



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**“Mantenimiento de los paneles de la cabina de mando del helicóptero Gazelle E-367
mediante técnicas de reparación de materiales compuestos para preservar la vida útil de
la aeronave”**

Oñate Ruiz, Cristopher Alexander

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Monografía, previa a la obtención del título de Tecnólogo Superior en Mecánica Aeronáutica

Tlgo. Arellano Reyes, Milton Andrés

10 de agosto del 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Monografía Oñate Ruiz Cristopher Al...

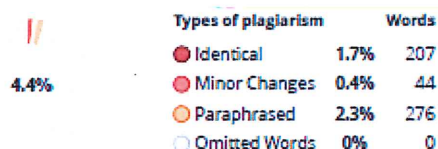
Scan details

Scan time: August 13th, 2023 at 15:51 UTC

Total Pages: 48

Total Words: 11989

Plagiarism Detection



AI Content Detection



🔍 Plagiarism Results: (41)

🌐 **Aérospatiale SA341 Gazelle** 1.4%

https://www.wiki3.es-es.nina.az/a%3%a9rospatiale_sa_341_...

www.wiki3.es-es.nina.az

Contacta con nosotros Menú www.wiki3.es-es.nina.az Wikipedia Categorías0
1 2 3 4 5 6...

🌐 **About: Aérospatiale Gazelle** 1.2%

https://dbpedia.org/page/a%3%a9rospatiale_gazelle

Browse using OpenLink Faceted Browser OpenLink Structured Data Edit...

🌐 **Aérospatiale SA341 Gazelle - Wikiwand** 1.1%

https://www.wikiwand.com/es/aerospatiale_sa_341_gazelle

IntroducciónAérospatiale SA341 Gazelle Características tecnológicas
ComponentesPropulsión Especificaciones (SA 341)Característica...

Tlgo. Arellano Reyes, Milton Andrés

C.C.: 1723064513



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Certificación

Certifico que la monografía: **“Mantenimiento de los paneles de la cabina de mando del helicóptero Gazelle E-367 mediante técnicas de reparación de materiales compuestos para preservar la vida útil de la aeronave”** fue realizada por el señor **Oñate Ruiz, Christopher Alexander**, la misma que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisada y analizada 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 la sustente públicamente.

Latacunga, 10 de agosto del 2023

.....
Tlgo. Arellano Reyes, Milton Andrés

C.C.: 1723064513



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Oñate Ruiz, Christopher Alexander**, con cédula de ciudadanía n° 1804364295, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Mantenimiento de los paneles de la cabina de mando del helicóptero Gazelle E-367 mediante técnicas de reparación de materiales compuestos para preservar la vida útil de la aeronave”** 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, 10 de agosto del 2023

Oñate Ruiz, Cristopher Alexander

C.C.: 1804364295



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Autorización de Publicación

Yo, **Oñate Ruiz, Christopher Alexander**, con cédula de ciudadanía n° 1804364295, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Mantenimiento de los paneles de la cabina de mando del helicóptero Gazelle E-367 mediante técnicas de reparación de materiales compuestos para preservar la vida útil de la aeronave”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 10 de agosto del 2023

.....
Oñate Ruiz, Christopher Alexander

C.C.: 1804364295

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado en primera instancia a la divinidad, pues me brindó fuerza y discernimiento a lo largo de los años de estudio, permitiéndome superar los momentos desafiantes y alcanzar el pináculo de mi educación universitaria, la pasión más profunda en mi vida académica. A mis progenitores, quienes me otorgaron un apoyo incuestionable y estuvieron a mi lado constantemente durante mi período de aprendizaje, siendo un modelo ejemplar a emular en la vida. A mi círculo familiar, amigos y conocidos en general, quienes con afecto y empatía me proporcionaron la energía necesaria para encarar mis temores y depositaron su confianza en mí a lo largo de todo el proceso de formación.

Oñate Ruiz, Christopher Alexander

Agradecimiento

Expreso mi gratitud a la divinidad por otorgarme la capacidad de alcanzar otro logro en mi trayectoria educativa, y por brindarme tanto las facultades físicas como las mentales necesarias para llevarlo a cabo. Reconozco especialmente el papel crucial de las personas excepcionales que han cruzado mi camino, iluminándolo con su vasto saber durante mi constante proceso de aprendizaje. A mi familia, les agradezco por sus sabios consejos y por mantener una confianza constante en mi potencial. Extiendo mi reconocimiento a la honorable institución, la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, que me ha permitido adquirir conocimientos y forjar virtudes en consonancia con sus valores institucionales. No puedo dejar de mencionar a mi mentor, el Tlgo. Andrés Arellano, cuya guía ha sido fundamental en dirigirme por el sendero del saber y la indagación a lo largo de este período. Finalmente, deseo expresar mi agradecimiento a todo el cuerpo docente de mi carrera, cuya sabiduría y experiencias compartidas han enriquecido mi vida universitaria y cuyos consejos y orientación me motivan a continuar avanzando.

Oñate Ruiz, Cristopher Alexander

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
Índice de contenidos	8
Índice de figuras	11
Índice de tablas	14
Resumen.....	15
Abstract	16
Capítulo I: Planteamiento del problema	17
Antecedentes	17
Planteamiento del problema.....	18
Justificación e importancia	19
Objetivos.....	20
<i>Objetivo general</i>	20
<i>Objetivos específicos</i>	20
Alcance	20
Capítulo II: Marco teórico	21
Helicóptero Gazelle AS 341L	21
<i>Historia del helicóptero</i>	21
<i>Descripción del helicóptero</i>	23

	9
<i>Datos técnicos y características del helicóptero</i>	25
Fuselaje del helicóptero	26
<i>Estructura</i>	27
<i>Puertas de acceso</i>	31
<i>Cabina</i>	33
Materiales utilizados en la construcción del helicóptero	35
Materiales compuestos.....	38
<i>Definición y clasificación de materiales compuestos</i>	38
<i>Propiedades y ventajas de los materiales compuestos</i>	40
<i>Matrices y refuerzos comunes en materiales compuestos</i>	41
<i>Reparaciones en materiales compuestos</i>	46
Mantenimiento aeronáutico.....	49
<i>Tipos de Mantenimiento Aeronáutico</i>	50
Documentación aeronáutica	54
<i>Documentación operacional</i>	55
<i>Documentación técnica</i>	56
Medidas de seguridad en mantenimiento aeronáutico	58
Capítulo III: Desarrollo del tema.....	60
Descripción general	60
Preparación del área de trabajo	61
Inspección preliminar	62
Proceso de reparación del panel de instrumentos	63
<i>Desmontaje y limpieza del panel de instrumentos</i>	63
<i>Preparación de áreas dañadas del panel de instrumentos</i>	64
<i>Reparación del panel de instrumentos</i>	66

	10
<i>Acabado e instalación del panel de instrumentos</i>	68
Proceso de reparación del pedestal de control	70
<i>Desmontaje y limpieza del pedestal de control.....</i>	70
<i>Preparación de áreas dañadas del pedestal de control.....</i>	72
<i>Reparación del pedestal de control.....</i>	73
<i>Acabado e instalación del pedestal de control.....</i>	74
Proceso de reparación del panel de advertencia.....	76
<i>Desmontaje y limpieza del panel de advertencia</i>	76
<i>Preparación de áreas dañadas del panel de advertencia</i>	78
<i>Reparación del panel de advertencia.....</i>	79
<i>Acabado e instalación del panel de advertencia</i>	80
Inspección final de las reparaciones en los paneles de la cabina de mando	81
Capítulo IV: Conclusiones y recomendaciones	83
Conclusiones	83
Recomendaciones	84
Glosario	85
Abreviaturas	87
Bibliografía	88
Anexos.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Helicóptero Gazelle AS 341L</i>	21
Figura 2 <i>Helicóptero Gazelle AS 341L en el conflicto del alto Cenepa</i>	22
Figura 3 <i>Instrumentos de vuelo del helicóptero</i>	24
Figura 4 <i>Dimensiones generales del helicóptero</i>	25
Figura 5 <i>Fuselaje del helicóptero Gazelle AS 341L</i>	27
Figura 6 <i>Cabina y paneles transparentes del helicóptero</i>	28
Figura 7 <i>Estructura inferior del helicóptero</i>	29
Figura 8 <i>Estructura central del helicóptero</i>	30
Figura 9 <i>Estructura posterior del helicóptero</i>	31
Figura 10 <i>Puertas delanteras del helicóptero</i>	32
Figura 11 <i>Puertas posteriores del helicóptero</i>	33
Figura 12 <i>Cabina del helicóptero</i>	34
Figura 13 <i>Zonas de construcción de aleaciones de aluminio 2024 T3</i>	35
Figura 14 <i>Zonas de construcción de fibra de vidrio</i>	36
Figura 15 <i>Zonas de construcción de paneles tipo honeycomb</i>	37
Figura 16 <i>Zonas de construcción de material transparente</i>	37
Figura 17 <i>Materiales compuestos</i>	38
Figura 18 <i>Matriz - resina poliéster</i>	42
Figura 19 <i>Fibra de carbono</i>	44
Figura 20 <i>Fibra de vidrio</i>	44
Figura 21 <i>Fibra de aramida</i>	45
Figura 22 <i>Fibras naturales</i>	45
Figura 23 <i>Reparaciones en materiales compuestos</i>	46

	12
Figura 24 <i>Delaminación después de un impacto</i>	47
Figura 25 <i>Métodos de reparación</i>	48
Figura 26 <i>Proceso de curado y consolidación</i>	48
Figura 27 <i>Inspección y pruebas posteriores a la reparación</i>	49
Figura 28 <i>Componente con vida límite o vencimiento</i>	51
Figura 29 <i>Componente con overhaul o recorrida</i>	52
Figura 30 <i>Componente on condition</i>	52
Figura 31 <i>Mantenimiento predictivo</i>	53
Figura 32 <i>Mantenimiento restaurativo</i>	54
Figura 33 <i>Documentación técnica</i>	57
Figura 34 <i>Equipo de protección personal</i>	59
Figura 35 <i>Preparación del área de trabajo</i>	61
Figura 36 <i>Limpieza e inspección preliminar</i>	62
Figura 37 <i>Panel de instrumentos</i>	63
Figura 38 <i>Desmontaje y limpieza del panel de instrumentos</i>	64
Figura 39 <i>Preparación de áreas dañadas del panel de instrumentos</i>	65
Figura 40 <i>Aplicación de resina - panel de instrumentos</i>	66
Figura 41 <i>Refuerzos de fibra de vidrio - panel de instrumentos</i>	67
Figura 42 <i>Esquema de reparación</i>	68
Figura 43 <i>Acabado del panel de instrumentos</i>	69
Figura 44 <i>Instalación del panel de instrumentos</i>	69
Figura 45 <i>Pedestal de control</i>	70
Figura 46 <i>Desmontaje y limpieza del pedestal de control</i>	71
Figura 47 <i>Preparación de áreas dañadas del pedestal de control</i>	72
Figura 48 <i>Refuerzos de fibra de vidrio - pedestal de control</i>	74

Figura 49 <i>Acabado del pedestal de control</i>	75
Figura 50 <i>Instalación del pedestal de control</i>	76
Figura 51 <i>Panel de advertencia</i>	77
Figura 52 <i>Desmontaje y limpieza del panel de advertencia</i>	78
Figura 53 <i>Preparación de áreas dañadas del panel de advertencia</i>	79
Figura 54 <i>Refuerzos de fibra de vidrio - panel de advertencia</i>	80
Figura 55 <i>Acabado del panel de advertencia</i>	81
Figura 56 <i>Instalación del panel de advertencia</i>	81
Figura 57 <i>Inspección final de las reparaciones</i>	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características generales del helicóptero</i>	26
Tabla 2 <i>Medidas de seguridad en el mantenimiento de aeronaves.....</i>	59

Resumen

El presente trabajo aborda el tema del mantenimiento y reparación de los paneles de la cabina de mando del helicóptero Gazelle SA 341L, mediante técnicas especializadas en materiales compuestos. El objetivo principal consiste en restaurar y preservar la vida útil de la aeronave, centrándose en los componentes construidos con materiales compuestos que componen los paneles de control de la cabina. Se desarrollan etapas fundamentales, en primer lugar, se recopila información técnica esencial para llevar a cabo los procedimientos de reparación en materiales compuestos. Luego, se realiza una minuciosa inspección y evaluación del estado de los paneles antes de la reparación, siguiendo los estándares y pautas establecidas en los manuales técnicos pertinentes. La ejecución de los procedimientos de reparación se lleva a cabo meticulosamente, basándose en los lineamientos proporcionados en el manual de mantenimiento (MDE), el manual de técnicas estándar (MTC) y otras fuentes técnicas relevantes. Finalmente, se realiza una inspección exhaustiva para validar la efectividad de las reparaciones realizadas en los materiales compuestos de los paneles de la cabina de mando del helicóptero. El proyecto se enfoca en asegurar que los elementos construidos con materiales compuestos mantengan su funcionalidad óptima, contribuyendo así a la preservación integral de la vida útil de la aeronave Gazelle SA 341L. Mediante la aplicación de técnicas avanzadas y siguiendo rigurosos protocolos de mantenimiento, se logra garantizar la seguridad y operatividad del helicóptero, en línea con los más altos estándares de la industria aeronáutica.

Palabras clave: helicóptero Gazelle AS 341L, materiales compuestos, reparación, mantenimiento – Helicóptero Gazelle.

Abstract

The present work addressed the issue of maintenance and repair of the control cabin panels of the Gazelle SA 341L helicopter, using specialized techniques in composite materials. The main objective is to restore and preserve the useful life of the aircraft, focusing on the components built with composite materials that make up the cockpit control panels. Fundamental stages are developed, firstly, essential technical information is collected to carry out repair procedures in composite materials. A thorough inspection and assessment of the condition of the panels is then carried out prior to repair, following the standards and guidelines set out in the relevant technical manuals. The execution of the repair procedures is carried out meticulously, following the necessary guidelines in the maintenance manual (MDE), the manual of standard techniques (MTC) and other relevant technical sources. Finally, an exhaustive inspection is carried out to validate the effectiveness of the repairs carried out on the composite materials of the helicopter's cockpit panels. The project focuses on ensuring that the elements built with composite materials maintain their optimal functionality, thus contributing to the integral lifetime of the Gazelle SA 341L aircraft. Through the application of advanced techniques and following rigorous maintenance protocols, it is possible to guarantee the safety and operability of the helicopter, in line with the highest standards of the aeronautical industry.

Keywords: Gazelle AS 341L helicopter, composite materials, repair, maintenance –
Gazelle Helicóptero.

Capítulo I

Planteamiento del problema

Antecedentes

La evolución de los materiales a lo largo de la historia ha sido fundamental en el desarrollo y mejora de la industria aeronáutica. Desde los primeros días de la aviación, los materiales utilizados en la construcción de aeronaves han experimentado avances significativos en términos de resistencia, rigidez y capacidad para absorber los esfuerzos a los que están sometidos. Esta constante búsqueda de materiales más eficientes y duraderos ha permitido alcanzar niveles cada vez más altos de seguridad y rendimiento en la aviación.

