatura y humedad, deben ser curados con alta temperatura
Aplicaciones estructurales de alto desempeño (estructuras aeronáuticas)

*Nota.* Tomado de (Bonet, 2012).

**Refuerzos**

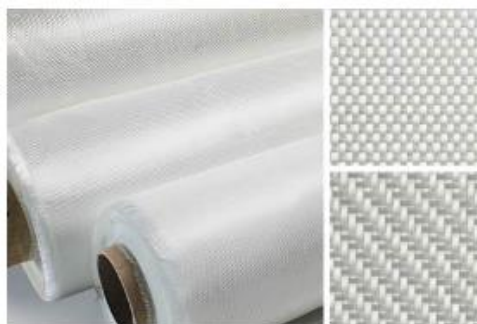
Las propiedades mecánicas de la mayoría de las fibras de refuerzo son considerablemente más altas que las de los sistemas de resina no reforzados. Por tanto, las propiedades mecánicas del material compuesto de fibra/resina están dominadas por la contribución de la fibra al material compuesto. La interacción superficial de la fibra y la resina está controlada por el grado de unión que existe entre los dos. Esto está fuertemente influenciado por el tratamiento dado a la superficie de la fibra, y aquí también se proporciona una descripción de los diferentes tratamientos superficiales y "acabados".

La cantidad de fibra en el material compuesto se rige en gran medida por el proceso de fabricación utilizado. Sin embargo, las telas de refuerzo con fibras compactas darán fracciones de volumen de fibra más altas en un laminado que aquellas telas que están hechas con fibras más gruesas o que tienen grandes espacios entre los haces de fibras. El diámetro de la fibra es un factor importante aquí, ya que las fibras más costosas de diámetro más pequeño proporcionan áreas de superficie de fibra más altas, lo que distribuye las cargas interfaciales de fibra/matriz. Como regla general, la rigidez y la resistencia de un laminado aumentarán en proporción a la cantidad de fibra presente.

Dado que las fibras de refuerzo están diseñadas para cargarse a lo largo de su longitud y no a lo ancho, la orientación de las fibras crea propiedades altamente "específicas de la dirección" en el material compuesto. Esta característica 'anisotrópica' de los compuestos se puede utilizar con gran ventaja en los diseños, con la mayoría de las fibras colocadas a lo largo de la orientación de las principales rutas de carga. Esto minimiza la cantidad de material parásito que se coloca en orientaciones donde hay poca o ninguna carga. Las más utilizadas son la fibra de vidrio, fibra de carbono y fibra de aramida.

### Figura 17

*Fibra de vidrio*



*Nota.* Tomado de (Easy Composites Ltd., 2022).

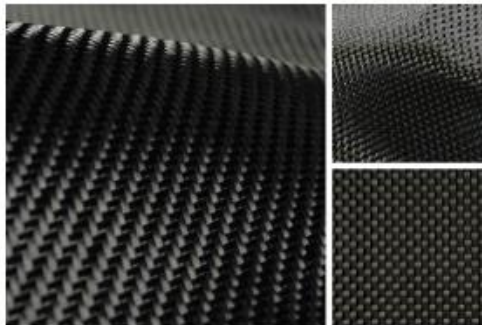
### Tabla 6

*Características fibra de vidrio*

<b>Fibra de vidrio</b>
Bajo costo
Alta rigidez
Alta resistencia
Aplicaciones estructurales, aislantes eléctricos, aislantes térmicos, dieléctricos, etc.
Diferentes tipos de acuerdo a la aplicación

*Nota.* Tomado de (Bonet, 2012).



**Figura 18***Fibra de carbono*

*Nota.* Tomado de (Easy Composites Ltd., 2022).

**Tabla 7***Características fibra de carbono*

<b>Fibra de vidrio</b>
También llamada fibra de grafito
Bajo peso, resistentes, excelente resistencia química
Disponibles en diferentes rigideces
Temperatura máxima de servicio: 315 °C a 540 °C
Mejor resistencia a la fatiga que el vidrio
Buena resistencia a la corrosión bajo tensión (permite utilizar coeficientes de seguridad más bajos en recipientes a presión)
Buen conductor eléctrico, sensibles a corrosión galvánica
Alto costo

*Nota.* Tomado de (Bonet, 2012).

**Figura 19***Fibra de aramida*

*Nota.* Tomado de (Easy Composites Ltd., 2022).

**Tabla 8***Características fibra de aramida*

<b>Fibra de aramida</b>
Fibras orgánicas producidas bajo nombres comerciales como Kevlar, Technora, Twaron
Alta absorción de energía durante la falla
Baja densidad
Baja resistencia a compresión
Baja resistencia a creep
Alta absorción de humedad
Sensibles a radiación UV

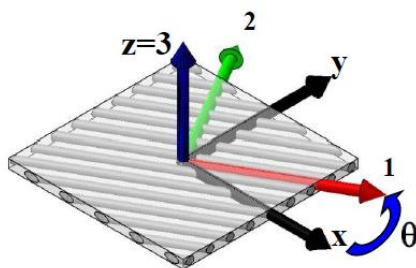
*Nota.* Tomado de (Bonet, 2012).

**Mecánica de laminados**

Las propiedades de un material isótropo, son independientes de la orientación del material; sin embargo, los materiales compuestos reforzados con fibras son altamente anisótropos. Por esta razón, el análisis de la mecánica de materiales compuestos reforzados con fibras es mucho más complicado que la de los materiales tradicionales. El análisis de los materiales compuestos reforzados con fibra se puede realizar en dos niveles: micromecánica (estudia la interacción entre los constituyentes para obtener las características del material compuesto) y macromecánica (estudia el comportamiento macroscópico de laminados formados por láminas con diferentes orientaciones).

**Figura 20**

*Sistema de coordenadas local (1-2-3) y global (x-y-z) de una lámina*

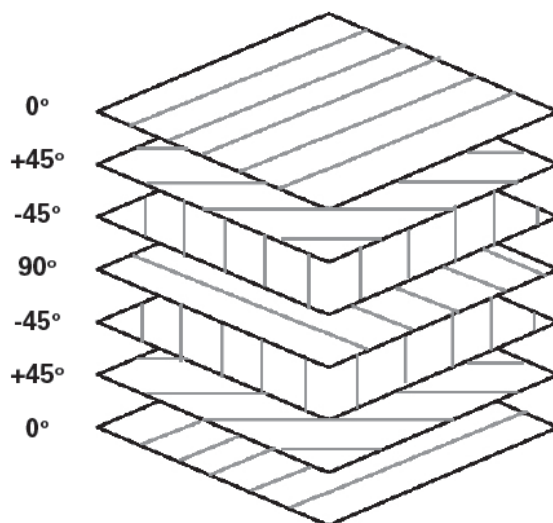


*Nota.* Tomado de (Bonet, 2012).

Una vez que se han establecido las características materiales de cada lámina en un sistema de coordenadas común, puede estimarse el comportamiento macroscópico de laminados formados por láminas con diferentes orientaciones, a través de la teoría clásica de laminación (CLT). Esta teoría permite estimar la influencia de la secuencia de laminado, esfuerzos y deformaciones de cada lámina que compone el laminado, además de estimar la resistencia del laminado.

### Figura 21

*Secuencia de laminación*



*Nota.* Tomado de (Gurit, 2022).

### **Procesos de fabricación**

Tomando los materiales compuestos como un todo, hay muchas opciones de materiales diferentes para elegir en las áreas de resinas, fibras y núcleos, todos con su propio conjunto único de propiedades, como resistencia, rigidez, tenacidad, resistencia al calor, costo, tasa de producción, etc. Sin embargo, las propiedades finales de una pieza compuesta producida a partir de estos diferentes materiales no son solo una función de las propiedades individuales de la matriz de resina y la fibra (y en estructuras

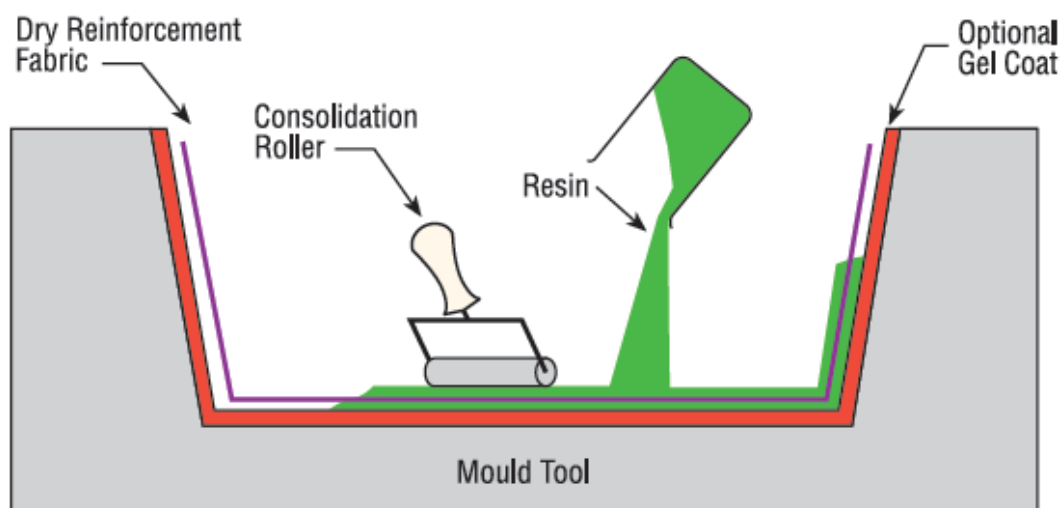
sándwich, el núcleo también), sino también una función de la forma en que los materiales mismos se diseñan en la pieza y también la forma en que se procesan.

A continuación, se detalla algunos de los métodos de producción de compuestos comúnmente utilizados en la industria aeronáutica y algunos de los factores a tener en cuenta con cada proceso diferente, incluida la influencia de cada proceso en la selección de materiales (Gurit, 2022).

**Laminación manual (Wet Lay-up/Hand Lay-up).** Las resinas se impregnan a mano en fibras que tienen la forma de telas tejidas, tricotadas, cosidas o unidas. Esto se logra normalmente con rodillos o cepillos, con un uso cada vez mayor de impregnadores del tipo de rodillos de presión para forzar la resina en los tejidos por medio de rodillos giratorios y un baño de resina. Los laminados se dejan curar en condiciones atmosféricas estándar.