Las prácticas estándar en aeronáutica se han convertido en un pilar fundamental para la industria aeronáutica al establecer pautas y directrices precisas sobre los materiales adecuados para la construcción y reparación de componentes internos de aeronaves. En el contexto de este trabajo, el enfoque está en la aplicación de estos estándares en el helicóptero Gazelle E-367, específicamente en lo que respecta a la reparación de los paneles de la cabina de mando utilizando técnicas de reparación de materiales compuestos.

La Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE adquirió el helicóptero Gazelle por donación de la Brigada del Ejército N° 15 Paquisha. Esta adquisición representa una oportunidad invaluable para la Carrera de Mecánica Aeronáutica, ya que brinda a los estudiantes la posibilidad de participar en prácticas de mantenimiento y reparación en los diversos componentes del helicóptero. Dichas prácticas no solo se ajustan a las normativas establecidas en los manuales de mantenimiento, sino que también se centran en la aplicación de técnicas y conocimientos avanzados en la reparación de materiales compuestos.

Planteamiento del problema

La Carrera de Mecánica Aeronáutica ha reconocido la importancia de mejorar las técnicas de aprendizaje para sus estudiantes, buscando la manera de traducir los conocimientos adquiridos durante su formación universitaria en experiencias prácticas y significativas. Con el propósito de implementar un enfoque real y didáctico que no solo beneficie a la actual generación de estudiantes, sino que también sienta las bases para el aprendizaje efectivo de futuras promociones, se ha tomado la decisión de llevar a cabo prácticas de mantenimiento y reparación en un entorno tangible y aplicado.

En el contexto de la industria aeronáutica, los materiales compuestos como la fibra de carbono, fibra de vidrio, fibras aramidas y resinas epóxicas de grado aeronáutico desempeñan un papel crucial. Estos materiales presentan ventajas notables, incluyendo su bajo peso y alta resistencia, lo que ofrece alternativas tecnológicas significativas en la fabricación y mantenimiento de partes y componentes de aeronaves. Sin embargo, la utilización de materiales compuestos también conlleva desafíos, particularmente en lo que respecta a la reparación y conservación de estos recursos.

La donación del helicóptero Gazelle E-367 a la Universidad representa una oportunidad única para llevar a cabo prácticas de mantenimiento y reparación en un entorno real. Se busca garantizar que los estudiantes de la carrera adquieran no solo conocimientos teóricos, sino también habilidades prácticas en la reparación de materiales compuestos, específicamente en lo que concierne a los paneles de la cabina de mando del helicóptero Gazelle. Esto implica la necesidad de desarrollar métodos de inspección y evaluación de daños efectivos, así como técnicas de restauración que utilicen materiales compuestos con el objetivo de preservar los recursos y asegurar la durabilidad y seguridad de la aeronave.

Justificación e importancia

El proyecto tiene mucha relevancia, tanto en el ámbito educativo como en la industria aeronáutica. Su impacto abarca a docentes y estudiantes de la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica, beneficiando la calidad de la instrucción y el aprendizaje respectivamente. El enfoque en el mantenimiento de los paneles de la cabina de mando del helicóptero Gazelle E-367 utilizando materiales compuestos responde a la necesidad de cumplir con los más altos estándares de educación en el campo aeronáutico.

La importancia de este proyecto radica en su aplicación práctica y enriquecedora para los estudiantes. Al brindarles la oportunidad de participar activamente en la restauración de una aeronave inoperativa, se fomenta un aprendizaje aplicado que va más allá de las aulas. Los estudiantes adquirirán habilidades concretas y transferibles en la reparación y uso de materiales compuestos, una competencia altamente demandada en la industria. La restauración y reparación estructural del helicóptero Gazelle tiene implicaciones en la seguridad y operatividad de la aeronave. La culminación exitosa de este proyecto no solo permitirá la restauración efectiva de la aeronave, sino que también habilitará tareas secuenciales para su adecuación general. Dados los daños acumulados debido a factores como corrosión, contaminación ambiental y desgaste de componentes, este proyecto desempeña un papel crucial en la revitalización del helicóptero.

La factibilidad del proyecto se respalda en la colaboración con la Brigada de Aviación Nro. 15 "Paquisha" del Ejército Ecuatoriano, que proporciona las herramientas, equipos y documentación técnica necesaria. Esta asociación garantiza la disponibilidad de recursos esenciales para llevar a cabo las tareas de restauración de manera efectiva y exitosa de los paneles de la cabina de mando del helicóptero.

Objetivos

Objetivo general

Reparar los paneles de la cabina de mando del helicóptero Gazelle SA 341L, mediante técnicas de reparación de materiales compuestos (ATA 20) para preservar la vida útil de la aeronave.

Objetivos específicos

- Recopilar información técnica para llevar a cabo los procedimientos de reparación en materiales compuestos de los paneles de la cabina de mando del helicóptero.
- Inspeccionar y evaluar el estado de los paneles de la cabina de mando del helicóptero, previo a la reparación de los mismos.
- Ejecutar los procedimientos de reparación en materiales de los paneles de la cabina de mando del helicóptero, en base a los manuales técnicos.
- Realizar una inspección final y detallar los resultados obtenidos en las reparaciones en materiales compuestos de los paneles de la cabina de mando del helicóptero.

Alcance

El objetivo principal de este proyecto consiste en llevar a cabo la restauración de los elementos construidos a partir de materiales compuestos que conforman los paneles de control de la cabina del helicóptero Gazelle AS 341L. Para lograr este propósito, se hará uso del manual de reparación estructural (MRS), el manual de técnicas estándar (MTC) y la información técnica relevante. El propósito fundamental es asegurar que los diversos componentes sean mantenidos en un estado óptimo y así preservar la vida útil integral de la aeronave.

Capítulo II

Marco teórico

Helicóptero Gazelle AS 341L

Historia del helicóptero

El helicóptero Gazelle, conocido como 'gacela' en francés, es un modelo de helicóptero ligero y versátil con estructura de metal. Fue conceptualizado durante la segunda mitad de la década de 1960 por la empresa Sud Aviation y comenzó a ser producido en serie a principios de la década de 1970 en una colaboración entre la Société Nationale Industrielle Aérospatiale (SNIAS o Aérospatiale) y Westland Helicopters. Esta cooperación dio lugar a dos variantes principales para uso comercial: el SA341 y el SA342.

Figura 1

Helicóptero Gazelle AS 341L



Nota. Helicóptero de reconocimiento Gazelle SA 341L. Tomado de (jmodels.net, 2022).

A pesar de su enfoque principalmente militar, con múltiples ejércitos nacionales (como los de Francia, Ecuador, Marruecos, Reino Unido, Yugoslavia, Egipto, Kuwait e Irak) siendo los destinatarios principales de su producción, el helicóptero Gazelle también logró cierto grado de

éxito en aplicaciones civiles. A pesar de su larga trayectoria, esta aeronave todavía mantiene su relevancia como la fuerza principal de helicópteros de combate en numerosos países.

Durante la década de 1980, la Aviación del Ejército del Ecuador experimentó un importante avance en su capacidad operativa al recibir una serie de helicópteros de última generación. En ese período, se incorporaron los helicópteros Aerospatiale SA 330 Puma y SA 315 Lama como los primeros en su flota. En 1985, se llevó a cabo un fortalecimiento significativo de la flota con la adquisición de varios helicópteros adicionales, entre ellos los modelos AS 332 Súper Puma y SA 341 Gazelle. Estos helicópteros no solo eran capaces de cumplir funciones de ataque, sino que también estaban equipados con sistemas de reconocimiento y portaban misiles antitanques, aumentando así la versatilidad de la flota.

Figura 2

Helicóptero Gazelle AS 341L en el conflicto del alto Cenepa



Nota. Helicóptero SA 341L Gazelle de la Aviación del Ejército de Ecuador. Tomado de (geocities, 2000).

La evolución tecnológica de la flota continuó en 2002, cuando se modernizaron los helicópteros Gazelle. Esta modernización incluyó la implementación de sistemas avanzados, como un sensor térmico de alta calidad para visión nocturna, cámaras y lentes para la visualización diurna, así como una mira láser y sistemas de adquisición de blancos. Estas mejoras ampliaron considerablemente las capacidades de los helicópteros y les permitieron desempeñar funciones aún más especializadas.

Los helicópteros AS-332 Super Puma, Puma y SA 341, SA 342 Gazelle de la Aviación del Ejército de Ecuador demostraron su valía en 1995 al participar en diversas misiones. Estas misiones abarcaron desde operaciones de combate y ataques, hasta tareas críticas como evacuaciones médicas en situaciones de emergencia y abastecimiento a las tropas en terrenos desafiantes. A lo largo de cerca de 11 misiones de combate, estos helicópteros acumularon más de 5000 horas de vuelo, evidenciando su resistencia y eficacia en situaciones diversas. Su versatilidad y contribución en misiones cruciales subrayan su importancia como activo clave en la Aviación del Ejército del Ecuador.

Descripción del helicóptero

La aeronave Gazelle fue diseñada con la intención de sustituir a los Alouette II, incorporando notables avances tecnológicos que la distinguen. Uno de sus aspectos más destacados es la innovadora adopción del sistema Fenestron en lugar del rotor antipar convencional, marcando así una diferencia significativa en su diseño. En su versión SA 341G, lanzada en 1975, logró un hito al ser el primer helicóptero monopiloto habilitado para vuelo en condiciones meteorológicas de aterrizaje de categoría I (CAT I).

La estructura del Gazelle se caracteriza por la implementación de paneles "sándwich" elaborados con fibra de carbono. Su rotor principal, compuesto por tres palas "flexibles", se distingue por brindar un nivel de comodidad superior a los pasajeros al minimizar las vibraciones, lo que mejora la experiencia de vuelo.

Figura 3

Instrumentos de vuelo del helicóptero



Nota. Instrumentos del helicóptero Gazelle SA 341L, un helicóptero con características excepcionales. Tomado de (AviationSales, 2023).

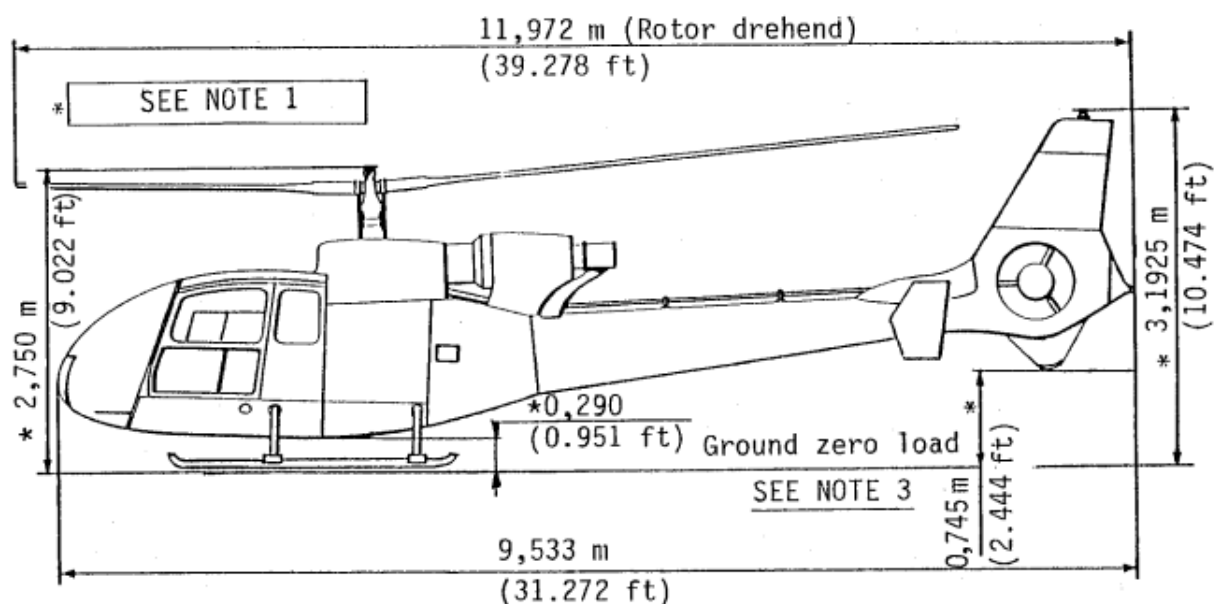
Uno de los aspectos que destaca en el Gazelle es su enfoque en el mantenimiento avanzado, lo cual se traduce en operaciones sencillas de mantenimiento que pueden ser llevadas a cabo por los mecánicos antes o después de cada vuelo. Esta característica permite una notable reducción en el tiempo dedicado a operaciones de mantenimiento, contribuyendo así a incrementar la disponibilidad operativa y la confiabilidad de la aeronave. Por ejemplo, el mantenimiento de un Alouette II o III tras una misión consumía una hora, mientras que, para el Gazelle, este proceso se reducía a tan solo 30 minutos. Esta eficiencia en el mantenimiento se suma a las ventajas del Gazelle en términos de su diseño y tecnología avanzada.

Datos técnicos y características del helicóptero

El helicóptero Gazelle AS 341L está equipado con un rotor principal compuesto por tres palas articuladas que alcanzan un diámetro de 10.50 metros. Esta configuración del rotor no solo proporciona un gran nivel de control sobre la aeronave, sino que también ofrece una excelente capacidad de amortiguación de movimientos. Las dimensiones clave del fuselaje se presentan en la Figura 4, y estas dimensiones específicas corresponden a la variante de la aeronave que está equipada con un tren de aterrizaje de tipo fijo (Airbus Helicopters, 2021b).

Figura 4

Dimensiones generales del helicóptero



Nota. Dimensiones generales del helicóptero Gazelle SA 341L. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021b).

El helicóptero presenta notables atributos, entre ellos se destaca la superficie lisa de los suelos en la cabina, diseñada para facilitar el deslizamiento de cargas en situaciones requeridas. Al cargar la aeronave, es imperativo que la distribución de carga se realice de manera precisa, de forma tal que se mantenga el equilibrio tanto en sentido longitudinal como

lateral. Estos parámetros deben cumplir con los límites establecidos por el fabricante para asegurar la seguridad y la eficiencia del vuelo.

En la Tabla 1, se encuentran consignadas diversas características generales del helicóptero de ala rotatoria. Esta aeronave presenta una serie de ventajas distintivas en comparación con otras de su misma categoría, lo que la convierte en una opción destacada en términos de prestaciones y capacidades (Airbus Helicopters, 2021b).

Tabla 1

Características generales del helicóptero

Características generales	
Tripulación	2
Capacidad	3 pasajeros
Longitud	11.97 m
Altura	3.15 m
Peso vacío	908 kg
Peso máximo al despegue	1800 kg
Diámetro del rotor principal	10.50 m
Velocidad máxima	310 km/h (193 mph, 167 kt)
Velocidad de crucero	264 km/h (164 mph, 143 kt)
Velocidad de ascenso	9 m/s

Nota. Tomado (jmodels.net, 2022).