### Figura 22

*Laminación manual (Wet Lay-up/Hand Lay-up)*

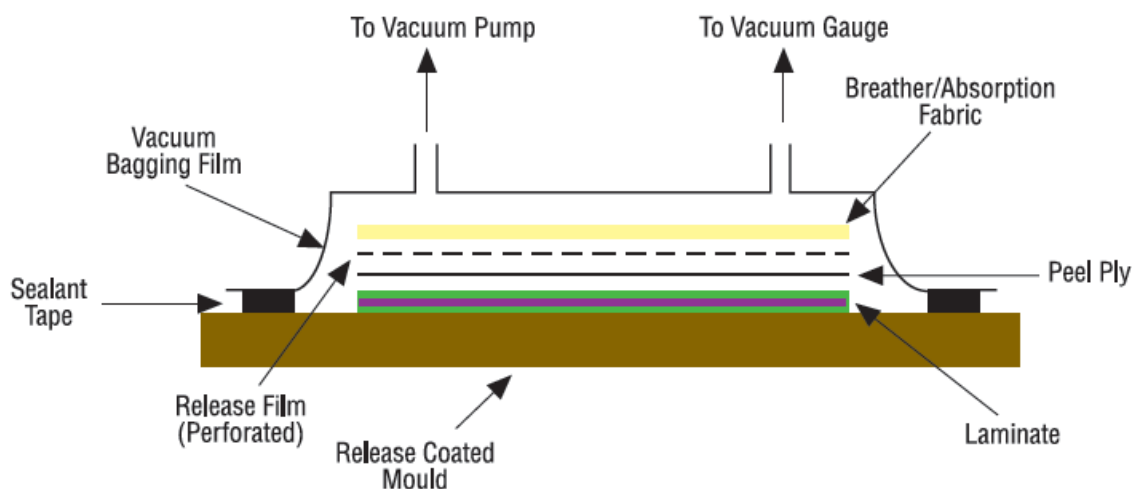


*Nota.* Tomado de (Gurit, 2022).

**Infusión por bolsa de vacío (Vacuum Bagging, Wet Lay-up).** Esto es básicamente una extensión del proceso de laminación en húmedo descrito anteriormente, en el que se aplica presión al laminado una vez colocado para mejorar su consolidación. Esto se logra sellando una película de plástico sobre el laminado húmedo y sobre la herramienta. El aire debajo de la bolsa se extrae mediante una bomba de vacío y, por lo tanto, se puede aplicar hasta una atmósfera de presión al laminado para consolidarlo.

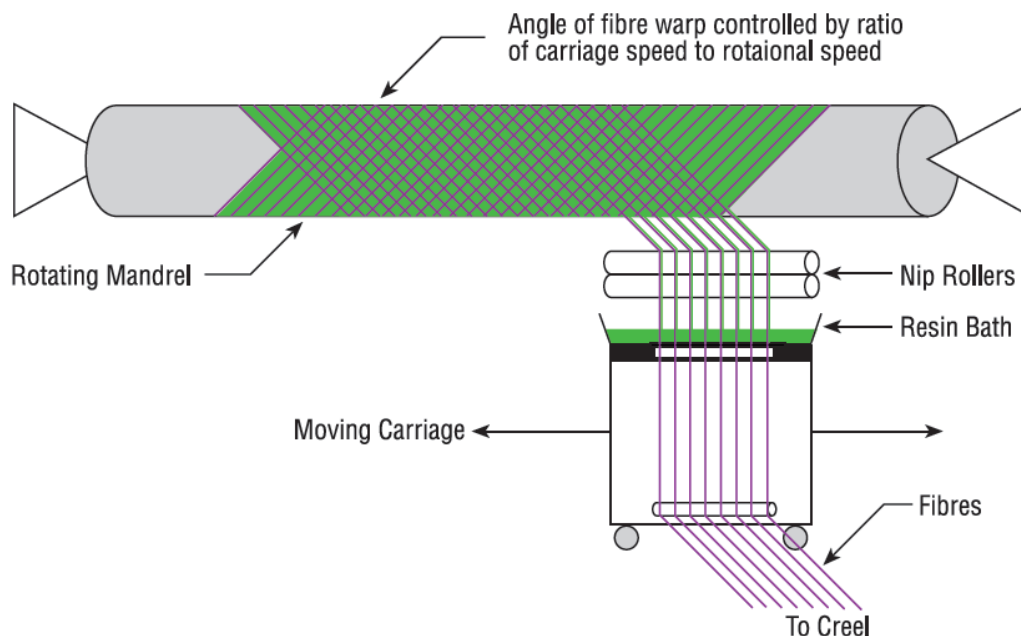
### Figura 23

*Infusión por bolsa de vacío (Vacuum Bagging, Wet Lay-up)*



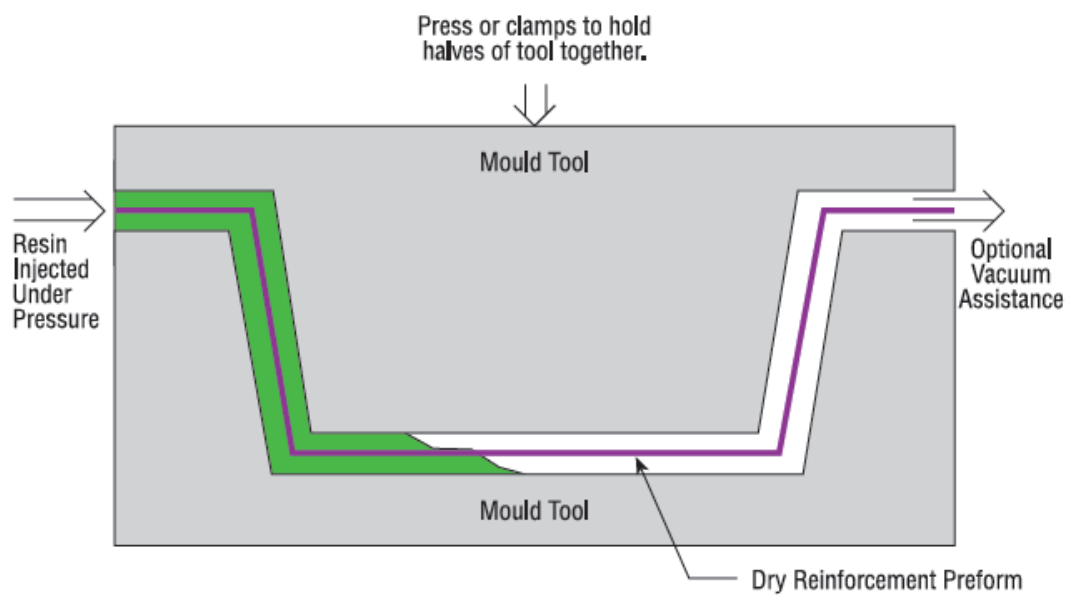
*Nota.* Tomado de (Gurit, 2022).

**Filament Winding.** Este proceso se utiliza principalmente para componentes huecos, generalmente circulares u ovalados, como tuberías y tanques. Los haces de fibra se pasan a través de un baño de resina antes de enrollarse en un mandril en una variedad de orientaciones, controladas por el mecanismo de alimentación de fibra y la velocidad de rotación del mandril.

**Figura 24***Filament Winding*

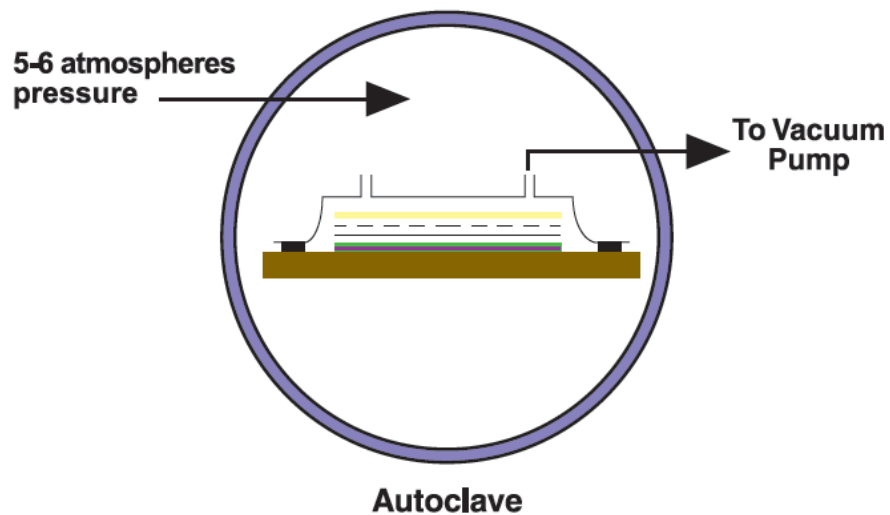
*Nota.* Tomado de (Gurit, 2022).

**Moldeo por transferencia de resina (RTM).** Las telas se colocan como una pila seca de materiales. Estas telas a veces se prensan previamente en la forma del molde y se mantienen unidas por un aglutinante. Estas "preformas" se colocan más fácilmente en la herramienta de moldeo. Luego se sujeta una segunda herramienta de molde sobre la primera y se inyecta resina en la cavidad. También se puede aplicar vacío a la cavidad del molde para ayudar a que la resina se introduzca en los tejidos. Esto se conoce como inyección de resina asistida por vacío (VARI). Una vez que se humedece toda la tela, se cierran las entradas de resina y se deja curar el laminado. Tanto la inyección como el curado pueden tener lugar a temperatura ambiente o elevada.

**Figura 25***Moldeo por transferencia de resina (RTM)*

*Nota.* Tomado de (Gurit, 2022).

**Prepreg - Autoclave.** Los tejidos y fibras son preimpregnados por el fabricante de materiales, bajo calor y presión o con disolvente, con una resina precatalizada. El catalizador está en gran parte latente a temperatura ambiente, dando a los materiales varias semanas, o a veces meses, de vida útil cuando se descongelan. Sin embargo, para prolongar la vida de almacenamiento, los materiales se almacenan congelados. Los preimpregnados se colocan a mano o a máquina sobre la superficie de un molde, se envasan al vacío y luego se calientan a una temperatura típica de 120-180 °C. Esto permite que la resina fluya inicialmente y finalmente se cure. La presión adicional para el moldeo suele ser proporcionada por un autoclave (efectivamente un horno presurizado) que puede aplicar hasta 5 atmósferas al laminado.

**Figura 26***Prepreg - Autoclave*

*Nota.* Tomado de (Gurit, 2022).

## **Mantenimiento aeronáutico**

### ***Generalidades del Mantenimiento Aeronáutico***

El Mantenimiento Aeronáutico es el conjunto de tareas de mantenimiento realizadas por el usuario para mantener la funcionalidad del sistema durante su vida operativa. O, en otras palabras, son los trabajos requeridos (tareas de mantenimiento) para asegurar el mantenimiento de la aeronavegabilidad<sup>1</sup> de las aeronaves, lo que incluye tareas como reparaciones, inspecciones, modificaciones, entre otras; dichas tareas se encontrarán en la documentación técnica como se verá más adelante.

**Proceso del Mantenimiento Aeronáutico.** Para la entrada para el proceso de mantenimiento está constituida por la funcionalidad de cualquier sistema humano, que deba ser conservada por el usuario, mientras que la salida del proceso consiste en el sistema funcional. Por un lado, se tiene los recursos como son el abastecimiento,

<sup>1</sup> Aptitud técnica y legal que deberá tener una aeronave para volar en condiciones de operación segura.

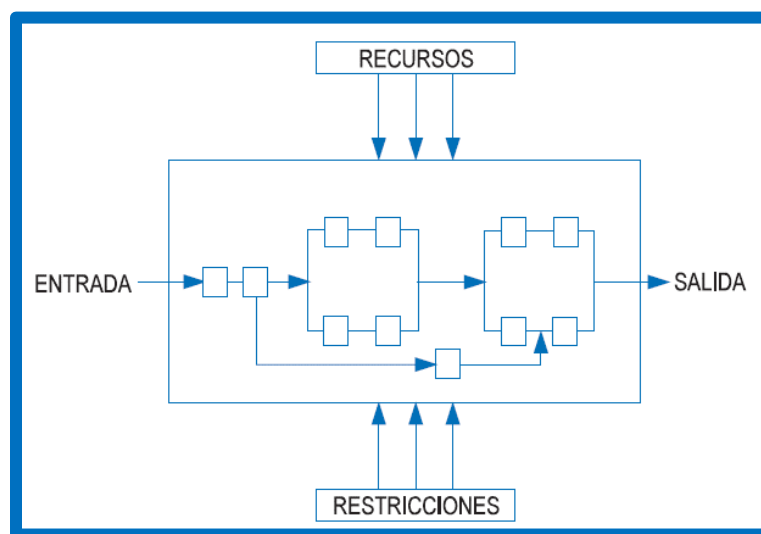


equipos de prueba y apoyo, personal, instalaciones, datos técnicos, recursos informáticos. Y por otro lado las restricciones como son el presupuesto, programación, tiempo disponible, reglamentaciones de seguridad, entorno, clima, lenguas extranjeras, cultura/costumbres tradicionales, etc.

Cuando se analiza un proceso de mantenimiento es imperativo considerar tanto los recursos como las restricciones, a fin de conseguir un óptimo control de unas operaciones tan complejas, que tienen un gran impacto en la seguridad, fiabilidad, coste, prestigio y otras características decisivas para la conducción competitiva de las operaciones.

### Figura 27

#### *Proceso del Mantenimiento Aeronáutico*



*Nota.* El gráfico muestra el Proceso del Mantenimiento Aeronáutico, con los recursos y restricciones que involucra. Tomado de (Knezevic, 1996).

**Tareas de Mantenimiento.** Una tarea de mantenimiento es el conjunto de actividades que debe realizar el usuario para mantener la funcionalidad del elemento o sistema. Las tareas de mantenimiento, y sus intervalos de aplicación son determinadas

por el MPD<sup>2</sup>, o si estuviese aprobado, por el programa de mantenimiento de la empresa.

### ***Tipos de Mantenimiento Aeronáutico***

**Preventivo.** Son inspecciones periódicas, cíclicas y planificadas para hacer el ajuste o sustitución de partes y conjuntos que revelan desgaste o posibles fallas. Permite la detección de defectos, antes de que estos se conviertan en fallas, para evitar que sea necesario poner la aeronave fuera del servicio regular. Dentro del mantenimiento preventivo se tiene por Límite de Tiempo (Hard Time) y Por Condición (On Condition).

**Límite de Tiempo (Hard Time).** Inspecciones a realizar a un tiempo prefijado, o, dicho de otra manera, máximo intervalo para realizar tareas de mantenimiento. A algunos componentes se le asigna un período fijo, en horas de vuelo o tiempo calendario, como límite para su remoción. Esto se evalúa estadísticamente, implica una ventaja económica pues se procede al cambio de un elemento cuya posible falla afecta la seguridad de vuelo. Dentro de esta categoría se encuentran dos tipos de limitaciones de Aeronavegabilidad impuestas por el fabricante y la autoridad.

### **Figura 28**

*Componente con Vida Límite o Vencimiento*



*Nota.* Tomado de (SKY GEEK, 2019).

---

<sup>2</sup> Maintenance Planing Data.

**Figura 29**

*Componente con Overhaul o Recorrida*



*Nota.* Tomado de (Lufthansa Technik, 2019).

***Por Condición (On Condition).*** Inspecciones repetitivas o pruebas para determinar la condición de una unidad, sistema o parte de la estructura. Se aplica a aquellos elementos a los que puede realizarse una prueba de funcionamiento o verificación que da una confiabilidad razonable sobre la probabilidad de que el elemento opere normalmente hasta la nueva inspección.

**Figura 30**

*Componente On Condition*



*Nota.* Tomado de (QANTAS, 2019).

El Manual de Mantenimiento de una aeronave indica la verificación o prueba aplicable, describiendo la misma paso a paso. El mantenimiento “On Condition” está determinado por la condición del elemento y no por la aplicación de un tiempo rígido “Hard Time”, e implica la observación/seguimiento de la condición del elemento por medio de observación visual directa, o con lupa, visual interna con boroscopio, o utilizando ensayos no destructivos como radiografía, ultrasonido y eddy current.

**Predictivo.** Monitorea y analiza tendencias de falla. Se basa en la anticipación de las fallas basándose en la lectura de instrumentos y en la medición o verificación de ciertos parámetros. Son trabajos de mantenimiento cuya necesidad de realización se puede prever y programar oportunamente en función del seguimiento periódico de la variación de parámetros de performance, indicativos de la función del equipo, cuya tendencia y rapidez de deterioro es un indicio claro que permite predecir la oportunidad en que los trabajos de corrección serán necesarios.

### Figura 31

*Mantenimiento Predictivo*



*Nota.* El gráfico muestra un ejemplo de mantenimiento preventivo midiendo diferentes parámetros del funcionamiento de un componente. Tomado de (QANTAS, 2019).

Estos trabajos se programan para ser efectuados antes que la continuidad en funcionamiento del equipo permita que tales parámetros alcancen límites de severidad que empiecen a hacer peligrar la integridad o seguridad del equipo.

**Restaurativo.** Es el que pretende dar solución inmediata a una deficiencia o falla para devolver la capacidad de operación de un determinado componente o equipo. Suele ser sorpresivo y se realiza ante la manifestación de una falla, avería o defecto operativo que pone fuera de servicio el elemento. Generalmente se efectúa sobre componentes cuyo control de deterioro no ha sido considerado preventivamente, o componentes que han sufrido un accidente, fallas o roturas no previstas.

### Figura 32

#### *Mantenimiento Restaurativo*



*Nota.* El gráfico muestra un ejemplo de mantenimiento restaurativo, una reparación de un componente de una aeronave. Tomado de (BANYAN, 2020).

## **Documentación a utilizar en el Mantenimiento Aeronáutico**

La documentación es un registro de procedimientos verificados por el fabricante y aprobado por los organismos de control pertinentes (la autoridad aeronáutica de cada país, por ejemplo, la FAA). El objeto de la misma es asegurar una operación eficiente y un mantenimiento adecuado. La documentación mantiene su vigencia a través de un continuo proceso de actualización.

El fabricante/proveedor de la aeronave, equipo o componente, debe proveer la documentación que incluya información como: datos técnicos (descripción del equipo y su funcionamiento), estructura o diseño del equipo (ensambles, dibujos), lista de piezas o partes, repuestos y/o reemplazos, etc. La aplicación de la documentación técnica y operacional permite asegurar la vida útil prevista por el fabricante y la seguridad en el vuelo, entre otras cosas, evitando esfuerzos y costos innecesarios. Esta aplicación está referida al mantenimiento, abastecimiento, a los procedimientos y a los límites operacionales que en ella se detallan en forma general y particular. Si bien la documentación es estudiada por ingeniería, el conocimiento de la documentación también es útil y facilita las tareas de planificación, mantenimiento, abastecimiento, entre otros.

### ***Documentación Operacional***

Prescribe procedimientos relacionados con el vuelo y su seguridad. Está compuesta por el conjunto de los Manuales de Operación, Vuelo y la Lista de Chequeos que debe efectuar el personal de a bordo. Este tipo de documentación es muy útil para el personal de vuelo (pilotos y tripulación).

### ***Documentación Técnica***

Proporciona los datos técnicos para permitir al operador mantener y reparar su avión asegurándole eficiencia y seguridad. Proporciona además toda la información

relevante y las instrucciones referidas a: mantenimiento, programación y planificación del mantenimiento e inspecciones, herramientas y equipos de apoyo, etc.

La documentación técnica está estructurada de manera tal de acceder fácilmente a la información necesaria para realizar el proceso de mantenimiento, los temas vienen distribuidos de acuerdo a la Norma ATA 100. Básicamente consiste en dividir al avión en cien partes (Capítulos), asignándole a cada una de ellas un número y un título. Cada capítulo describe un sistema del avión en particular, con todos los detalles acerca de cómo efectuar tareas sobre cada uno de sus componentes. La documentación técnica más utilizada se detalla a continuación.

**MM (Maintenance Manual).** Provee los procedimientos necesarios para que el mecánico pueda realizar el mantenimiento apropiado de la aeronave y sus componentes. Además, proporciona toda la información considerada esencial para la ejecución de las tareas.

**IPC (Illustrated Parts Catalog).** Está destinado a ser usado para la identificación de todas las piezas que componen la aeronave (o componente). Pasa de lo general a lo particular. Permite identificar las piezas (por su número de parte), ubicarla dentro de la aeronave (muchas veces, formando parte de un conjunto superior) y determinar cuáles son sus reemplazantes.

**AD (Airworthiness Directive).** Las Directivas de Aeronavegabilidad establecen limitaciones de operación, las cuales son necesarias para mantener la operación segura de los aviones. Estas directivas contienen información acerca de una acción a tomar, que de no ejecutarse podría afectar la seguridad del vuelo, y las emite la autoridad. Las AD's se aplican tanto a aeronaves, como a motores, hélices y componentes. Cuando existe una condición de inseguridad en alguno de estos elementos y es probable que esta condición se desarrolle en otros elementos del mismo

diseño, se prescriben inspecciones, condiciones y limitaciones bajo las cuales el elemento puede seguir operando.

**SB (Service Bulletin).** Es el documento emitido por el fabricante utilizado para transmitir a los operadores/usuarios información de modificaciones en el avión, motor o accesorios, inspecciones especiales requeridas para el mantenimiento del avión, motor o accesorio en condiciones seguras de operación. Se publican con el propósito de solucionar una falla no detectada durante el proceso de diseño y que afecta la seguridad del vuelo, o para comunicar la adopción de medidas preventivas, por no conocerse hasta el momento de su publicación la factibilidad de ocurrencia de la falla, etc.

**Otros.** Algunos fabricantes publican otros manuales que complementan los anteriores, como son: CMM (Component Maintenance Manual), COM (Component Overhaul Manual), CRO (Component Repair and Overhaul Manual), SI (Service Instruction), SL (Service Letter), AC (Advisory Circular), WDM (Wiring Diagram Manual), CPCP (Corrosion Prevention and Control Program), entre otros.

### **Medidas de seguridad en mantenimiento aeronáutico**

La seguridad en el cumplimiento de una tarea de mantenimiento es responsabilidad de todos y de cada uno de los técnicos, hay que tomar medidas antes, durante y después de un trabajo que se ejecute en una aeronave. Existen normas básicas que hay que seguir en todo lugar de trabajo (ver Tabla 2), pero sin embargo es recomendable exagerar en todo lo que respecta con la seguridad, es así que toda persona involucrada en el mantenimiento aeronáutico debe utilizar el equipo de protección personal (EPP) necesario.