Fuselaje del helicóptero

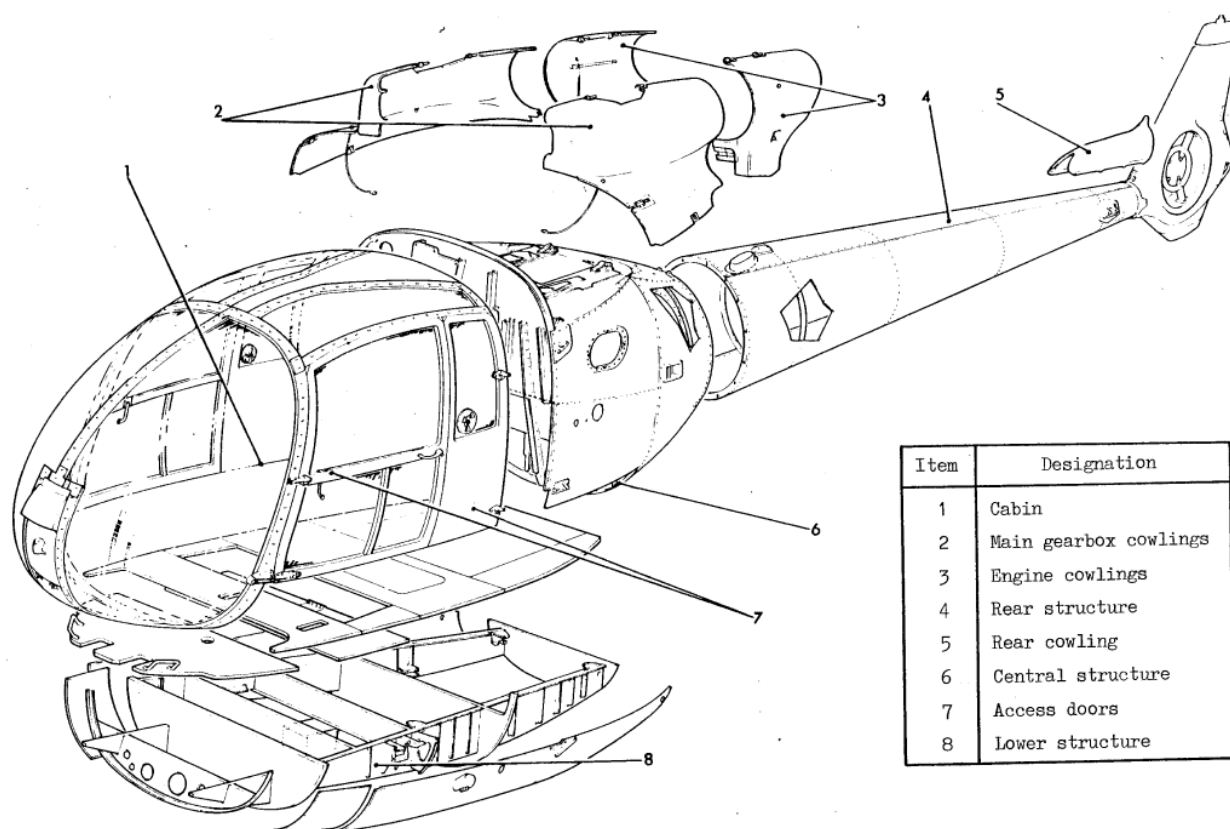
El diseño del fuselaje del helicóptero Gazelle AS 341L se compone de una variedad de elementos fundamentales, como se muestra en la Figura 5. Estos componentes incluyen la estructura principal, las puertas de acceso en los lados izquierdo y derecho (7) y los carenados. La estructura primaria está conformada por la cabina (1), la estructura inferior (8), la estructura central (6) y la estructura posterior (4). Por su parte, los carenados están compuestos por

carenados de la caja de engranajes (2), carenados del motor (3) y un carenado posterior (5).

Cada uno de estos elementos contribuye de manera esencial a la integridad y funcionalidad del helicóptero Gazelle AS 341L (Airbus Helicopters, 2021b).

Figura 5

Fuselaje del helicóptero Gazelle AS 341L



Nota. Componentes del fuselaje del helicóptero Gazelle SA 341L. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021b).

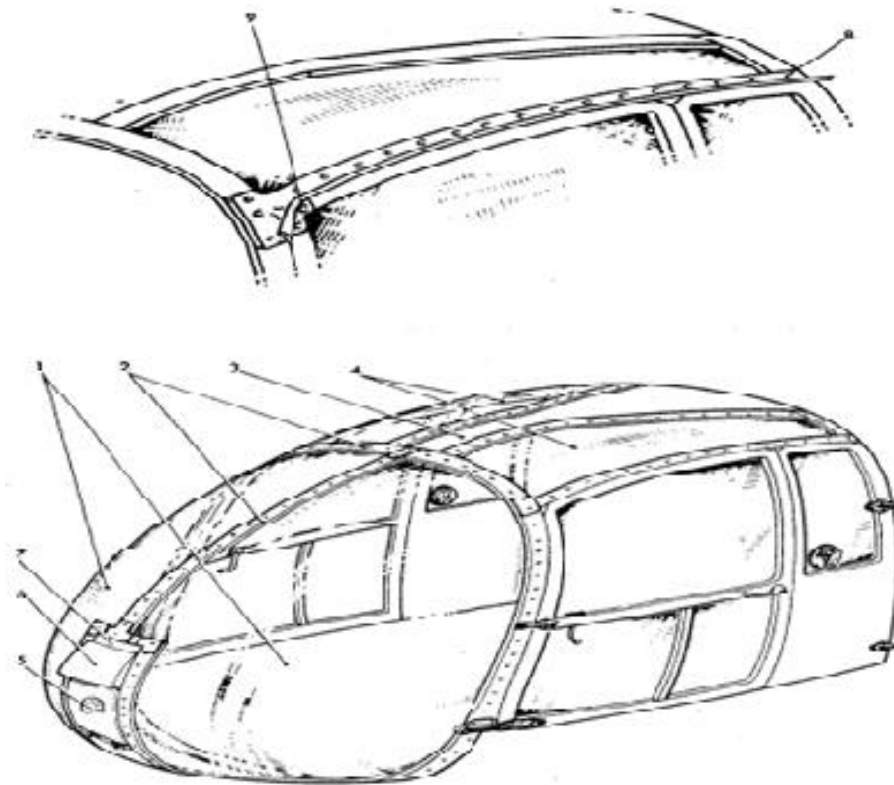
Estructura

Como se mencionó la estructura consta de una cabina (ver Figura 6), la misma que tiene forma redondeada que permite una visualización total para el personal de vuelo. Está compuesta por un marco, paneles transparentes y puertas de acceso (Airbus Helicopters, 2021e).

Marco. Está formado por una estructura de tubos de aleación ligera (2) de sección trapezoidal soldados entre sí, y un panel superior (3) realizado en material "sándwich metálico". La parte delantera del marco tiene un panel (7) ubicado en la línea central de la aeronave y equipado con una entrada de aire (6) para la ventilación de la cabina, una puerta (5) apoyada sobre dos bisagras en la parte inferior que permite el acceso a la batería y al compartimento eléctrico. El marco se une a la estructura inferior a 18° y a la estructura central en el mamparo en la estación 2571.5, la unión se realiza mediante tuercas y tornillos. La estanqueidad entre el marco y las puertas se garantiza mediante un perfil de goma adherido a los montantes del marco.

Figura 6

Cabina y paneles transparentes del helicóptero



Nota. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021b).

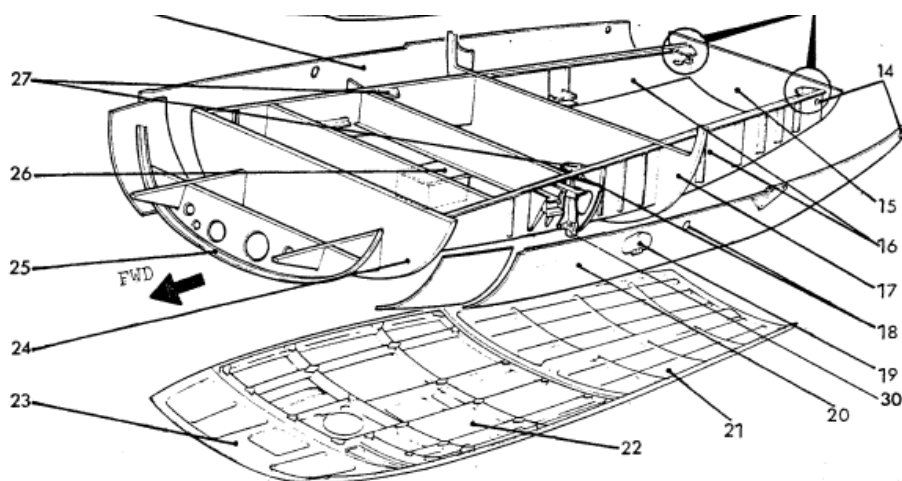
Paneles transparentes. Los paneles incluyen dos paneles frontales (1) y dos paneles de techo (4); estos son paneles de plexiglás sujetos entre dos sellos de goma, asegurados al marco por tiras de cubierta aseguradas con tornillos. Para mejorar la estanqueidad de la cabina frente al agua se coloca un tramo de canales en cada larguero.

Paneles inferiores desmontables. La parte inferior de la estructura está formada por tres paneles de remoción rápida (ver Figura 7). Los dos paneles delanteros de chapa rigidizada dan acceso a los mandos de vuelo y a los miembros del tren de aterrizaje. El panel posterior (21) está fabricado de laminados de fibra de vidrio (Airbus Helicopters, 2021e).

Pisos. Cada uno de los niveles del helicóptero Gazelle AS 341L está construido utilizando un enfoque de construcción metálica denominado "sándwich". El conjunto de pisos se compone de tres partes distintas: el piso destinado al piloto, el piso designado para los pasajeros y, por último, los pisos específicos para la carga transportada. Estos diferentes niveles y sus respectivos pisos están claramente señalados en la Figura 7, lo que ilustra la disposición y la función de cada uno de estos elementos en la estructura del helicóptero.

Figura 7

Estructura inferior del helicóptero



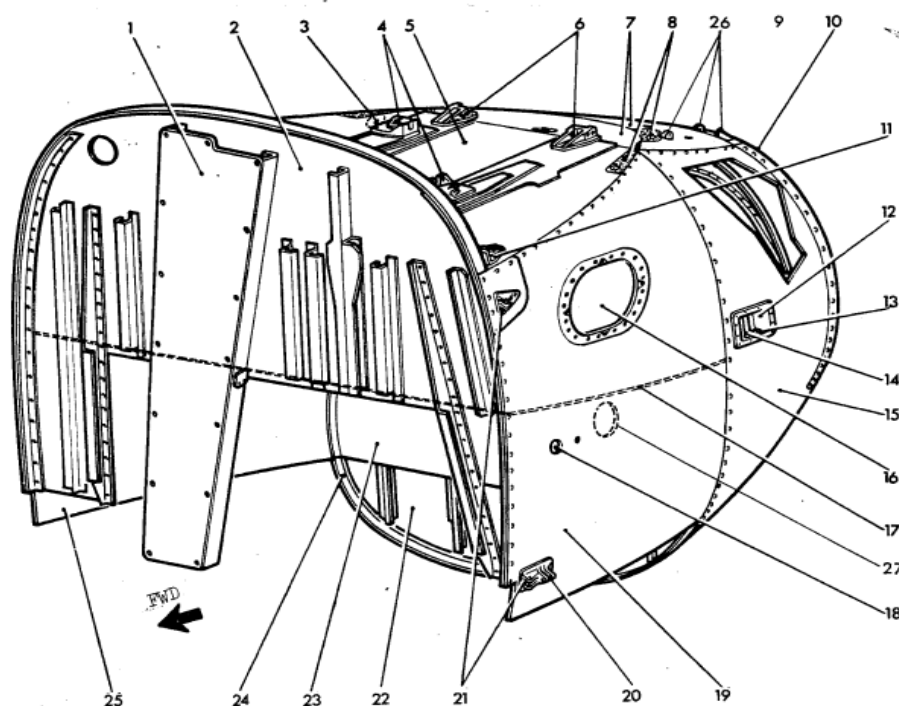
Nota. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021b).

Además, se tiene una estructura central que consiste de una estructura tipo caja delantera y una estructura tipo caja posterior como se observa en la Figura 8.

Estructura tipo caja delantera. Consiste de un mamparo delantero (2), un mamparo posterior (23), una plataforma de apoyo a la transmisión (5), un piso central (17) y dos paneles laterales (19, 25). Básicamente esta estructura doble cajón es del tipo nido de abeja “honeycomb”, donde la parte superior recibe al reservorio de combustible y la parte inferior delimita a la bodega del equipaje.

Figura 8

Estructura central del helicóptero



Nota. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021b).

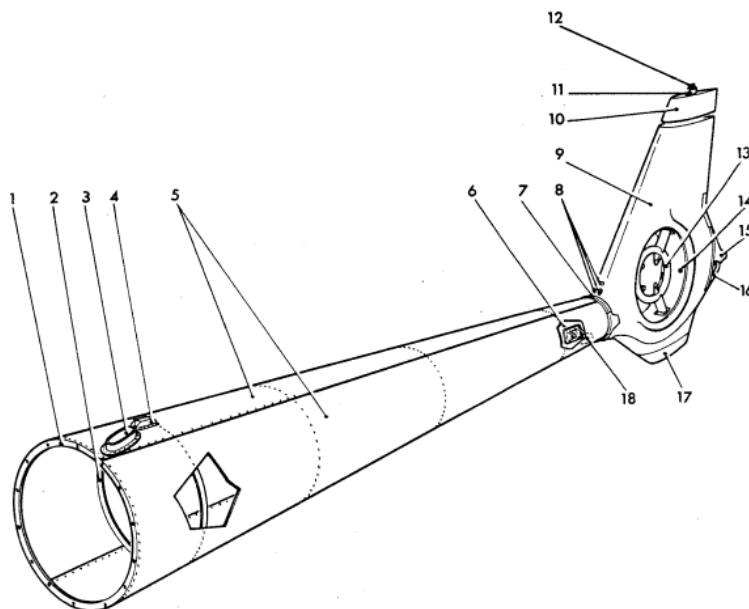
Botalón de cola. Tiene una forma de troncocónica, consiste en una piel metálica tipo monocasco (5) en dos semi carcasas remachadas sobre marcos circulares (2). La sección delantera consta de un ángulo de borde (1) que facilita el atornillado del botalón de cola al

marco inclinado en la estructura central. El estabilizador vertical está remachado a la parte posterior (7). El botalón de cola alberga la transmisión posterior y los cables de control. El estabilizador horizontal (ver Figura 9) está montado a ambos lados mediante soportes (6).

Estabilizador vertical. El estabilizador (9) es de construcción metálica y consiste en una piel de chapa remachada. Una cubierta para el sistema antipar (14) sujeta el soporte del sistema antipar tipo “fenestron” (13).

Figura 9

Estructura posterior del helicóptero



Nota. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021b).