El mantenimiento de aeronaves se debe realizar con equipo y herramientas adecuadas para el trabajo que se va a realizar, si se realiza un trabajo sin tomar en cuenta este aspecto estaría poniendo en riesgo no solo al personal, sino a los técnicos que se encuentran alrededor, a la aeronave en la cual se realiza la tarea y también a las personas que van a realizar sus vuelos en la misma.

Hay que tomar en cuenta que un simple error puede traer muchos efectos, por lo que se recomienda acatar todas las medidas necesarias para realizar un mantenimiento de forma responsable y segura (Monar, 2022).

### **Figura 33**

*Equipo de protección personal*





*Nota.* Personal de mantenimiento aeronáutico con su respectiva ropa y zapatos de trabajo en el hangar de mantenimiento. Tomado de (TECSUP, 2022).

El manual de mantenimiento en sus tareas menciona puntos importantes que resalta los peligros, precauciones y notas que se debe tener presente, ya que estos ayudan a realizar el mantenimiento de forma segura, por lo que es obligatorio ponerlos en ejecución.

Figura 34

Indicación de peligro en el manual de mantenimiento

USA1		 737-300/400/500 TASK CARDS			
DATE	TAIL NUMBER	STATION	AIRLINE CARD NO.	BOEING CARD NO. 28-014-21-01	
TASK 28-14-21-206-001 1. <u>Check of the Internal Bonding of the Fuel Cell Fittings ("Fingernail Test")</u> A. Bonding check preparation SUBTASK 28-14-21-046-037				MECH	INSP
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">  <p><b>WARNING</b> CAREFULLY DO ALL OF THE PROCEDURES TO PREPARE TO GO INTO THE AUXILIARY FUEL TANK. AN EXPLOSION, BAD INJURY TO PERSONS, AND DAMAGE TO EQUIPMENT CAN OCCUR.</p> </div> (1) Prepare to go into the the auxiliary fuel tank (AMM PAGEBLOCK 28-10-00/201). SUBTASK 28-14-21-016-003 (2) Get access to the fuel cell.					

Nota. Tomado de (Boeing Company, 2018).

Tabla 9

Medidas de seguridad en el mantenimiento de aeronaves

<b>Medidas de seguridad</b>	
Antes	Limitar el lugar de trabajo Colocar avisos Usar el equipo de protección adecuado
Durante	Realizar charla técnica Organizar el lugar de trabajo Poseer el equipo de protección Evaluación constante
Después	Limpiar el lugar de trabajo Retirar avisos Comunicar las condiciones Aseo personal

Nota. Tomado de (Monar, 2022).

## Capítulo III

### Desarrollo del tema

#### Descripción general

En el presente capítulo se detalla los procedimientos realizados en la reparación de los carenados de las ruedas de la aeronave Cessna 150M en materiales compuestos, en referencia al manual de reparaciones estructurales e información técnica aplicable. Se busca en primer lugar detectar y evaluar el estado de los carenados de las ruedas, previo a la reparación de los mismos, a través de una inspección detallada de la sección del tren de aterrizaje.

Antes de realizar la reparación, se debe contar con todos los recursos para llevar a cabo la tarea de mantenimiento, como es la documentación técnica, equipos y herramientas necesarias; de esa manera se asegura la realización correcta de las tareas descritas en cada uno de los manuales, se debe también poseer el respectivo equipo de protección personal para evitar cualquier contaminación con los materiales utilizados, ya que son nocivos para la salud.

Se desarrolla todo lo anterior, con el fin de mantener en condiciones adecuadas los diferentes componentes del sistema del tren de aterrizaje de la aeronave y los sistemas asociados, aumentando así la funcionalidad de la aeronave para la utilización por parte de los docentes y estudiantes en el desarrollo de prácticas de mantenimiento.

#### Preparación del área de trabajo

Antes de proceder con la reparación, se debe verificar que el área en donde se va a realizar el trabajo se encuentre en buenas condiciones y limpio, para así garantizar una buena práctica de mantenimiento. Además, se debe tener a disposición los materiales, herramientas y equipos de apoyo necesarios.

**Figura 35**

*Área de trabajo para materiales compuestos*



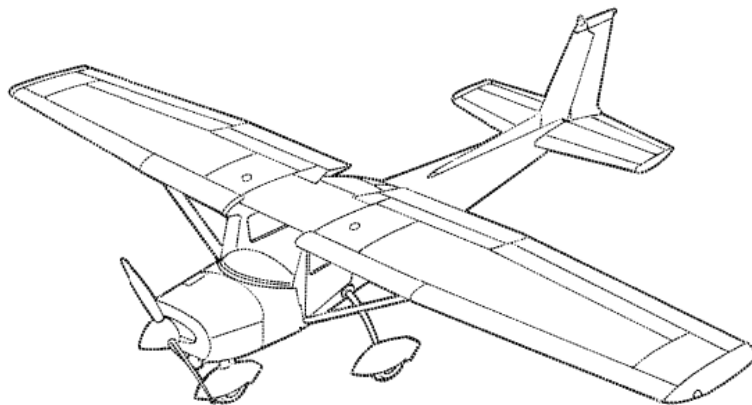
*Nota.* En la figura se observa un área de trabajo adecuada para la realización de trabajos en materiales compuestos.

**Inspección general de la aeronave**

Se procedió a realizar una limpieza general de la aeronave con finalidad de eliminar la suciedad y grasas en las superficies en las cercanías donde se va a realizar el trabajo. Esta inspección general sirve para verificar si existe algún daño en algún componente o la estructura de la aeronave para reportarla posteriormente.

**Figura 36**

*Inspección general de la aeronave*



*Nota.* En la figura se observa la inspección y limpieza de la aeronave antes de realizar las tareas de mantenimiento.

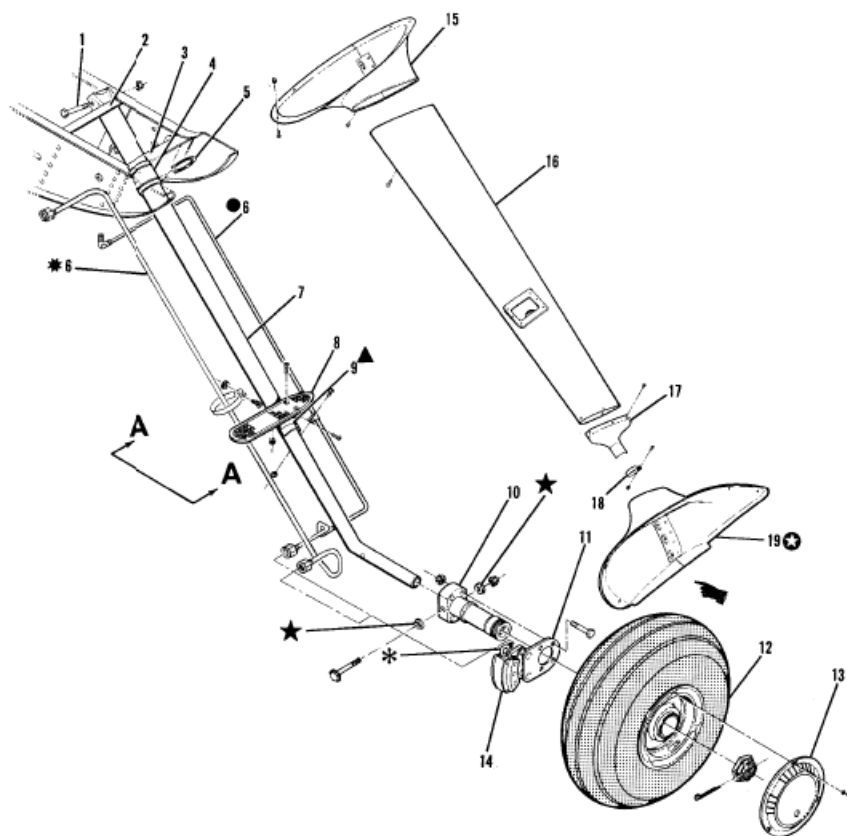
## Inspección de los componentes del tren de aterrizaje

La inspección realizada sirvió para evaluar los componentes principales del tren de aterrizaje, en busca de signos de deterioro y/o corrosión. Además, se verificó el estado de los carenados de las ruedas tanto del tren principal como del tren de nariz, ya que estos deben proteger a los diferentes componentes que forman parte de las ruedas, como son los neumáticos y frenos; y así evitar que sufran daños y/o desgaste por las condiciones climáticas y objetos extraños con los que se pueden encontrar.

### *Tren de aterrizaje principal*

**Figura 37**

*Inspección del tren de aterrizaje principal\_1*

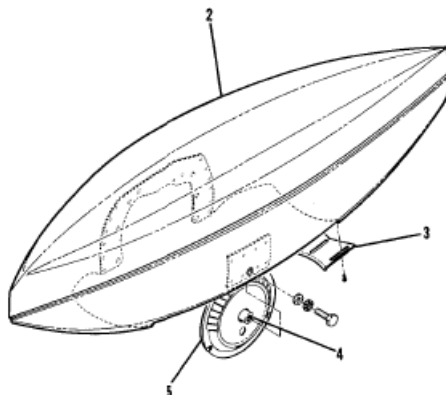


*Nota.* Tomado de (Cessna, 1975).



**Figura 39**

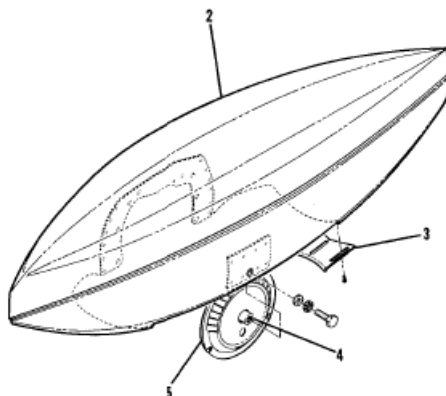
*Inspección de los carenados de las ruedas del tren principal \_1*



*Nota.* Tomado de (Cessna, 1975).

**Figura 40**

*Inspección de los carenados de las ruedas del tren principal \_2*



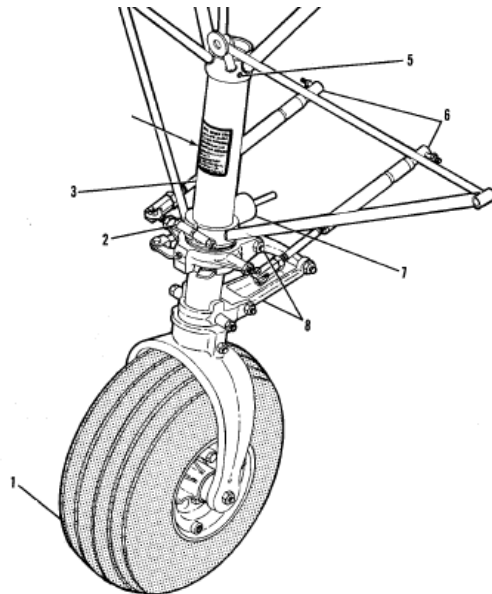
*Nota.* La figura indica la inspección realizada a los carenados de las ruedas del tren principal de la aeronave Cessna 150M.

***Tren de aterrizaje de nariz***

En base a la Figura 41, se identificó los componentes del tren de aterrizaje de nariz a los mismos que se les realizó una inspección visual detallada, en donde se encontró indicios de corrosión en diferentes partes como se observa en la Figura 42, esto nuevamente debido a que la aeronave se encuentra a la intemperie.

**Figura 41**

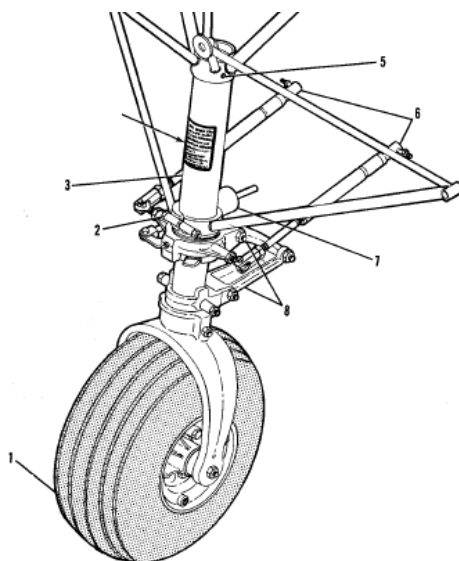
*Inspección del tren de aterrizaje de nariz\_1*



*Nota.* Tomado de (Cessna, 1975).

**Figura 42**

*Inspección del tren de aterrizaje de nariz\_2*



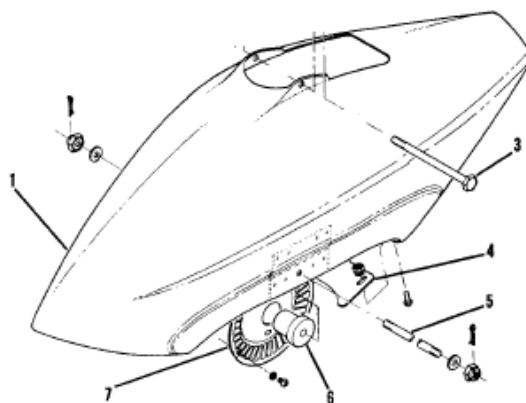
*Nota.* La figura indica la inspección realizada al tren de aterrizaje de nariz de la aeronave Cessna 150M.



Con respecto a la inspección del carenado de la rueda del tren de nariz, también se pudo constatar que no se cuenta con el mismo, por ende, la rueda ha sufrido un deterioro considerable y muestran signos de corrosión como se observa en la Figura 44.

### Figura 43

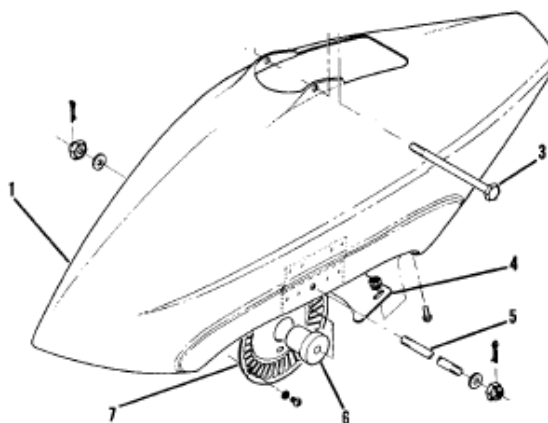
*Inspección del carenado de la rueda del tren de nariz\_1*



*Nota.* Tomado de (Cessna, 1975).

### Figura 44

*Inspección del carenado de la rueda del tren de nariz\_2*

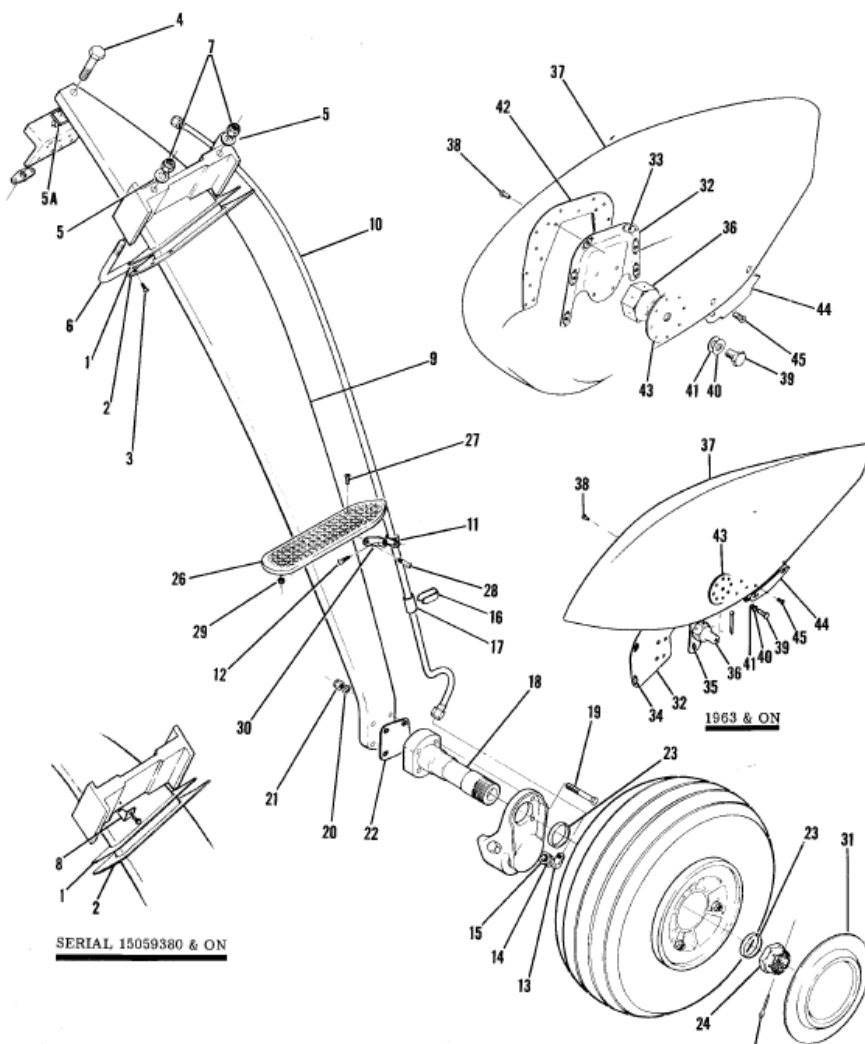


*Nota.* La figura indica la inspección realizada al carenado de la rueda del tren de nariz de la aeronave Cessna 150M.

Al no contar con los carenados de las ruedas, se procedió a identificar cada uno de ellos mediante la utilización del Catálogo Ilustrado de Partes de la aeronave, como se indica en la Figura 45 y 46, donde los carenados de las ruedas del tren principal (ítem 37 Figura 45) se corresponden con el P/N 0441176-3 (LH) y P/N 0441176-4 (RH); mientras que el carenado de la rueda del tren de nariz (ítem 25 Figura 46) se corresponde con el P/N 0743609-201.

### Figura 45

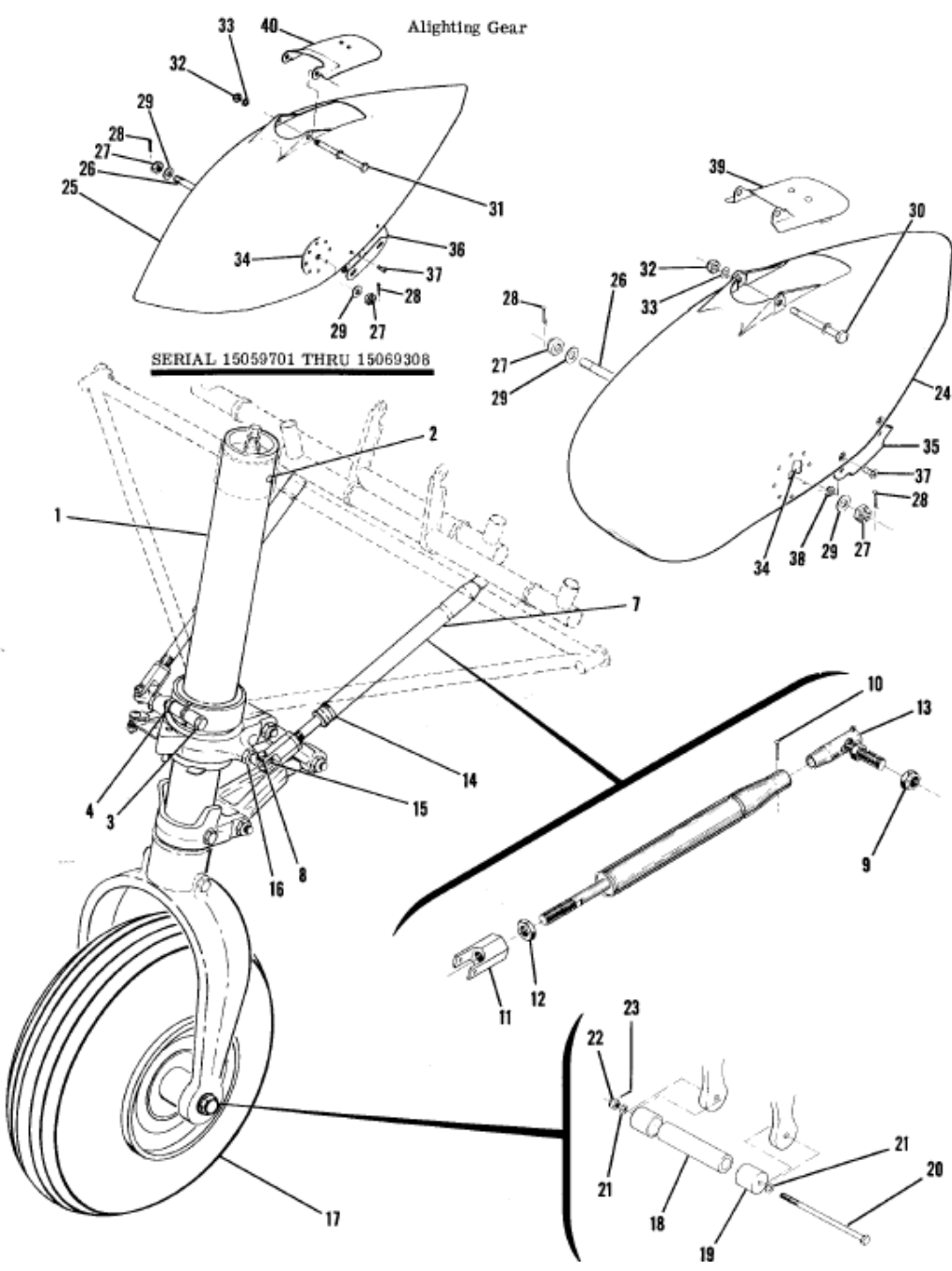
*IPC - carenado tren principal*



*Nota.* Tomado de (Cessna Aircraft Company, 1970).

Figura 46

IPC - carenado tren de nariz



Nota. Tomado de (Cessna Aircraft Company, 1970).