Puertas de acceso

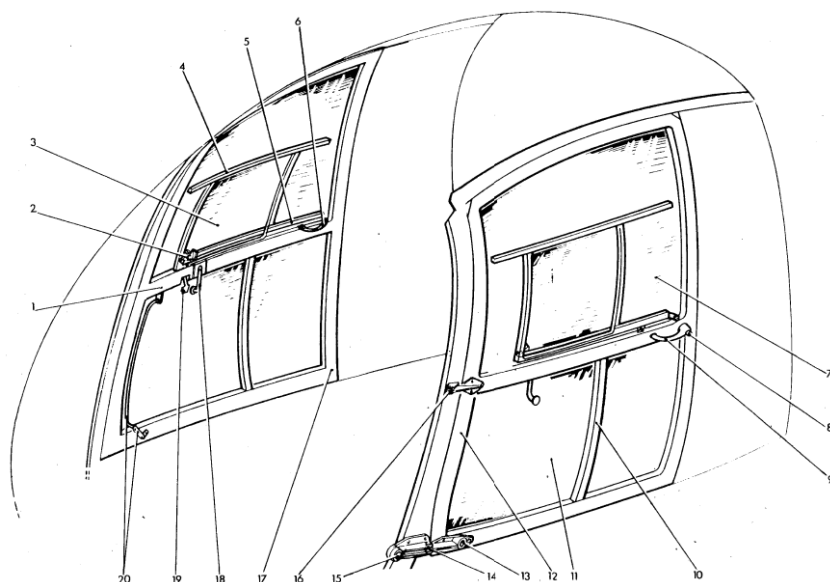
Puertas delanteras. Existen dos puertas de cabina una izquierda LH y otra derecha RH ubicadas de manera simétrica (ver Figura 10), dan acceso a los puestos de pilotos; y a través del plexiglás permiten una visibilidad total. Las puertas se abren atrás hacia delante por articulación sobre dos bisagras fijadas en la estructura de la cabina. La estructura de las puertas delanteras es un conjunto metálico soldado formado por un marco (17), un soporte (1) de

chapa plegada en el que se aloja parte del mecanismo de la puerta y un montante inferior (10) como se identifica en la Figura 10. Cada puerta gira sobre dos bisagras (14) y (16), cuyos pasadores forman parte del mecanismo de expulsión. Los paneles transparentes superior (7) e inferior (11), fijados en el borde por dos juntas de goma, se sujetan al marco mediante una piel (12) fijada con tornillos y al soporte en posición vertical (Airbus Helicopters, 2021b).

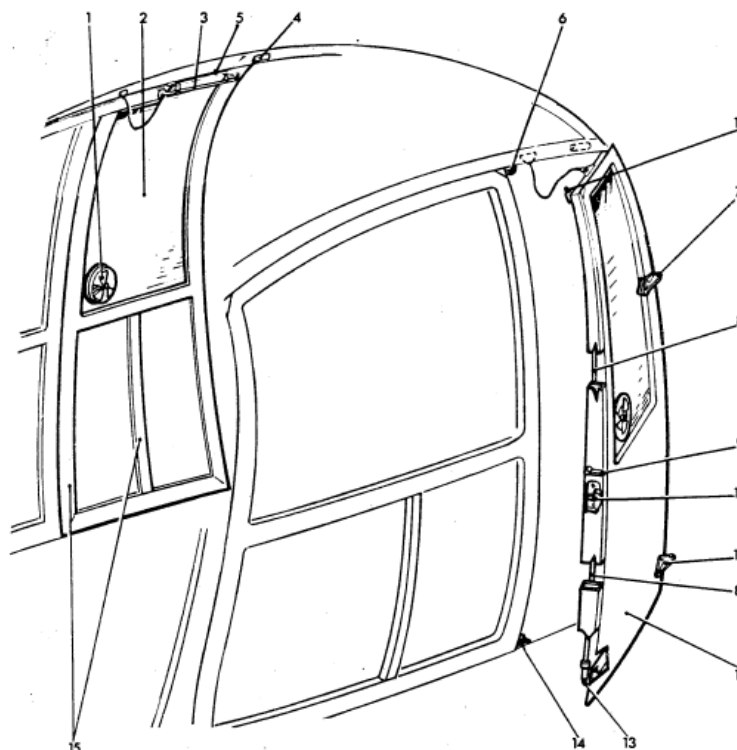
Puertas posteriores. Las dos puertas posteriores son simétricas (ver Figura 11), se abren hacia atrás. Las puertas traseras facilitan el acceso a la parte posterior de la cabina, sin embargo, para abrirlas, primero se deben abrir las puertas delanteras. Por el contrario, las puertas delanteras solo se pueden cerrar cuando las puertas posteriores están cerradas. La estructura consiste en un marco de metal soldado (15) cubierto por una piel (12) asegurada por tornillos. Cada puerta gira sobre 2 bisagras (7) y (11). Un panel transparente (2), fijado a la puerta de la misma forma que en la puerta de entrada, incorpora un ventilador (1). (Airbus Helicopters, 2021b).

Figura 10

Puertas delanteras del helicóptero



Nota. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021b).

Figura 11*Puertas posteriores del helicóptero*

Nota. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021b).

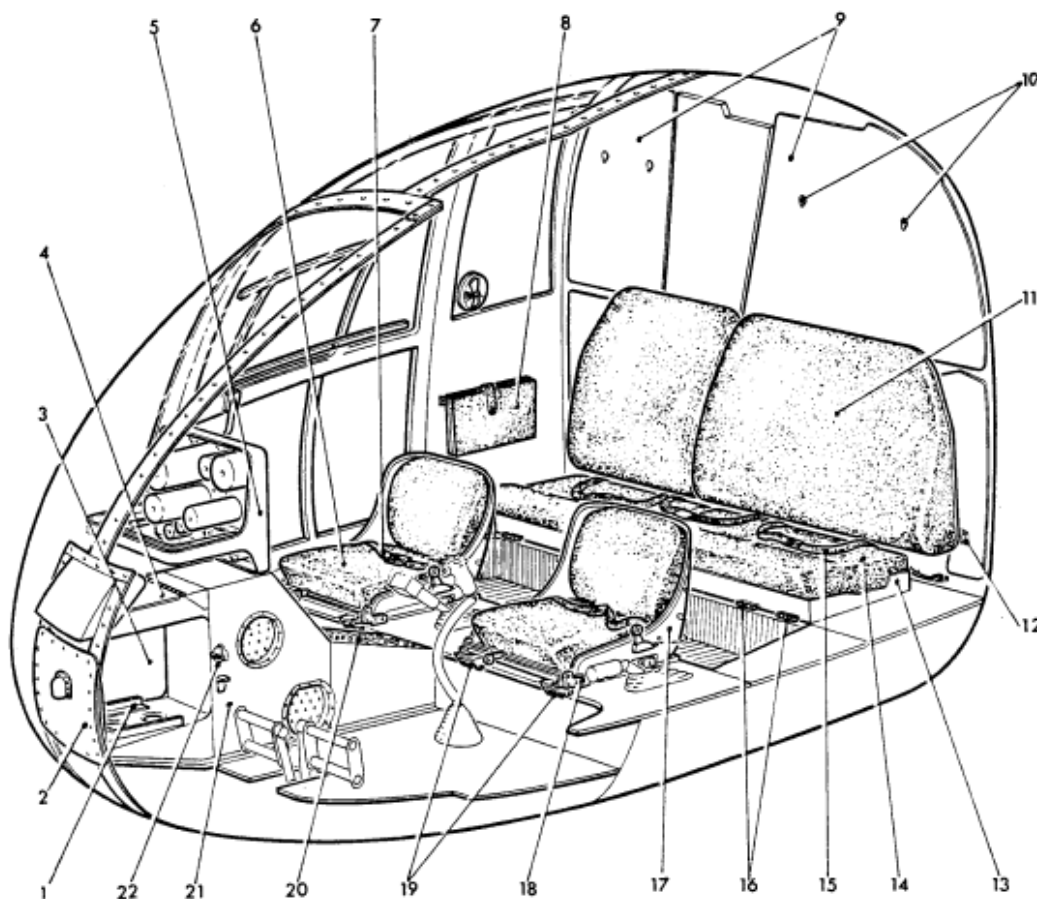
Cabina

La sección frontal y superior de la cabina del helicóptero Gazelle AS 341L está formada por paneles extensos de plexiglás, que garantizan una visión excepcional. Para asegurar un alto nivel de visibilidad, esta cabina presenta paneles transparentes tanto en su sección frontal como en su parte superior. El acceso lateral a la cabina se facilita mediante dos puertas totalmente transparentes, y también cuenta con dos puertezuelas transparentes a media altura. Estos elementos permiten un acceso conveniente tanto a la sección trasera de la cabina como al compartimiento de carga (ver Figura 12).

Además de su diseño transparente, la cabina incorpora diversas instalaciones que consisten en componentes fijos y desmontables, cada uno destinado a cumplir funciones específicas. Estas instalaciones se pueden dividir en dos categorías: en primer lugar, se encuentra el equipo básico compartido por todas las aeronaves; y en segundo lugar, se presenta el equipamiento opcional, que se caracteriza por contar con mobiliario especial diseñado para funciones particulares. De esta manera, la cabina del Gazelle AS 341L se adapta de manera versátil a diversas necesidades y aplicaciones (Airbus Helicopters, 2021b).

Figura 12

Cabina del helicóptero



Nota. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021b).

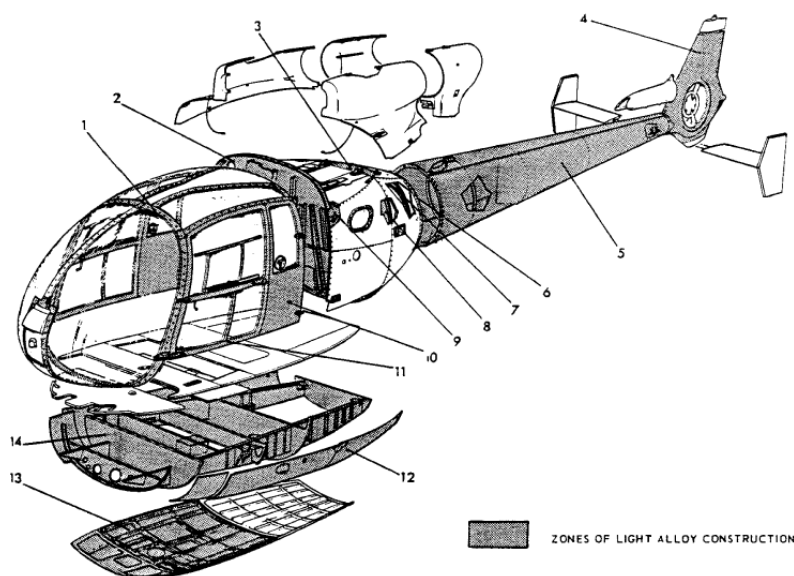
Materiales utilizados en la construcción del helicóptero

Los componentes del fuselaje del helicóptero Gazelle AS 341L están contruidos con una variedad de materiales seleccionados para su rendimiento óptimo y durabilidad.

Se emplean aleaciones de aluminio 2024 T3 en varias zonas clave del helicóptero. Estas áreas incluyen la estructura de la cabina, las estructuras de las puertas delanteras y posteriores, el marco de la estructura inferior, los paneles laterales de la piel, el mamparo delantero de la estructura central, el mamparo posterior, los marcos de soporte del motor, la plataforma posterior, el refuerzo de los paneles de la estructura, el boom de cola y el estabilizador vertical (Airbus Helicopters, 2021c).

Figura 13

Zonas de construcción de aleaciones de aluminio 2024 T3

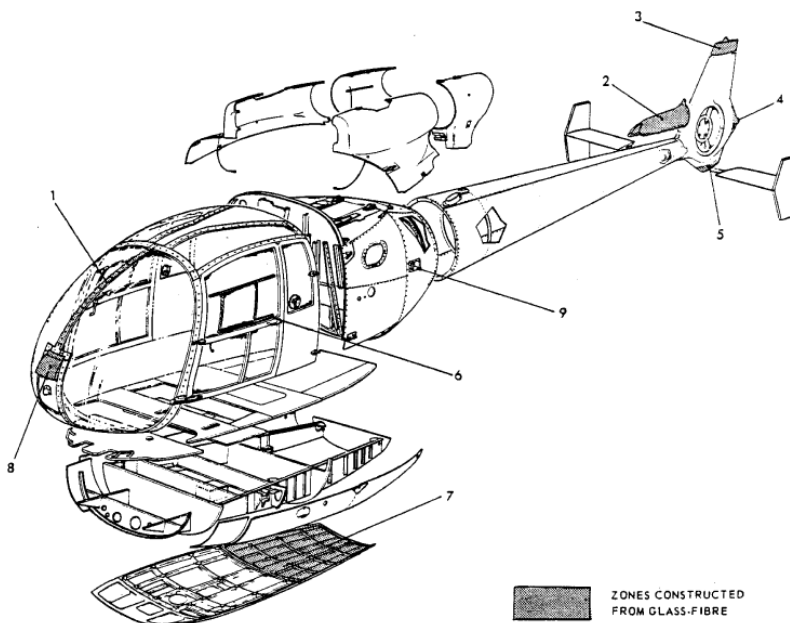


Nota. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021c).

Para ciertas zonas, se recurre a la fibra de vidrio en la construcción. Esto se observa en el soporte frontal de la cabina, la caja sobre la cabina, el panel de revestimiento posterior inferior, el carenado superior, el patín, el carenado posterior de la estructura, los rieles de la ventana delantera y el carenado posterior (Airbus Helicopters, 2021c).

Figura 14

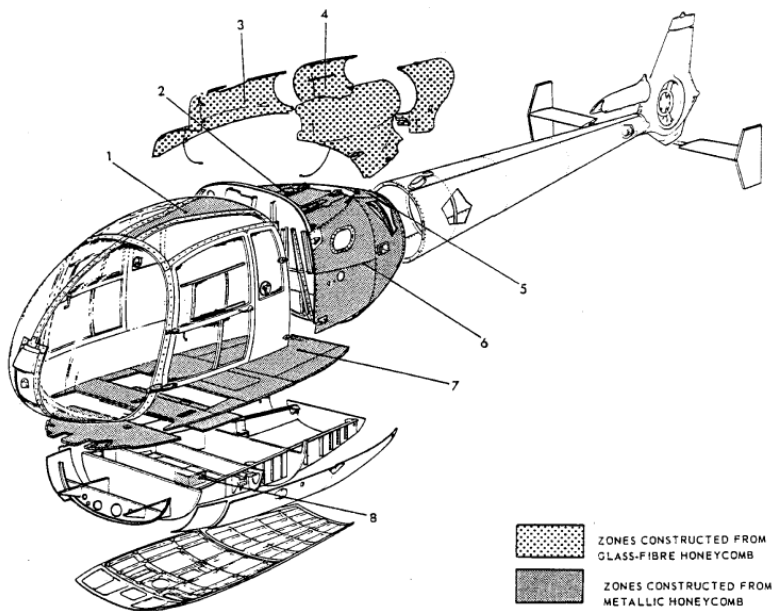
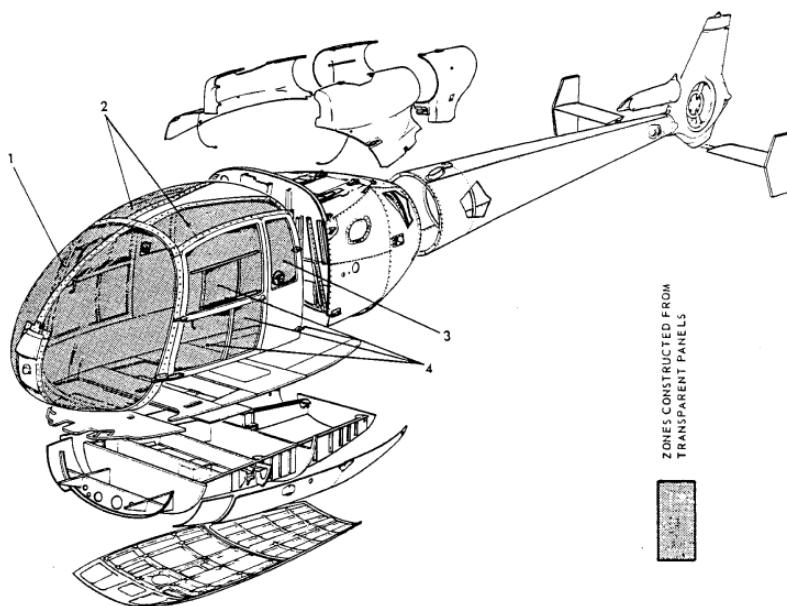
Zonas de construcción de fibra de vidrio



Nota. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021c).

Los paneles tipo honeycomb son utilizados en zonas específicas del fuselaje, combinando fibra de vidrio y materiales metálicos. Los paneles de fibra de vidrio se aplican en los carenados de la caja principal de engranajes y los carenados posteriores. Mientras tanto, los paneles metálicos tipo honeycomb se emplean en el piso, el panel de techo de la cabina, la piel de la estructura central y la plataforma de soporte de la transmisión.

En cuanto a las áreas que requieren transparencia, se emplea material transparente. Esto es evidente en la cubierta, las ventanas de las puertas delanteras, las ventanas de las puertas posteriores y las ventanas superiores (Airbus Helicopters, 2021c). El uso de estos diversos materiales se optimiza para garantizar la resistencia, la funcionalidad y la seguridad en diferentes partes del helicóptero Gazelle AS 341L.

Figura 15*Zonas de construcción de paneles tipo honeycomb**Nota. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021c).***Figura 16***Zonas de construcción de material transparente**Nota. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021c).*

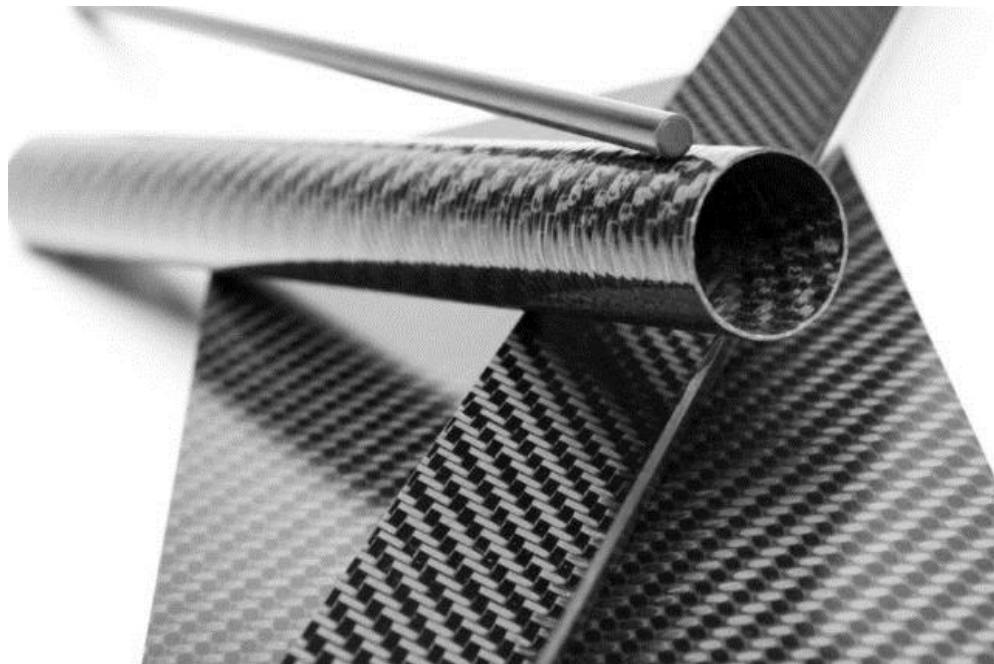
Materiales compuestos

Definición y clasificación de materiales compuestos

Los materiales compuestos son sistemas estructurales formados por la combinación de dos o más componentes distintos, con el propósito de obtener propiedades superiores a las que poseen individualmente (ver Figura 17). En un material compuesto, uno de los componentes actúa como matriz, que proporciona la forma y el soporte estructural, mientras que el otro componente, denominado refuerzo, mejora las propiedades mecánicas y funcionales del conjunto. La combinación de estos componentes permite la creación de materiales con características únicas y adaptadas a aplicaciones específicas. La clasificación de los materiales compuestos se basa en el tipo de matriz y refuerzo utilizados, y puede dividirse en varias categorías principales (Hull et al., 2019).

Figura 17

Materiales compuestos



Nota. Tomado de (Cultura Científica, 2020).

Materiales compuestos poliméricos (PMC). Los materiales compuestos poliméricos utilizan polímeros como matriz y pueden incluir diversos tipos de refuerzos, como fibras de vidrio, fibras de carbono o fibras aramídicas. Estos compuestos son conocidos por su baja densidad, resistencia a la corrosión y facilidad de procesamiento. Son ampliamente utilizados en aplicaciones que requieren peso ligero y aislamiento eléctrico, como en la industria aeroespacial, automotriz y deportiva (Hull et al., 2019).

Materiales compuestos de matriz metálica (MMC). Los materiales compuestos de matriz metálica combinan metales o aleaciones con refuerzos cerámicos, metálicos o intermetálicos. Estos compuestos tienden a tener una alta resistencia a temperaturas elevadas y una buena conductividad térmica. Son utilizados en aplicaciones que requieren alta resistencia y durabilidad a altas temperaturas, como en componentes de motores aeronáuticos y sistemas de frenado de alto rendimiento (Tsai & Miravete de Marco, 1988).

Materiales compuestos de matriz cerámica (CMC). Los materiales compuestos de matriz cerámica emplean cerámicas como matriz y pueden contener refuerzos cerámicos, metálicos o poliméricos. Estos compuestos exhiben alta resistencia a la temperatura, rigidez y resistencia química. Son utilizados en aplicaciones que requieren estabilidad en ambientes agresivos, como en componentes de turbinas de gas y sistemas de frenado de alta energía (Tsai & Miravete de Marco, 1988).

Materiales compuestos híbridos. Los materiales compuestos híbridos combinan dos o más tipos de matrices y refuerzos en una sola estructura. Esto permite aprovechar las ventajas de diferentes materiales y adaptar las propiedades a requerimientos específicos. Por ejemplo, se pueden combinar fibras de carbono y fibras de vidrio en una matriz polimérica para lograr un equilibrio entre resistencia y costos (Tsai & Miravete de Marco, 1988).

Otros tipos de materiales compuestos. Existen también otros tipos de materiales compuestos, como los materiales compuestos naturales (por ejemplo, la madera), los materiales compuestos bioinspirados (que imitan estructuras encontradas en la naturaleza) y los materiales compuestos estructurados (que tienen una arquitectura diseñada para proporcionar propiedades específicas).

Propiedades y ventajas de los materiales compuestos

Los materiales compuestos son ampliamente reconocidos por sus propiedades únicas y ventajas notables en comparación con los materiales tradicionales. Estas características hacen que los materiales compuestos sean una elección atractiva en una variedad de aplicaciones, desde la industria aeroespacial hasta la automotriz y la construcción. A continuación, se detallan algunas de las propiedades y ventajas más destacadas de los materiales compuestos.

Alta resistencia y rigidez específica. Los materiales compuestos permiten la combinación de refuerzos de alta resistencia, como fibras de carbono o aramídicas, con matrices ligeras y resistentes. Esto da como resultado una alta relación entre resistencia y peso, lo que los convierte en excelentes opciones para aplicaciones que requieren estructuras ligeras y rígidas, como en aviones y vehículos de carreras (Valea et al., 2005).

Resistencia a la corrosión y la fatiga. Muchos materiales compuestos poliméricos y cerámicos poseen una excelente resistencia a la corrosión y a la fatiga, lo que los hace ideales para entornos agresivos o situaciones en las que la durabilidad es crucial. Esto es beneficioso en aplicaciones marinas y en la industria química (Valea et al., 2005).

Personalización de propiedades. Los materiales compuestos ofrecen la posibilidad de ajustar y personalizar las propiedades según las necesidades específicas de una aplicación. Esto se logra variando el tipo, la orientación y el contenido de los refuerzos, así como la elección de la matriz. Por lo tanto, se pueden diseñar materiales compuestos con propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas a medida (Valea et al., 2005).

Diseño flexible. Los materiales compuestos permiten la creación de formas y geometrías complejas que serían difíciles o imposibles de lograr con materiales tradicionales. Esto facilita la creación de componentes optimizados desde el punto de vista estructural, lo que a menudo conduce a una reducción del peso y un aumento de la eficiencia (Tsai & Miravete de Marco, 1988).

Baja Densidad. Los materiales compuestos, en general, tienen una densidad más baja que los metales tradicionales, lo que contribuye a una reducción significativa del peso de las estructuras. Esta característica es especialmente valiosa en aplicaciones donde la relación peso-resistencia es crítica, como en la industria aeroespacial y deportiva (Valea et al., 2005).

Conductividad térmica y eléctrica controlada. Dependiendo de la elección de la matriz y los refuerzos, los materiales compuestos pueden ser diseñados con propiedades de conductividad térmica y eléctrica específicas. Esto es útil en aplicaciones como sistemas de enfriamiento y componentes electrónicos.

Absorción de vibraciones y amortiguación. Algunos tipos de materiales compuestos tienen la capacidad de absorber vibraciones y proporcionar amortiguación, lo que los hace adecuados para aplicaciones donde se requiere reducir la vibración y mejorar la comodidad, como en piezas estructurales de edificios y equipos deportivos.

Sostenibilidad. En muchos casos, los materiales compuestos pueden ser más sostenibles en términos de energía y recursos en comparación con los materiales convencionales, ya que su proceso de fabricación puede generar menos emisiones y desperdicios.

Matrices y refuerzos comunes en materiales compuestos

La elección adecuada de la matriz y los refuerzos es esencial en el diseño y fabricación de materiales compuestos, ya que determina en gran medida las propiedades y el rendimiento del material resultante. Las matrices proporcionan la cohesión y la transferencia de cargas

entre los refuerzos, mientras que los refuerzos agregan resistencia y rigidez. Aquí se describen algunas de las matrices y refuerzos comunes utilizados en materiales compuestos.

Matrices. Una matriz se refiere al componente continuo que rodea y proporciona soporte a los refuerzos dentro de la estructura compuesta. La matriz es el material que llena los espacios entre los refuerzos y es responsable de mantenerlos en su lugar, transmitir cargas y proporcionar cohesión a la estructura en su conjunto. La matriz actúa como un medio para unir y mantener en posición los refuerzos, permitiendo que trabajen juntos de manera eficiente para resistir cargas y proporcionar las propiedades mecánicas deseadas. La elección de la matriz tiene un impacto significativo en las propiedades finales del material compuesto, como la resistencia, la rigidez, la resistencia a la corrosión y la durabilidad (Hull et al., 2019).

Matrices poliméricas. Los polímeros son ampliamente utilizados como matrices en materiales compuestos debido a su facilidad de procesamiento, resistencia a la corrosión y capacidad para adaptar propiedades a través de la modificación química. Polímeros como el poliéster, la resina epoxi y el polietileno son comunes en aplicaciones donde el peso ligero y la resistencia a la corrosión son importantes (ver Figura 18).

Figura 18

Matriz - resina poliéster



Nota. Tomado de (FibraTec, 2020).

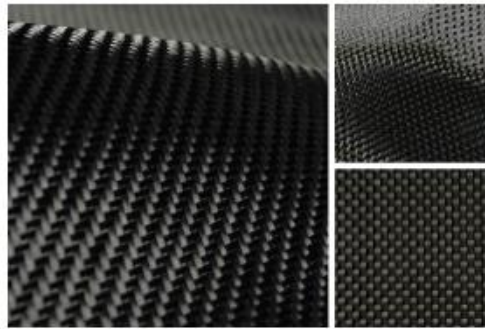
Matrices metálicas. Las matrices metálicas, como aleaciones de aluminio o titanio, se utilizan en materiales compuestos de matriz metálica (MMC). Estas matrices proporcionan alta conductividad térmica y resistencia a temperaturas elevadas. Los MMC son comunes en aplicaciones aeroespaciales y de alta temperatura.

Matrices cerámicas. Las cerámicas son conocidas por su resistencia a altas temperaturas y propiedades dieléctricas. Las matrices cerámicas se usan en materiales compuestos de matriz cerámica (CMC) y pueden incluir óxidos, carburos y nitruros. Los CMC encuentran aplicación en sistemas de escape de cohetes y componentes de turbinas.

Refuerzos. Un refuerzo se refiere a un componente discontinuo o disperso dentro de la estructura, diseñado para proporcionar propiedades mecánicas específicas al material compuesto. Los refuerzos son materiales con alta resistencia y rigidez que se incorporan en la matriz para mejorar las características del material en términos de resistencia, rigidez, durabilidad u otras propiedades deseadas. En esencia, los refuerzos son los elementos responsables de aportar fuerza y resistencia a la estructura compuesta al resistir cargas mecánicas y transmitirlas a través de la matriz. Pueden ser en forma de fibras, partículas o láminas y se distribuyen de manera estratégica en la matriz para maximizar la eficiencia en la transferencia de cargas y lograr las propiedades específicas requeridas (Hull et al., 2019).

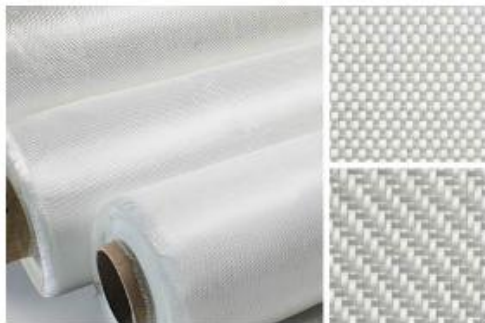
La elección del tipo de refuerzo depende de los requisitos de rendimiento del material compuesto, como la resistencia, la rigidez, la tenacidad y la resistencia a la fatiga, así como de las características de la aplicación final. Las propiedades de los refuerzos influyen en gran medida en las propiedades globales del material compuesto, y la combinación correcta de refuerzos y matriz permite diseñar materiales con propiedades personalizadas.