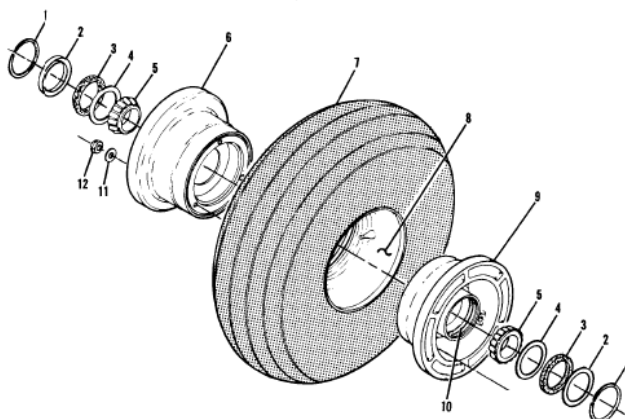
### **Sistema de rueda y frenos**

Como se mencionó anteriormente, los trenes de aterrizaje no cuentan con los carenados de las ruedas, por ende, el sistema de rueda y frenos del tren principal (ver Figura 47) y de nariz (ver Figura 48) se sometió a una rigurosa inspección para verificar su condición.

En las ruedas se limpiaron todas las piezas metálicas, los restos de grasa y los espaciadores con un solvente de limpieza. Luego se inspeccionó las bridas de las ruedas y el cubo de la rueda en busca de grietas, y también se revisó cuidadosamente los conos y las copas de los cojinetes en busca de daños. Con respecto a los frenos, se limpiaron todas las piezas excepto las pastillas de freno, con un paño limpio y disolvente de limpieza; es importante realizar una limpieza profunda, ya que la suciedad y objetos extraños son la principal causa de mal funcionamiento en el sistema de frenos hidráulicos. También se verificó el estado de los pernos de anclaje en el conjunto del freno, y por último se inspeccionó los discos de freno de la rueda verificando que su grosor se encuentre dentro de los límites (espesor mínimo de 0.190 in).

### **Figura 47**

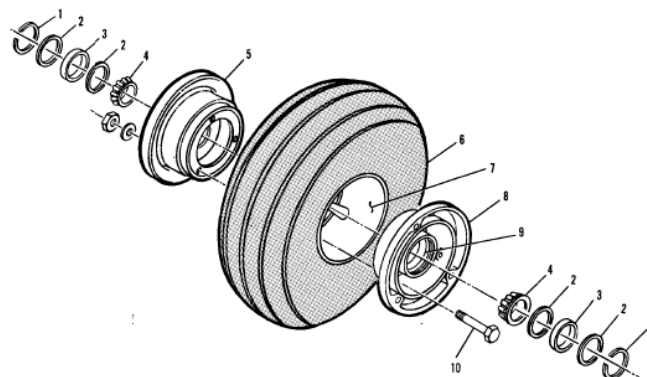
*Sistema de rueda tren principal*



*Nota.* Tomado de (Cessna, 1975).

### Figura 48

*Sistema de rueda tren de nariz*

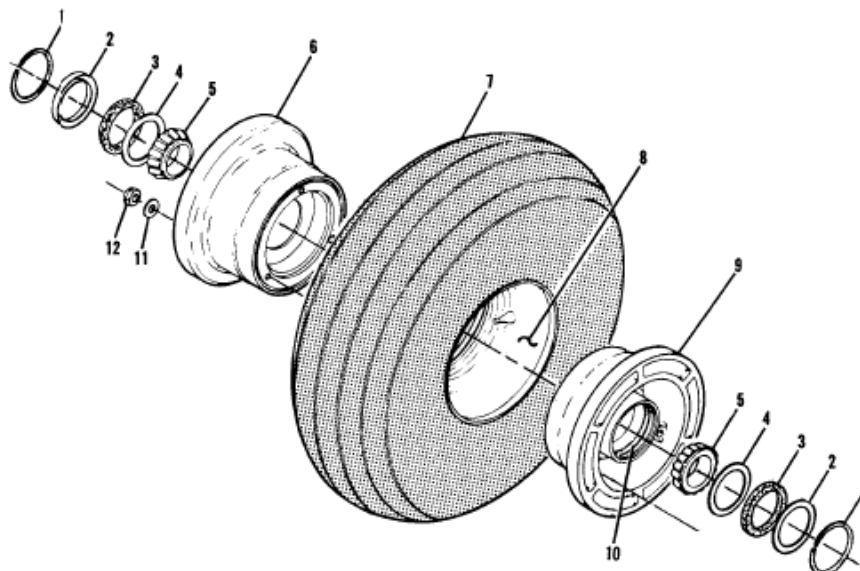


*Nota.* Tomado de (Cessna, 1975).

En base a la inspección indicada anteriormente, se constató que el conjunto de ruedas y frenos de la aeronave han sufrido un deterioro considerable, mostrando signos de corrosión como se observa en la Figura 49 y 50.

### Figura 49

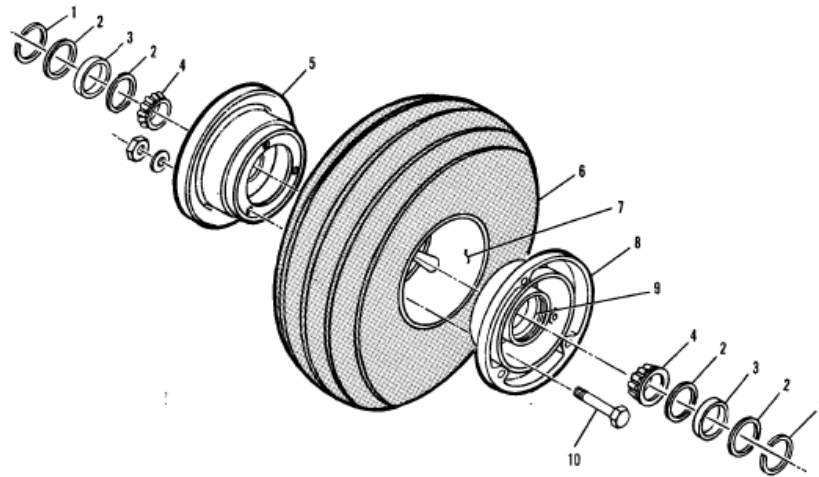
*Inspección del sistema de rueda del tren principal*



*Nota.* Tomado de (Cessna, 1975).

### Figura 50

*Inspección del sistema de rueda del tren de nariz*



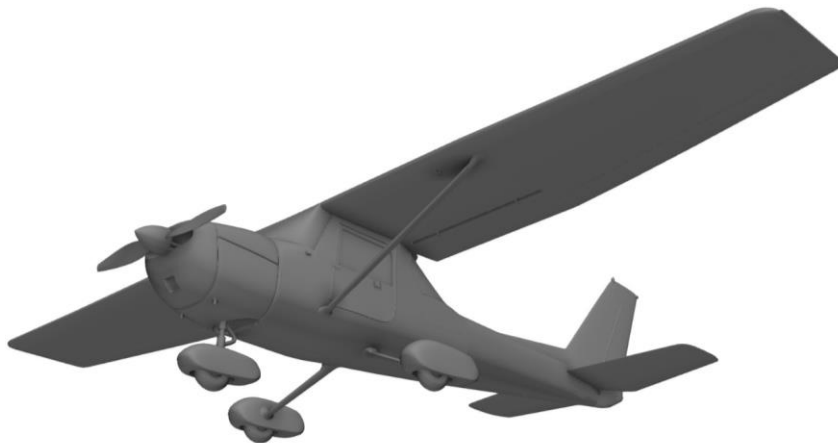
*Nota.* Tomado de (Cessna, 1975).

### Diseño de los carenados de las ruedas

En base a un software de diseño CAD con la aeronave en tamaño real en 3D (ver Figura 51), se analizó y se optimizó la forma y dimensiones de los carenados tanto del tren principal como del tren de nariz, como se indica en la Figura 52, 53 y 54.

### Figura 51

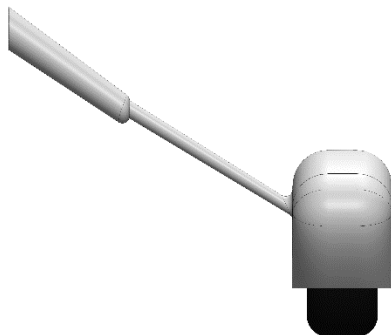
*Aeronave en tamaño real en 3D*



*Nota.* La figura indica la aeronave Cessna 150M en 3D, en un software CAD.

**Figura 52**

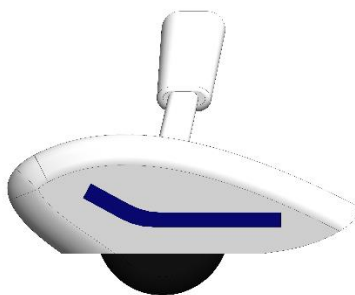
*Carenado – vista frontal*



*Nota.* La figura indica la vista frontal de un carenado del tren de aterrizaje.

**Figura 53**

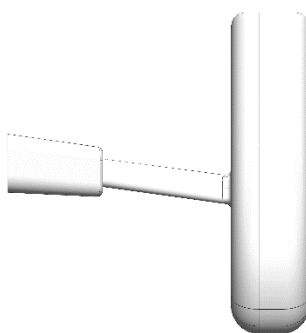
*Carenado – vista lateral*



*Nota.* La figura indica la vista lateral de un carenado del tren de aterrizaje.

**Figura 54**

*Carenado – vista superior*



*Nota.* La figura indica la vista superior de un carenado del tren de aterrizaje.

### **Proceso de fabricación de los carenados de las ruedas**

La decisión de reparar o reemplazar una unidad principal de la estructura de la aeronave estará influenciada por factores tales como el tiempo y la mano de obra disponible, y por una comparación de los costos de mano de obra con el precio de reemplazo. En este caso el reemplazo de los carenados de las ruedas fue inevitable porque la aeronave no contaba con los mismos.

#### ***Preparación del molde***

Para la fabricación de los carenados de las ruedas en materiales compuestos, es necesario contar con un molde de lo que se quiere replicar, un buen molde es sinónimo de un buen acabado en la terminación superficial del componente, en este caso de los carenados. Lo ideal es contar con un carenado de otra aeronave que sirva como molde (ver Figura 55), pero al no contar con el mismo, fue necesario confeccionar el molde en base a las dimensiones estipuladas para los carenados en base al modelo en 3D obtenido en el software de diseño CAD, como se indica en la Figura 56.

#### **Figura 55**

*Preparación del molde\_1*



*Nota.* Se puede observar un carenado del tren de aterrizaje de una aeronave que podría servir como molde para replicar los demás.



**Figura 56***Preparación del molde\_2*

*Nota.* Se puede observar el molde de los carenados de las ruedas, para poder replicar tantos como sea necesario. La superficie a replicar del molde debe tener un excelente acabado, ya que el carenado copiará dicha superficie.