Fibras de Carbono. Las fibras de carbono ofrecen una excelente relación resistencia- peso y alta rigidez. Son utilizadas en aplicaciones donde se requiere un rendimiento excepcional, como en la industria aeroespacial, automotriz y deportiva (ver Figura 19).

Figura 19*Fibra de carbono*

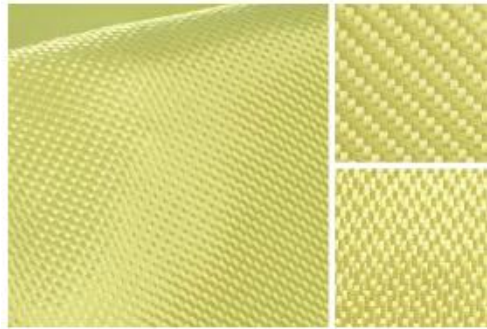
Nota. Tomado de (Easy Composites Ltd., 2022).

Fibras de vidrio. Las fibras de vidrio son versátiles y asequibles. Ofrecen resistencia a la corrosión y son comunes en aplicaciones como embarcaciones marinas, tanques de almacenamiento y componentes de la construcción (ver Figura 20).

Figura 20*Fibra de vidrio*

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

Fibras aramídicas. Las fibras aramídicas, como el Kevlar, son conocidas por su alta resistencia a impactos y propiedades de absorción de energía. Se usan en aplicaciones de blindaje, cascos y chalecos antibalas (ver Figura 21).

Figura 21*Fibra de aramida*

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

Fibras cerámicas. Las fibras cerámicas, como la fibra de carburo de silicio, se utilizan en aplicaciones de alta temperatura, como componentes de turbinas y sistemas de frenado.

Fibras naturales. Las fibras naturales, como el algodón y el bambú, también se han utilizado como refuerzos en aplicaciones de bajo costo y baja carga, como en la fabricación de paneles decorativos.

Figura 22*Fibras naturales*

Nota. Tomado de (AIMPLAS, 2020).

Reparaciones en materiales compuestos

La reparación de materiales compuestos es un proceso fundamental en la industria, ya que permite extender la vida útil de componentes y estructuras compuestas, minimizando el costo y el impacto ambiental asociados con la sustitución completa. La naturaleza heterogénea y anisotrópica de los materiales compuestos, junto con su susceptibilidad a daños y desgaste, hacen que las técnicas de reparación sean esenciales para mantener su integridad y funcionalidad.

Figura 23

Reparaciones en materiales compuestos



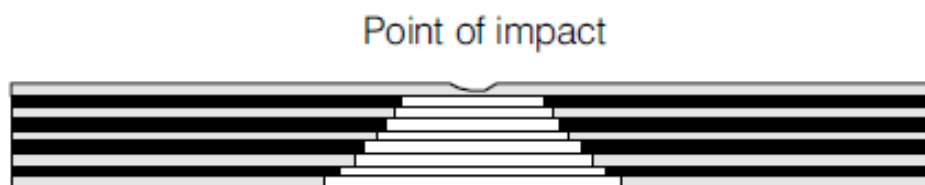
Nota. Tomado de (CETA, 2022).

El conocimiento y la inspección de daños compuestos deben incluirse en los programas de mantenimiento regulares para estructuras compuestas. Se prestaría especial atención a las áreas que son más propensas a sufrir daños. Las reparaciones de las estructuras de las aeronaves están controladas y deben realizarse de acuerdo con el manual de reparaciones estructurales (Airbus Helicopters, 2021c). Para otras aplicaciones, normalmente se espera que los componentes reparados cumplan con la especificación original y los requisitos de rendimiento mecánico (Airbus Helicopters, 2021d). Se puede realizar una reparación de compuestos en estructuras tipo sándwich y laminadas.

Identificación y evaluación de daños. El primer paso en el proceso de reparación es la detección y evaluación precisa de los daños. Esto puede implicar inspecciones visuales, pruebas no destructivas (ultrasonido, termografía, radiografía, etc.) y análisis de microestructuras para determinar la extensión y la naturaleza de los daños, como grietas, delaminaciones o daños por impacto (ver Figura 24).

Figura 24

Delaminación después de un impacto



Nota. Tomado de (Hexcel Composites, 1999).

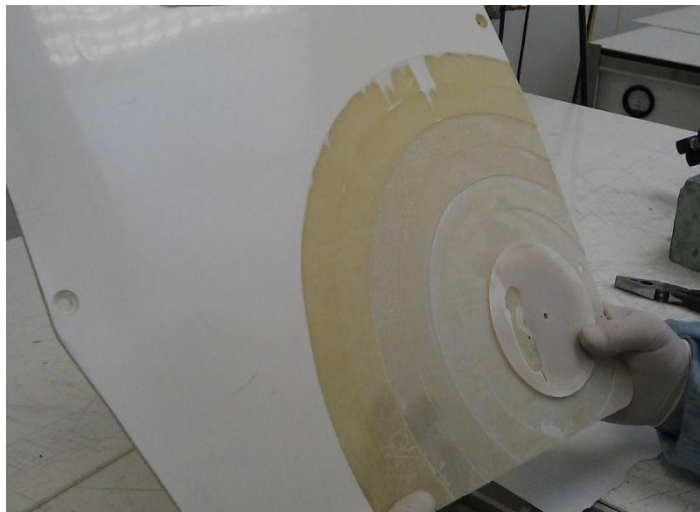
Preparación de la superficie. La superficie dañada debe ser preparada adecuadamente antes de la reparación. Esto puede incluir la eliminación del material dañado, la limpieza de la zona afectada y la creación de un área de reparación con bordes suavizados para promover una adhesión adecuada entre la reparación y la estructura original.

Selección de materiales de reparación. La elección de los materiales de reparación, incluida la matriz y los refuerzos, es crucial para asegurar una reparación efectiva. Los materiales utilizados deben ser compatibles con los materiales originales y tener propiedades mecánicas y térmicas adecuadas para garantizar la integridad de la estructura reparada.

Métodos de reparación. Existen varios métodos de reparación en materiales compuestos, que van desde técnicas manuales hasta procesos más avanzados. Algunos métodos comunes incluyen la aplicación de parches adheridos con adhesivos estructurales, la inyección de resinas para reparar delaminaciones, la curación con calor y presión en autoclaves y la utilización de sistemas de curado rápido.

Figura 25

Métodos de reparación

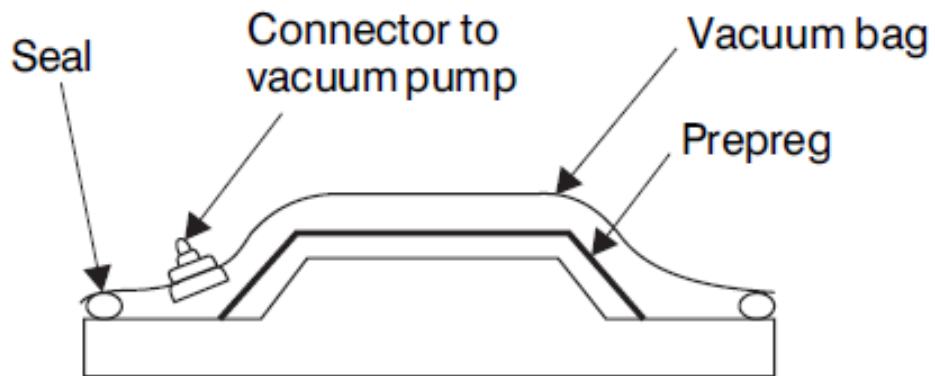


Nota. Tomado de (Dark Matter, 2023).

Proceso de curado y consolidación. Una vez aplicados los materiales de reparación, es esencial seguir un proceso de curado adecuado. Esto puede implicar la aplicación de calor y presión controlados para asegurar una consolidación completa de los materiales y una adhesión sólida a la estructura original (ver Figura 26).

Figura 26

Proceso de curado y consolidación



Nota. Tomado de (Hexcel Composites, 1999).

Inspección y pruebas posteriores a la reparación. Después de la reparación, es importante realizar inspecciones y pruebas exhaustivas para garantizar la calidad y la integridad de la reparación. Esto puede incluir pruebas de adherencia, análisis de microestructuras, pruebas de carga y evaluaciones no destructivas para asegurar que la estructura reparada cumpla con los estándares de seguridad y rendimiento (ver Figura 27).

Figura 27

Inspección y pruebas posteriores a la reparación



Nota. Tomado de (EVIDENT, 2023).

Mantenimiento aeronáutico

En el ámbito del mantenimiento aeronáutico, se lleva a cabo una actividad técnica esencial que se centra en la preservación y funcionalidad de las aeronaves y sus sistemas. El objetivo primordial radica en garantizar la operabilidad y la aeronavegabilidad de estas máquinas, procurando prolongar su vida útil al máximo y asegurando un nivel óptimo de seguridad en todas las operaciones aéreas. Este campo engloba una serie de tareas

fundamentales, entre las que se encuentran la reparación, inspección, reemplazo de componentes, implementación de modificaciones y la corrección de defectos. Estas acciones se realizan de manera meticulosa y precisa para mantener los estándares de calidad y rendimiento necesarios para la industria aeronáutica (Oñate, 2018).

El mantenimiento aeronáutico desempeña un papel crucial en la sostenibilidad y eficiencia de la flota de aeronaves, contribuyendo directamente a la confiabilidad y la seguridad operativa. Cada intervención realizada busca no solo corregir problemas existentes, sino también prevenir futuros inconvenientes que puedan surgir a lo largo del ciclo de vida de la aeronave. Asimismo, la labor de los expertos en mantenimiento aeronáutico implica una profunda comprensión de la ingeniería aeronáutica, las regulaciones y normativas vigentes, así como un compromiso constante con la formación y actualización en las tecnologías emergentes. De esta manera, se asegura la aplicación de prácticas avanzadas y la adopción de enfoques innovadores para mantener los más altos estándares de calidad y seguridad en la industria de la aviación. (Jeppesen, 2002).

Tipos de Mantenimiento Aeronáutico

Preventivo. Este enfoque se traduce en la realización de inspecciones de manera periódica, cíclica y planificada, con el propósito de llevar a cabo ajustes o reemplazos de componentes y conjuntos que muestren signos de desgaste o indiquen posibles fallos. Esta estrategia se revela como un recurso esencial para identificar defectos antes de que se conviertan en problemas graves, evitando así la necesidad de sacar la aeronave de servicio de manera imprevista. La implementación efectiva del mantenimiento preventivo no solo prolonga la vida útil de las aeronaves, sino que también contribuye significativamente a la seguridad operativa. Al abordar posibles problemas antes de que escalen a fallos graves, se reduce el riesgo de interrupciones en las operaciones y se minimizan los costos asociados con tiempos de inactividad no programados (Esteban Oñate, 2019).

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 (ver Figura 28 y 29).

Figura 28

Componente con vida límite o vencimiento



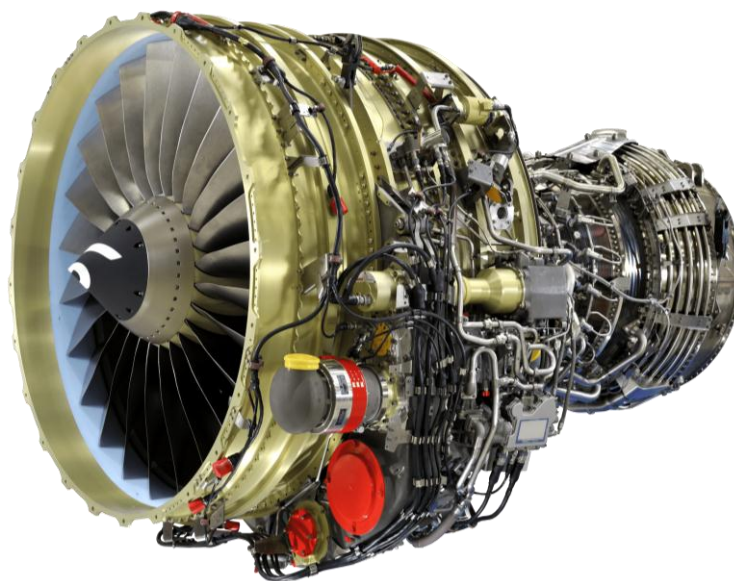
Nota. Tomado de (EANA, 2023).

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. 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.

Figura 29

Componente con overhaul o recorrida



Nota. Tomado de (SAFRAN, 2323).

Figura 30

Componente on condition



Nota. Tomado de (EANA, 2023).

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 (Villaescusa Alejo, 2006).

Figura 31

Mantenimiento predictivo



Nota. Tomado de (TMAS, 2020).

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. Tomado de (Duncan Aviation, 2023).

Documentación aeronáutica

La documentación en el ámbito de la aviación representa un conjunto de procedimientos exhaustivamente revisados y aprobados por los entes de regulación pertinentes, como la autoridad aeronáutica de cada país, que en los Estados Unidos sería la FAA. Su finalidad principal radica en garantizar tanto una operación eficiente como un mantenimiento adecuado de las aeronaves y sus componentes. La vitalidad de la documentación se sostiene a través de un proceso constante de actualización, asegurando su pertinencia en todo momento.

El fabricante o proveedor de una aeronave, equipo o componente es responsable de suministrar la documentación, que incluye detalles técnicos como la descripción y el funcionamiento del equipo, así como información estructural y de diseño, con esquemas y dibujos. Además, se presentan listas de piezas, repuestos y reemplazos esenciales. La aplicación precisa de esta documentación técnica y operativa desempeña un papel crucial al garantizar la durabilidad proyectada por el fabricante y la seguridad en el vuelo, al mismo tiempo que minimiza esfuerzos y costos superfluos.

El alcance de esta documentación abarca aspectos vitales para la operación y el mantenimiento de la aeronave, así como para el abastecimiento de recursos. Contiene pautas y límites operativos detallados, tanto en términos generales como específicos. Aunque su análisis y comprensión son tareas llevadas a cabo por ingenieros especializados, también es beneficioso que otros profesionales involucrados en la aviación, como planificadores, equipos de mantenimiento y proveedores, adquieran un conocimiento práctico de esta documentación. Esto contribuye a una planificación más eficiente, una ejecución de tareas de mantenimiento más efectiva y un abastecimiento adecuado de recursos.

Documentación operacional

La documentación operacional, una parte crucial en la industria aeronáutica, establece directrices esenciales en relación al vuelo y su seguridad. Comprende una colección de Manuales de Operación y Vuelo, junto con la Lista de Verificación que debe seguir el personal a bordo. Esta valiosa documentación se encuentra especialmente diseñada para el equipo de vuelo, abarcando a pilotos y tripulación, y juega un papel determinante en la garantía de operaciones aéreas seguras y efectivas.

La Documentación Operacional define de manera precisa los procedimientos necesarios para llevar a cabo vuelos de manera segura y eficiente. Estos procedimientos abarcan una amplia gama de aspectos, desde la preparación pre-vuelo hasta la llegada a

destino, e incluso emergencias y contingencias. Los Manuales de Operación y Vuelo proporcionan instrucciones detalladas sobre el manejo de la aeronave en diversas fases, protocolos de comunicación y coordinación, y pasos a seguir en caso de situaciones inusuales.

La Lista de Verificación, por su parte, es una herramienta esencial que ayuda al personal de vuelo a realizar una serie de comprobaciones cruciales antes, durante y después del vuelo. Estas listas detalladas garantizan que se lleven a cabo todos los pasos necesarios para asegurar la seguridad de la aeronave y de los pasajeros. Además, proporcionan un enfoque sistemático y estandarizado que minimiza la posibilidad de omisiones accidentales.

Es importante destacar que la documentación operacional está en constante evolución para incorporar los últimos avances tecnológicos, regulaciones y mejores prácticas de la industria. Esto asegura que el personal de vuelo esté equipado con la información más actualizada y relevante, lo que a su vez contribuye a la mejora continua de la seguridad y eficiencia en la aviación.

Documentación técnica

La documentación técnica desempeña un papel esencial en la industria aeronáutica al proporcionar los datos técnicos necesarios para permitir al operador mantener y reparar su aeronave con eficiencia y seguridad. Esta invaluable fuente de información también abarca instrucciones vitales relacionadas con el mantenimiento, la programación y planificación de inspecciones, así como detalles sobre herramientas y equipos de apoyo, entre otros aspectos fundamentales.

La estructura de la documentación técnica está cuidadosamente diseñada para facilitar el acceso rápido a la información necesaria para llevar a cabo procesos de mantenimiento. Para ello, se sigue la Norma ATA 100, que consiste en dividir la aeronave en cien partes o capítulos, a los cuales se les asigna un número y un título. Cada capítulo se dedica a describir un sistema específico de la aeronave, proporcionando detalles minuciosos sobre cómo realizar

tareas en cada uno de sus componentes.

Figura 33

Documentación técnica



Nota. Tomado de (Hisaviación, 2020).

A continuación, se detallan algunas de las formas más utilizadas de documentación técnica.

Manual de mantenimiento y reparación. Este manual es una guía integral que abarca desde procedimientos de rutina hasta reparaciones más complejas. Proporciona instrucciones detalladas, diagramas y esquemas que guían al personal de mantenimiento a lo largo de cada tarea.

Programa de mantenimiento. Este documento establece un plan estructurado para el mantenimiento periódico y las inspecciones requeridas. Ayuda a garantizar que las tareas se realicen en el momento adecuado, lo que contribuye a la eficiencia y seguridad operativa.

Manuales de componentes. Cada componente crítico de la aeronave, como motores, sistemas eléctricos y sistemas hidráulicos, tiene su propio manual detallado. Estos manuales brindan instrucciones específicas sobre el mantenimiento y la reparación de cada componente.

Catálogo de repuestos. Este catálogo enumera todas las piezas y componentes disponibles para la aeronave, facilitando la identificación y solicitud de repuestos necesarios.

Herramientas y equipos específicos. La documentación técnica también puede incluir detalles sobre las herramientas y equipos necesarios para llevar a cabo tareas de mantenimiento y reparación de manera adecuada.

La documentación técnica desempeña un papel fundamental en la garantía de la operación segura y eficiente de las aeronaves. Al proporcionar información precisa y detallada, esta documentación permite al personal de mantenimiento realizar su trabajo de manera efectiva, asegurando que las aeronaves cumplan con los estándares de seguridad y rendimiento requeridos.

Medidas de seguridad en mantenimiento aeronáutico

La seguridad en el ámbito del mantenimiento aeronáutico es una responsabilidad compartida por todos los técnicos involucrados, y requiere la implementación de medidas preventivas antes, durante y después de cada tarea realizada en una aeronave. Si bien existen normativas fundamentales que deben seguirse en cualquier entorno de trabajo (ver Tabla 2), es altamente aconsejable enfatizar en exceso la seguridad en todas las etapas. En este sentido, es esencial que todo individuo que participe en el mantenimiento aeronáutico utilice el equipo de protección personal (EPP) adecuado. La realización de tareas de mantenimiento en aeronaves debe llevarse a cabo empleando el equipo y las herramientas apropiadas para cada labor específica. No tener en cuenta este aspecto puede poner en riesgo no solo la seguridad del personal involucrado, sino también la de otros técnicos presentes y la aeronave misma.

La prevención de riesgos es fundamental en el mantenimiento aeronáutico y debe ser

una prioridad constante para todos los involucrados. Los procedimientos de seguridad deben ser rigurosamente aplicados en todas las etapas del mantenimiento, desde la preparación hasta la conclusión de cada tarea. Además de utilizar el equipo de protección personal adecuado, se deben seguir las pautas específicas de seguridad y utilizar el equipo y las herramientas recomendadas para cada trabajo en particular (Villaescusa Alejo, 2006).

Figura 34

Equipo de protección personal



Nota. Tomado de (State Fund, 2019).

Tabla 2

Medidas de seguridad en el mantenimiento de aeronaves

Medidas de seguridad	
Antes	Limitar el lugar de trabajo Colocar avisos Usar el equipo de protección adecuado Realizar charla técnica
Durante	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 (Villaescusa Alejo, 2006).

Capítulo III

Desarrollo del tema

Descripción general

En el presente capítulo se detalla los procedimientos para el mantenimiento y reparación de los paneles de la cabina de mando del helicóptero Gazelle SA 341L mediante el empleo de avanzadas técnicas de reparación de materiales compuestos. El objetivo primordial de este trabajo es preservar y prolongar la vida operativa de la aeronave al abordar de manera meticulosa la restauración de los elementos fabricados con materiales compuestos en los paneles de control.

La ejecución precisa de los procedimientos de reparación fue guiada por los manuales técnicos pertinentes, en especial el Manual de Mantenimiento (MDE) y el Manual de Técnicas Estándar (MTC). La aplicación de técnicas avanzadas en la reparación de materiales compuestos garantizará una restauración efectiva de los paneles, manteniendo los más altos estándares de calidad y seguridad. Una vez finalizadas las intervenciones de reparación, se llevó a cabo una inspección final minuciosa para evaluar el resultado y verificar que los paneles de la cabina de mando hayan sido restaurados de manera óptima. Los detalles de esta inspección, junto con los resultados obtenidos en las reparaciones de materiales compuestos, fueron meticulosamente documentados.

En última instancia, este trabajo buscó contribuir significativamente a la preservación de la vida útil integral del helicóptero Gazelle SA 341L, mediante la implementación de técnicas de vanguardia en la reparación de materiales compuestos. La combinación de conocimiento técnico especializado, la aplicación de metodologías rigurosas y la utilización de manuales de referencia que establecieron una base sólida para el logro de los objetivos propuestos.

Preparación del área de trabajo

Dentro del ámbito de la mecánica aeronáutica, se estableció un ambiente seguro y propicio para llevar a cabo reparaciones en los paneles de la cabina de mando del helicóptero Gazelle SA 341L, reconociendo la primordial importancia de la seguridad en la operación de estas aeronaves. La reparación de materiales compuestos fue abordada como un proceso altamente complejo que demandó una meticulosa atención a los detalles y una profunda experiencia en el ámbito de la aviación. Además, se tuvo en cuenta el estricto seguimiento de las normativas y directrices establecidas por la autoridad aeronáutica competente, asegurando que la labor de reparación fuera realizada únicamente por personal debidamente capacitado y con una sólida trayectoria en la industria aeronáutica. Los manuales técnicos, materiales, herramientas y equipos esenciales estuvieron disponibles para el equipo encargado de la reparación, y se siguieron rigurosamente los procedimientos delineados en los manuales de mantenimiento, reparación estructural y técnicas estándar. A través de este enfoque, se logró llevar a cabo las reparaciones de manera segura, eficiente y altamente efectiva, contribuyendo así a la prolongación exitosa de la vida útil y el desempeño óptimo de la aeronave en cuestión.

Figura 35

Preparación del área de trabajo



Nota. Área de trabajo adecuada para realizar las reparaciones.

Inspección preliminar

Antes de iniciar los procedimientos de reparación en los paneles de la cabina de mando del helicóptero Gazelle SA 341L, se llevó a cabo una exhaustiva inspección visual preliminar. Esta inspección se realizó con la asistencia de una linterna y espejos de inspección, lo que posibilitó una observación meticulosa en las áreas conocidas por ser propensas a daños en los materiales compuestos. Paralelamente, se procedió a realizar una limpieza minuciosa en la cabina de la aeronave con paños de microfibra, un paso esencial debido al deterioro previo que había afectado a los componentes (ver Figura 36). Esta inspección preliminar resultó esencial para identificar posibles problemas en los paneles de la cabina de mando, tales como delaminación, abolladuras y daños en los agujeros de los pernos, entre otros posibles defectos. Con la limpieza completada, se procedió a la desinstalación de los paneles, marcando así el siguiente paso en el proceso de reparación.

Figura 36

Limpieza e inspección preliminar



Nota. Limpieza general e inspección de los paneles de la cabina de mando del helicóptero.

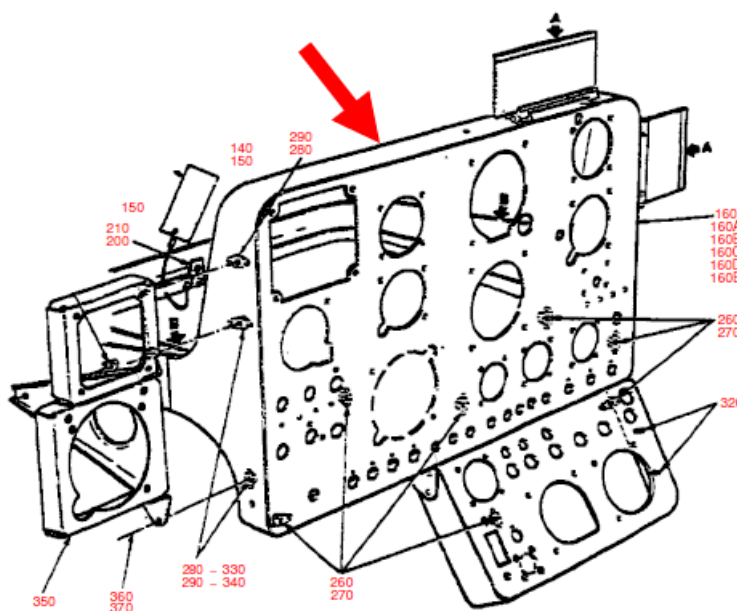
Proceso de reparación del panel de instrumentos

Desmontaje y limpieza del panel de instrumentos

El proceso de reparación del panel de instrumentos se inició con el desmontaje cuidadoso y una limpieza (ver Figura 37). La primera etapa involucró la desconexión de todos los sistemas y componentes eléctricos asociados al panel, asegurando un aislamiento seguro para evitar daños a los sistemas y garantizar la seguridad durante el proceso. Los pernos y sujetadores que aseguraban el panel se retiraron siguiendo los procedimientos establecidos en los manuales técnicos específicos de la aeronave.

Figura 37

Panel de instrumentos



Nota. Panel de instrumentos del helicóptero. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021a).

Una vez desmontado el panel, se procedió a realizar una limpieza meticulosa. Se emplearon paños de microfibra y solventes no agresivos para eliminar cualquier acumulación de suciedad, grasa o contaminantes superficiales que pudieran afectar la calidad de la reparación. Se prestó especial atención a las áreas donde los componentes eléctricos estaban

conectados, así como a las superficies del panel que serían sometidas a reparación. La limpieza no solo fue crucial para asegurar una base adecuada para los procedimientos de reparación, sino que también fue esencial para facilitar una inspección visual precisa de las áreas dañadas (ver Figura 38).

Figura 38

Desmontaje y limpieza del panel de instrumentos



Nota. Desmontaje y limpieza del panel de instrumentos.

Preparación de áreas dañadas del panel de instrumentos

Una vez completada la inspección visual y determinados los lugares con delaminaciones, abolladuras u otros daños, se procedió a realizar una preparación precisa para la reparación. Esta etapa involucró un cuidadoso lijado de las áreas dañadas utilizando herramientas y abrasivos adecuados. El objetivo principal fue eliminar el material comprometido y exponer las capas subyacentes de los materiales compuestos, asegurando una superficie

limpia y áspera que permitiera una adhesión óptima de los materiales de reparación. Se siguieron las indicaciones de los manuales técnicos específicos (MTC 20-04-01) para garantizar que la preparación se llevara a cabo de acuerdo con los estándares aeronáuticos.

Figura 39

Preparación de áreas dañadas del panel de instrumentos



Nota. Preparación de áreas dañadas del panel de instrumentos.

Además del lijado, se llevaron a cabo pasos adicionales para preparar las áreas dañadas, esto incluyó la limpieza adicional con solventes para eliminar cualquier residuo de polvo o partículas resultantes del lijado. También se realizaron medidas para asegurar que no hubiera contaminantes que pudieran afectar negativamente la adhesión y la calidad de la reparación. La atención meticulosa a los detalles y el seguimiento preciso de los procedimientos durante la preparación fueron esenciales para garantizar que las áreas dañadas fueran restauradas de manera efectiva y que la integridad estructural del panel de instrumentos se mantuviera conforme a los estándares requeridos (ver Figura 39).

Reparación del panel de instrumentos

Dentro del marco del proceso de reparación del panel de instrumentos, se llevó a cabo una minuciosa y experta reparación en los materiales dañados previamente identificados. Esta etapa crítica involucró una serie de pasos cuidadosamente ejecutados para restaurar la integridad estructural y funcional del panel, asegurando su óptimo rendimiento y seguridad.

El proceso de reparación comenzó con la aplicación precisa de resinas y adhesivos especiales diseñados para materiales compuestos a lo largo de las áreas dañadas (ver Figura 40). Estos materiales fueron seleccionados de acuerdo con las especificaciones técnicas (ver Anexo B) y los estándares aeronáuticos establecidos (MTC 20-03-06-406), garantizando una compatibilidad óptima con la composición del panel de instrumentos. La aplicación de estos materiales tuvo como objetivo reforzar y restaurar la resistencia y durabilidad del panel en las áreas afectadas. Se mezcla la resina epoxi de acuerdo con las especificaciones del fabricante y se agrega el endurecedor (por cada 100 gr de resina es necesario 20 gr del endurecedor).

Figura 40

Aplicación de resina - panel de instrumentos



Nota. Aplicación de resina - panel de instrumentos.

Además de las resinas y adhesivos, se implementó la colocación estratégica de refuerzos de fibra de vidrio (ver Figura 41). Estos refuerzos fueron meticulosamente posicionados en las áreas dañadas para proporcionar un soporte estructural adicional y mejorar la capacidad de carga del panel reparado. Cada paso de este proceso se realizó siguiendo las pautas precisas de los manuales técnicos pertinentes y las prácticas estándar en reparación de materiales compuestos.