***Preparación del material***

Los componentes construidos con fibra de vidrio en la aeronave se pueden reparar o fabricar según lo estipulado en las instrucciones provistas en el Kit de servicio SK182-12 (Cessna, 1975). Se debe observar las recomendaciones del fabricante de la resina con respecto a la mezcla y aplicación de la resina. Las resinas epoxi son preferibles para realizar reparaciones o componentes nuevos, ya que los compuestos epoxi suelen ser más estables y predecibles que los de poliéster y, además, dan una mejor adherencia. Es así que, en este caso, se utiliza como matriz la resina epoxi indicada en la Figura 57 con un tiempo de trabajo de 130 minutos a 20 °C, mientras más baja sea la temperatura el tiempo de trabajo disminuirá (Latacunga 8 °C – 60 minutos de trabajo aproximadamente). Como refuerzo se utiliza tejidos de fibra de vidrio como se observa en la Figura 58, será necesario utilizar varias capas del tejido hasta obtener el espesor deseado para los carenados (2 mm aproximadamente).

**Figura 57***Hoja técnica resina epoxi*

## Q2 Resina Epoxica Q2 - Refuerzo Estructural

**Descripción del producto.**

Es un sistema epoxico elaborado de dos componente El cual fue diseñado con una Resina Epoxica liquida tipo bisfenol A y un aducto Amónico como endurecedor Dichos componentes le confieren buena penetración en superficies de concreto y una excelente humectacion en fibra de carbono

Este es un sistema 100 % solidos

Usos Básicos

Se utiliza en:

- Refuerzos estructurales
- Estructuras o piezas que soporten altas temperaturas
- Para sellar cualquier superficie porosa
- Reforzar piezas o estructuras sometidas a esfuerzos mecánicos.
- Sector Aeroespacial
- Sector Automotriz

**Mezcla**

por cada 100g de Resina epoxica Q2 "Parte A" poner 14g de Catalizador "Parte B"

Se deberá mezclar los dos componentes ( A y B) mecanicamente con agitación controlada con el objeto de no introducir aire a la mezcla. El tiempo de mezclado es de 2 a 3 minutos, teniendo cuidado de mezclar perfectamente el material que esta en las paredes del recipiente. Generalmente se introduce el componente B en el A

CARACTERISTICAS	Q2
Viscosidad (cps at 25 °C)	11.500
Pot-life( a 20 °C, 200 g)	130 min
Resistencia a flexión Kg/cm <sup>2</sup>	3.44
Fuerza de compresión Kg/cm <sup>2</sup>	5.76
Tensión Kg/cm <sup>2</sup>	3.08
Resistencia a la adhesión Kg/cm <sup>2</sup>	116
Impacto Kg/cm <sup>2</sup>	1.68
Resistencia a Temperatura °C	185°C
Dureza	Shore D85
% de Absorción de agua	0.201

**Curado**

Tiempo de curado de 24 hr - 25°C

Tiempo de Gelado de 3hr - 25°C

Tiempo de trabajo (Pot-Life) 15min en mezclas de 100g

**Nota.** La figura indica los datos técnicos de la resina epoxi a utilizar, la mezcla es de 14 gr de endurecedor (Parte B) por cada 100 gr de resina (Parte A), se tiene un tiempo de trabajo de 130 min a 20 °C y un tiempo de curado de 24 hr a 25 °C.

**Figura 58**

Hoja técnica de la fibra de vidrio

### Technical Data Sheet

PRODUCT NAME EBXS600	Code 01300000612
Biaxial fabric 0° 90° in "E" glass	

layers	fiber	plan	tex	areal weight	areal weight
				gr/m <sup>2</sup>	tolerance
0°	E glass : PPG Roving 2002 or equivalent	M2	900 - 600	300	± 3 %
90°	E glass : PPG Roving 2002 or equivalent	M2	900 - 600	300	± 3 %
0°	polyester	M2	8,3	12	± 3 %
TOTAL gr/m <sup>2</sup>				612	± 3 %

Characteristics for fabric

lunghezza rotolo - standard roll length:	mtl 50 ± 1 mtl
larghezza rotolo - standard roll width:	mm 1270 ± 10 mm
peso netto rotolo - net roll weight:	Kg. 39 ± 3 %
tolleranza sulla grammatura - areal weight tolerance:	± 3 % ( ± 18 gr/m <sup>2</sup> )
grammatura teorica - theoretical areal weight:	gr/m <sup>2</sup> 612
identificazione rotolo - ident roll:	<b>EBXS600</b>
identification yarns:	red and yellow identification yarns
tipo di legatura - knitting type:	tricot
filo di legatura - stitch yarn:	polyester, texturated, 8,3 tex

Characteristics for filament yarn

tipo fibra - type:	PPG Roving 2002
binder content :	0.55 - 0.65 % ( nominal )
produttore - manufacturer:	PPG Industries
densità volumetrica - volumetric density:	gr/cm <sup>3</sup> 2.59 - 2.62
diamentro filamento - filament diameter:	µm 12 - µm 15
resistenza a trazione - tensile strength:	Mpa 1900 - 2400 ( ASTM D-2343 ) *
modulo a trazione - tensile modulus:	Gpa 69 - 76 ( ASTM D-2343 ) *
allungamento a rottura - elongation at break:	3.5 - 4 %

\* According to ASTM D-2343. All these informations can be used for material selection purposes only.

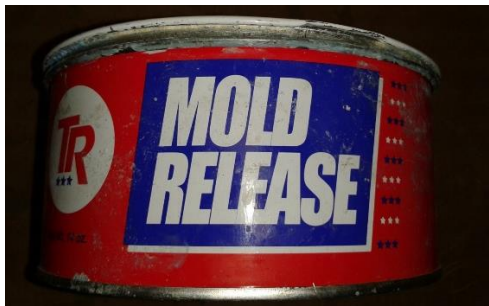
**Nota.** La figura indica los datos técnicos del tejido de fibra de vidrio tipo E a utilizar, con un peso por unidad de área de aproximadamente 300 gr/m<sup>2</sup>.

### Procesamiento

Una vez que se tiene el molde construido con un buen acabado en su superficie, se debe aplicar un agente desmoldante (ver Figura 59) para prevenir la adherencia de los carenados a fabricar con el molde. Se deben aplicar varias capas de desmoldante, y se debe pulir entre cada aplicación para mejorar las propiedades, el tiempo entre cada aplicación depende del tipo de desmoldante, en este caso se aplicó cera desmoldante.

**Figura 59**

*Agente desmoldante*



*Nota.* Se observa la cera desmoldante a utilizar, una vez aplicada se debe esperar un tiempo prudente hasta que se seque para pulir el molde, y luego de 10 min se aplica otra nueva capa, se recomienda la aplicación de 5 a 6 capas de desmoldante.

El siguiente paso es cortar las telas de fibra de vidrio (ver Figura 60), en base a la dimensión total del molde del carenado, en este caso se buscó tener un espesor en los carenados de aproximadamente 2 mm, por ende, fue necesario 4 capas de tela de fibra de vidrio. El laminado a formar es simétrico para que no exista esfuerzos por deformación y la secuencia de laminación es  $[0^\circ, \pm 45^\circ, \pm 45^\circ, 0^\circ]$ .

**Figura 60**

*Corte del refuerzo de fibra de vidrio*

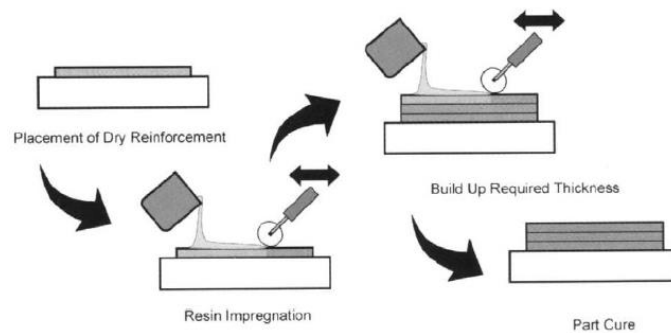


*Nota.* Son necesarias 4 telas de fibra de vidrio de (100 x 80) cm considerando la secuencia de laminación  $[0^\circ, \pm 45^\circ, \pm 45^\circ, 0^\circ]$ , el exceso de refuerzo se lo eliminará en un post procesamiento.

Luego se aplicó el proceso de fabricación de laminación manual, donde se va colocando individualmente cada tela en el molde, mojando cada tela con una determinada cantidad de resina hasta que quede completamente cubierta, con la ayuda de espátulas o brochas como se observa en la Figura 62, posteriormente se colocan las demás telas para finalmente armar la preforma de 4 telas en total para conseguir el espesor buscando (ver Figura 61).

### Figura 61

*Laminación manual\_1*



*Nota.* La colocación ordenada de las telas formará la preforma final con el espesor deseado para los carenados de las ruedas.

### Figura 62

*Laminación manual\_1*



*Nota.* En la figura se observa cómo se va mojando las telas con la resina hasta obtener el espesor total.

Una vez que se completó la fase de laminación, se debe esperar un tiempo productivo para que la resina endurezca (proceso de curado), en base a la resina que se utilizó dicho proceso tarda 24 horas como mínimo. Luego de transcurrido dicho tiempo se desprendió el carenado del molde, obteniendo así la forma final.

### **Figura 63**

#### *Desprendimiento del molde*



*Nota.* En la figura se observa el procedimiento de desprendimiento del molde, lo que se debe realizar con mucho cuidado para no causar ningún daño al carenado como al molde, el mismo que se reutilizará.

#### ***Post-procesamiento***

En el post-procesamiento de cada carenado, se deben realizar tareas de corte para eliminar el exceso de material, mediciones para verificar tolerancias y por último el proceso pintura para protegerlo de las condiciones a las que va a estar expuesto. Para pintar los carenados en primer lugar se debe preparar la superficie exterior eliminando cualquier impureza, luego se debe colocar masilla en lugares donde exista alguna imperfección, posteriormente se debe lijar todo el componente y limpiarlo nuevamente, y una vez limpio se procede a la colocación de 2 capas de pintura tipo esmalte.

**Figura 64**

*Pintura de los carenados*



*Nota.* En la figura se observa el procedimiento de pintura de los carenados, esto para protegerlos de las condiciones a los que van a estar expuestos en la aeronave.

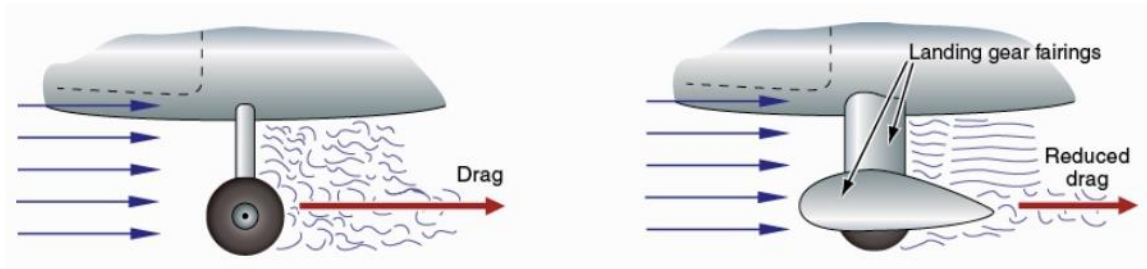
***Inspección y control de calidad***

Las tareas de inspección y control de calidad, sirven para verificar que los componentes cumplan con los estándares aeronáuticos establecidos, esto a través de ensayos no destructivos (NDT) como son Rayos - X, escaneos ultrasónicos y mediciones e inspecciones detalladas.

Los carenados no forman parte estructuralmente de la aeronave para resistir los esfuerzos generados en vuelo, su función es brindar una forma aerodinámica en las cercanías de las ruedas para disminuir la resistencia producida por las mismas (ver Figura 65), y así la aeronave sea más eficiente recorriendo mayores distancias con un menor consumo de combustible, es así que, en los carenados basta con una inspección detalla y verificar las medidas preestablecidas en el diseño base que se realizó a través del software de diseño CAD, como se observa en la Figura 66.

**Figura 65**

*Reducción de la resistencia gracias a los carenados*



*Nota.* En la figura se observa como los carenados de las ruedas ayudan a la disminución de la resistencia aerodinámica, así la aeronave es mucho más eficiente para cumplir con sus vuelos.

**Figura 66**

*Inspección y control de calidad*



*Nota.* Una vez construido el componente, la inspección y control de calidad es muy importante para verificar dimensiones y tolerancias.



## Capítulo IV

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- La información técnica disponible, facilitó la interpretación de los procedimientos necesarios para llevar a cabo la reparación en materiales compuestos de los carenados de las ruedas de la aeronave. Esto, considerando todos los aspectos técnicos en el manejo de dichos materiales. La resina epoxi como matriz y la fibra de vidrio como refuerzo, es la combinación más recomendada por el fabricante de la aeronave por sus características, resistencia y durabilidad.
- Para la realización de un correcto mantenimiento, en este caso de la fabricación de los carenados de las ruedas de la aeronave Cessna 150M, fue necesario implementar un área de trabajo adecuada para la realización de reparaciones estructurales en materiales compuestos, que cuente con ventilación y con todos los equipos y/o herramientas necesarias.
- Se detectó y evaluó el estado de los carenados de las ruedas, donde se constató que la aeronave no cuenta con dichos componentes, por ende, fue necesario construirlos en materiales compuestos (fibra de carbono + resina epoxi), esto en referencia al manual de reparaciones estructurales e información técnica aplicable a la aeronave Cessna 150M.
- Una vez construidos los carenados, se procedió a la correcta instalación en el sistema del tren de aterrizaje de la aeronave, los carenados no forman parte estructural para resistir los esfuerzos generados en vuelo, su función es brindar una forma aerodinámica en las cercanías de las ruedas para disminuir la resistencia aerodinámica producida, y así la aeronave será más eficiente.

**Recomendaciones**

- Utilizar siempre la documentación técnica aplicable y actualizada para realizar cualquier trabajo de mantenimiento en la aeronave. para garantizar que los procedimientos se realicen de manera adecuada y óptima.
- Las herramientas a utilizar en cualquier trabajo de mantenimiento deben estar en buenas condiciones y los equipos deben estar calibrados, para evitar tener cualquier tipo de inconveniente.
- Se recomienda a la universidad, brindar todas las facilidades para el uso del material didáctico disponible para los estudiantes, como los aviones escuela, motores, estructuras, entre otros. Además, se debe fomentar de manera práctica el uso de materiales compuestos en diferentes componentes de las aeronaves, con el objetivo de que cada uno de los estudiantes este capacitado para realizar una reparación o fabricación de un componente en materiales compuestos.

## Glosario

### A

**Aeronave:** Toda máquina que puede sustentarse en la atmósfera por reacciones del aire que no sean las reacciones del mismo contra la superficie de la tierra.

**Aeronavegabilidad:** Aptitud técnica y legal que deberá tener una aeronave para volar en condiciones de operación segura.

**Autoridad Aeronáutica:** Dirección General de Aviación Civil (DGAC).

### B

**Base Principal:** Lugar donde el explotador tiene un centro de operaciones al cual se encuentra asignada habitualmente el tripulante.

### C

**Certificado de Aeronavegabilidad:** Es un documento público otorgado por la DGAC, mediante el cual acredita que, a la fecha de su otorgamiento, la aeronave que dicho certificado respalda está apta para ser operada en forma segura.

**Certificado Tipo:** Es el certificado básico de diseño para avión, motor y hélice que establece el Diseño Tipo.

**Chequeo:** Comprobación de un componente o un sistema.

### D

**Dispositivo:** Cualquier instrumento, mecanismo, equipo, parte, aparato, órgano auxiliar o accesorio que es usado o que se tratará de usar en la operación o control de una aeronave, instalado en, o fijado a la misma, y que no es parte de la estructura.

### E

**Equipo:** Uno o varios conjuntos de componentes relacionados operacionalmente para el cumplimiento integral de una función determinada.

**F**

**Federal Aviation Regulations:** Regulaciones Federales para la Aeronáutica civil de los Estados Unidos de Norte América.

**G**

**Grupo Motor:** Conjunto compuesto de uno o más motores y elementos auxiliares, que juntos son necesarios para producir tracción, independiente del funcionamiento continuo de cualquier otro grupo motor o grupos motores, pero que no incluye los dispositivos que produzcan tracción durante cortos períodos.

**I**

**Instrumento:** Componente que utiliza un mecanismo interno para mostrar visual o auditivamente la actitud, altura y operación de una aeronave o una parte de la misma.

**Inspección:** Revisar, evaluar mediante la vista o equipo.

**L**

**Limpieza:** Retirar objetos, manchas, grasas ajenas al componente.

**M**

**Material compuesto:** Aquellos materiales que se forman por la unión de dos o más materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales.

**Mantenimiento:** Trabajos requeridos para asegurar el mantenimiento de la aeronavegabilidad de las aeronaves, lo que incluye una o varias de las siguientes tareas: reacondicionamiento, reparación, inspección, reemplazo de piezas, modificación o rectificación de defectos.

**O**

**Overhaul:** Revisión a profundidad con la finalidad de dejar a un componente en perfectas condiciones.

**P**

**Preservar:** Proteger de algún daño un componente.

**Procedimiento:** Conjunto de acciones para cumplir la tarea.

**R**

**Reparación:** Restitución de un componente o aeronave.

**T**

**Transporte Aéreo:** Transporte de personas o cosas efectuado por medio de aeronaves.

**V**

**Validación:** La aceptación escrita de una acción de la autoridad de Aviación Civil de otro país, con relación a una acción que la ley asigne al director.

## Abreviaturas

### A

**AMM:** Manual de mantenimiento de la aeronave.

**AD:** Directiva de aeronavegabilidad.

### B

**Base Principal:** Lugar donde el explotador tiene un centro de operaciones al cual se encuentra asignada habitualmente el tripulante.

### C

**CCM:** Manual de Mantenimiento de Componentes.

**CDL:** Lista de desviaciones respecto a la configuración

### D

**DGAC:** Dirección General de Aviación Civil.

### F

**FAA:** Administración Federal de Aviación de los EEUU.

**FAR:** Federal Aviation Regulations.

**FT:** Pies.

### G

**GAL:** Galón.

### H

**HRS:** Horas.

**HP:** Caballos fuerza.

### I

**ICAO:** Organización de Aviación Civil Internacional.

**IFR:** Reglas de Vuelo por Instrumentos.

**IN:** Pulgadas.

**K**

**KT:** Nudos.

**M**

**MMEL:** Lista Maestra de Equipo Mínimo.

**MM:** Manual de Mantenimiento.

**MIN:** Minutos

**R**

**RDAC:** Regulaciones de Aviación Civil.

**S**

**STC:** Certificado Tipo Suplementario.

**T**

**TC:** Certificado Tipo.

## Bibliografía

- Advisory Circular AC 43.13-1B. (1998).
- Aerospace, C. (2011). *Overhaul Manual*. South Carolina: Liberty.
- Aircraft Spruce and Specialite Co. (2022). *West System Epoxy Kits*. Obtenido de <https://www.aircraftspruce.com/>
- BANYAN. (2020). Obtenido de <https://www.banyanair.com/>
- Boeing Company. (2018). *Maintenance Manual*.
- Bonet, G. (2012). *Estructuras de Materiales Compuestos*. Buenos Aires.
- Cessna. (1975). *Service Manual 150 Series*.
- Cessna Aircraft Company. (1970). *Illustrated Parts Catalog*. Kansas: Cessna.
- Cessna Aircraft Company. (1972). *Service Manual*. USA: GAMA.
- DGAC. (2012). *Direccion General de Aviacion Civil* . Recuperado el 25 de Noviembre de 2019, de Direccion General de Aviacion Civil : <https://www.aviacioncivil.gob.ec/biblioteca/>
- Easy Composites Ltd. (2022). *Reinforcement & Prepregs*. Obtenido de <https://www.easycomposites.co.uk/>
- ECURED. (2018). *Cessna 150*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/>
- ESTEBAN, O. (2019). *Conocimientos del avión*. España: Paraninfo.
- FAA. (2018). *Aviation Maintenance Technician Handbook–Powerplant*. Oklahoma: Flight Standards Servi.
- FibraTec. (2020). *Resina de Poliester*. Obtenido de <https://www.fibratec.cl/>
- Gurit. (2022). *Guide to composites*. Obtenido de Composite solutions: <http://www.gurit.com>



- INGENIERÍA Y ESTRUCTURAS AERONÁUTICAS. (2013). Obtenido de <https://www.josemiguelatehortua.com>
- LLC, S. B. (2022). *Building Systems*. Obtenido de <https://www.steelmasterestructuras.com/>
- Lufthansa Technik*. (2019). Obtenido de <https://www.lufthansa-technik.com/>
- Manual de Vuelo. (2020). *Sistemas Funcionales*. Obtenido de <https://manualvuelo.es/>
- Monar. (2022). *Inspección de 200 horas mediante los ítems de inspección señalados en el manual de la aeronave Cessna T206H del Grupo de Aviación del Ejército No. 44 "Pastaza"*.
- NauticEXPO. (2022). *Resina viniléster*. Obtenido de <https://www.nauticexpo.es/>
- Phase One Flight Testing*. (2008). Obtenido de <http://mybearhawk.com/>
- Planephd LLC. (2022). *CESSNA 150M*. Obtenido de <https://planephd.com/>
- Proflight. (2019). *CESSNA 150*. Obtenido de <https://www.proflight.com.ar/>
- QANTAS. (2019). Obtenido de <https://www.qantasnewsroom.com.au/>
- SKY GEEK. (2019). Obtenido de <https://www.skygeek.com/>
- SRSEGURIDAD. (2021). *Señor Seguridad*. Obtenido de <https://srseguridad.com/>
- TECSUP. (2022). *Aviónica y Mecánica Aeronáutica*.
- Textron Aviation Inc. (2022). *SINGLE ENGINE AIRCRAFT*. Obtenido de <https://cessna.txtav.com/>
- The Boeing Company. (2014). *Composite Materials Overview for Engineers*. Savannah GA.
- Zurita, J. (2022). Análisis sistemático de estructuras de materiales compuestos (carbono-epoxi) tipo sándwich, utilizadas en aplicaciones aeronáuticas. *Dominio de las Ciencias*.

**Anexos**