Figura 41

Refuerzos de fibra de vidrio - panel de instrumentos



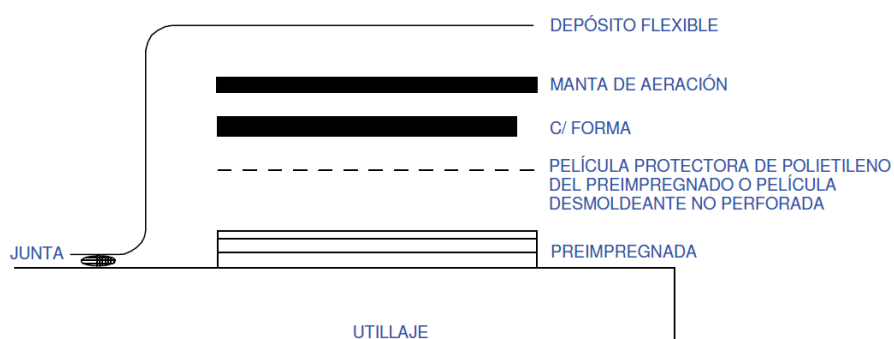
Nota. Refuerzos de fibra de vidrio - panel de instrumentos.

Una vez que los materiales de reparación fueron aplicados y posicionados adecuadamente, se procedió al proceso de laminación manual (MTC 20-03-06-406) (ver Figura 42) a través de curado controlado. Se aplicaron condiciones de temperatura y tiempo específicas, según las recomendaciones del fabricante y las directrices de la industria, para permitir que los materiales se endurecieran y fusionaran de manera efectiva con el panel existente. Este proceso de curado aseguró la integridad estructural de la reparación y la fusión adecuada entre los materiales nuevos y originales. Se deja curar la resina epoxi según las

especificaciones del fabricante, para el sistema de resina utilizada “EPOLAM 2500” el tiempo de desmolde a 25 °C es de 16 horas, y estará totalmente endurecida en 4 días como indica la hoja de especificaciones del fabricante (ver Anexo D).

Figura 42

Esquema de reparación



Nota. Esquema de reparación en referencia al manual de técnicas corrientes (MTC).

La atención meticulosa a los detalles, la aplicación precisa de materiales y la adhesión estricta a las técnicas aeronáuticas establecidas en esta etapa de reparación resultaron esenciales para lograr una restauración exitosa y duradera del panel de instrumentos. Cada paso contribuyó a garantizar que el panel recuperara su resistencia, funcionalidad y apariencia original, cumpliendo con los más altos estándares de seguridad y calidad requeridos en la aviación.

Acabado e instalación del panel de instrumentos

Una vez que la resina ha curado, se retira la bolsa de vacío y se cortan los bordes para igualar el nivel del material sano. También es necesario lijar los bordes y la superficie con lijas de grano fino # 320 y posteriormente con lijas de agua de ser necesario (ver Figura 43). Una vez que se ha llevado a cabo la reparación necesaria y se ha verificado su calidad, fue importante aplicar un recubrimiento protector para prevenir daños y mantener la integridad del panel de instrumentos.

Figura 43

Acabado del panel de instrumentos



Nota. Acabado del panel de instrumentos.

Figura 44

Instalación del panel de instrumentos



Nota. Instalación del panel de instrumentos.

Después de la reparación, se realizó una inspección visual detallada utilizando una linterna y lupa para verificar que la reparación se haya realizado correctamente. Además, se realizó la prueba NDI de “tap test” para verificar la integridad de la reparación. Una vez que se completó la instalación (ver Figura 44) utilizando herramientas y técnicas especializadas, se realizó una verificación de la calidad para asegurarse de que el componente estaba instalado correctamente y cumplía con los requisitos de seguridad.

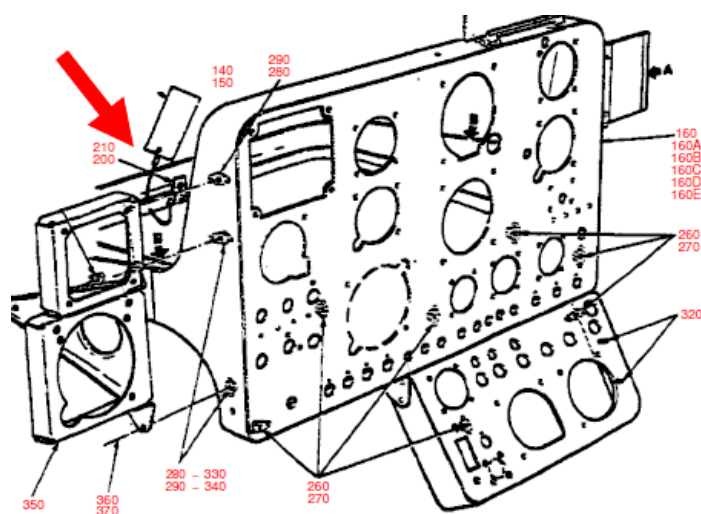
Proceso de reparación del pedestal de control

Desmontaje y limpieza del pedestal de control

El proceso de reparación del pedestal de control se inició con el desmontaje cuidadoso y una limpieza (ver Figura 45). La primera etapa involucró la desconexión de todos los sistemas y componentes eléctricos asociados al pedestal de control, asegurando un aislamiento seguro para evitar daños a los sistemas y garantizar la seguridad durante el proceso. Los pernos y sujetadores que aseguraban el pedestal se retiraron siguiendo los procedimientos establecidos en los manuales técnicos específicos de la aeronave.

Figura 45

Pedestal de control



Nota. Pedestal de control. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021a).

Una vez desmontado el pedestal de control, se procedió a realizar una limpieza meticulosa. Se emplearon paños de microfibra y solventes no agresivos para eliminar cualquier acumulación de suciedad, grasa o contaminantes superficiales que pudieran afectar la calidad de la reparación. Se prestó especial atención a las áreas donde los componentes eléctricos estaban conectados, así como a las superficies del panel que serían sometidas a reparación. La limpieza no solo fue crucial para asegurar una base adecuada para los procedimientos de reparación, sino que también fue esencial para facilitar una inspección visual precisa de las áreas dañadas (ver Figura 46).

Figura 46

Desmontaje y limpieza del pedestal de control



Nota. Desmontaje y limpieza del panel de instrumentos.

Preparación de áreas dañadas del pedestal de control

Una vez completada la inspección visual y determinados los lugares con delaminaciones, abolladuras u otros daños, se procedió a realizar una preparación precisa para la reparación. Esta etapa involucró un cuidadoso lijado de las áreas dañadas utilizando herramientas y abrasivos adecuados. El objetivo principal fue eliminar el material comprometido y exponer las capas subyacentes de los materiales compuestos, asegurando una superficie limpia y áspera que permitiera una adhesión óptima de los materiales de reparación. Se siguieron las indicaciones de los manuales técnicos específicos (MTC 20-04-01) para garantizar que la preparación se llevara a cabo de acuerdo con los estándares aeronáuticos.

Figura 47

Preparación de áreas dañadas del pedestal de control



Nota. Preparación de áreas dañadas del pedestal de control.

Además del lijado, se llevaron a cabo pasos adicionales para preparar las áreas dañadas, esto incluyó la limpieza adicional con solventes para eliminar cualquier residuo de polvo o partículas resultantes del lijado. También se realizaron medidas para asegurar que no hubiera contaminantes que pudieran afectar negativamente la adhesión y la calidad de la reparación. La atención meticulosa a los detalles y el seguimiento preciso de los procedimientos durante la preparación fueron esenciales para garantizar que las áreas dañadas fueran restauradas de manera efectiva y que la integridad estructural del pedestal de control se mantuviera conforme a los estándares requeridos (ver Figura 47).

Reparación del pedestal de control

Al igual que la reparación del panel de instrumentos, el proceso de reparación comenzó con la aplicación precisa de resinas y adhesivos especiales diseñados para materiales compuestos a lo largo de las áreas dañadas. Estos materiales fueron seleccionados de acuerdo con las especificaciones técnicas (ver Anexo B) y los estándares aeronáuticos establecidos (MTC 20-03-06-406), garantizando una compatibilidad óptima con la composición del panel de instrumentos. La aplicación de estos materiales tuvo como objetivo reforzar y restaurar la resistencia y durabilidad del panel en las áreas afectadas. Se mezcla la resina epoxi de acuerdo con las especificaciones del fabricante y se agrega el endurecedor (por cada 100 gr de resina es necesario 20 gr del endurecedor).

Luego se colocaron estratégicamente los refuerzos de fibra de vidrio (ver Figura 48). Estos refuerzos fueron meticulosamente posicionados en las áreas dañadas para proporcionar un soporte estructural adicional y mejorar la capacidad de carga del panel reparado. Cada paso de este proceso se realizó siguiendo las pautas precisas de los manuales técnicos pertinentes y las prácticas estándar en reparación de materiales compuestos.

Figura 48*Refuerzos de fibra de vidrio - pedestal de control*

Nota. Refuerzos de fibra de vidrio - pedestal de control.

Una vez que los materiales de reparación fueron aplicados y posicionados adecuadamente, se procedió al proceso de laminación manual (MTC 20-03-06-406) a través de curado controlado. Se aplicaron condiciones de temperatura y tiempo específicas, según las recomendaciones del fabricante y las directrices de la industria, para permitir que los materiales se endurecieran y fusionaran de manera efectiva con el panel existente. Este proceso de curado aseguró la integridad estructural de la reparación y la fusión adecuada entre los materiales nuevos y originales. Se deja curar la resina epoxi según las especificaciones del fabricante, para el sistema de resina utilizada “EPOLAM 2500” el tiempo de desmolde a 25 °C es de 16 horas, y estará totalmente endurecida en 4 días como indica la hoja de especificaciones del fabricante (ver Anexo D).

Acabado e instalación del pedestal de control

Luego, una vez que la resina ha curado, se retira la bolsa de vacío y se cortan los bordes para igualar el nivel del material sano. También es necesario lijar los bordes y la superficie con lijas de grano fino # 320 y posteriormente con lijas de agua de ser necesario (ver

Figura 49). Una vez que se ha llevado a cabo la reparación necesaria y se ha verificado su calidad, fue importante aplicar un recubrimiento protector para prevenir daños y mantener la integridad del pedestal de control.

Figura 49

Acabado del pedestal de control



Nota. Acabado del pedestal de control.

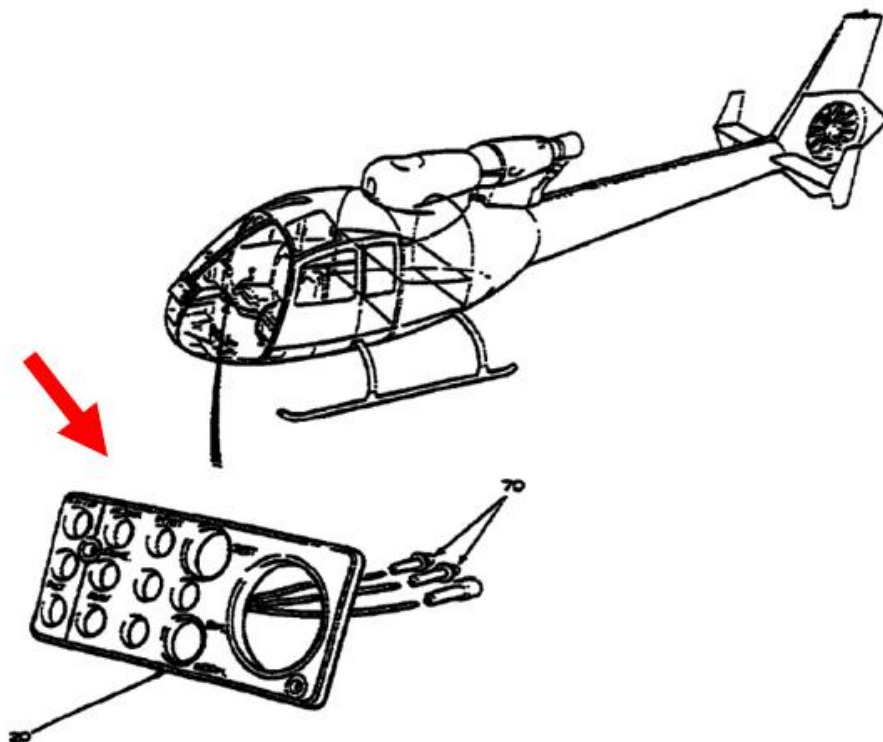
Después de la reparación, se realizó una inspección visual detallada utilizando una linterna y lupa para verificar que la reparación se haya realizado correctamente. Además, se realizó la prueba NDI de “tap test” para verificar la integridad de la reparación. Una vez que se completó la instalación (ver Figura 50) utilizando herramientas y técnicas especializadas, se realizó una verificación de la calidad para asegurarse de que el componente estaba instalado correctamente y cumplía con los requisitos de seguridad.

Figura 50*Instalación del pedestal de control*

Nota. Instalación del pedestal de control.

Proceso de reparación del panel de advertencia***Desmontaje y limpieza del panel de advertencia***

Finalmente, el proceso de reparación del panel de advertencia se inició con el desmontaje cuidadoso y una limpieza (ver Figura 51). La primera etapa involucró la desconexión de todos los sistemas y componentes eléctricos asociados del panel de advertencia, asegurando un aislamiento seguro para evitar daños a los sistemas y garantizar la seguridad durante el proceso. Los pernos y sujetadores que aseguraban el panel de advertencia se retiraron siguiendo los procedimientos establecidos en los manuales técnicos específicos de la aeronave.

Figura 51*Panel de advertencia*

Nota. Panel de advertencia. Tomado de (Airbus Helicopters, 2021a).

Una vez desmontado el panel de advertencia, se procedió a realizar una limpieza meticulosa. Se emplearon paños de microfibra y solventes no agresivos para eliminar cualquier acumulación de suciedad, grasa o contaminantes superficiales que pudieran afectar la calidad de la reparación. Se prestó especial atención a las áreas donde los componentes eléctricos estaban conectados, así como a las superficies del panel de advertencia que serían sometidas a reparación. La limpieza no solo fue crucial para asegurar una base adecuada para los procedimientos de reparación, sino que también fue esencial para facilitar una inspección visual precisa de las áreas dañadas (ver Figura 52).

Figura 52*Desmontaje y limpieza del panel de advertencia*

Nota. Desmontaje y limpieza del panel de advertencia.

Preparación de áreas dañadas del panel de advertencia

Una vez completada la inspección visual y determinados los lugares con delaminaciones, abolladuras u otros daños, se procedió a realizar una preparación precisa para la reparación. Esta etapa involucró un cuidadoso lijado de las áreas dañadas utilizando herramientas y abrasivos adecuados. El objetivo principal fue eliminar el material comprometido y exponer las capas subyacentes de los materiales compuestos, asegurando una superficie limpia y áspera que permitiera una adhesión óptima de los materiales de reparación. Se siguieron las indicaciones de los manuales técnicos específicos (MTC 20-04-01) para garantizar que la preparación se llevara a cabo de acuerdo con los estándares aeronáuticos.

Además del lijado, se llevaron a cabo pasos adicionales para preparar las áreas dañadas, esto incluyó la limpieza adicional con solventes para eliminar cualquier residuo de polvo o partículas resultantes del lijado. También se realizaron medidas para asegurar que no hubiera contaminantes que pudieran afectar negativamente la adhesión y la calidad de la reparación (ver Figura 53).

Figura 53***Preparación de áreas dañadas del panel de advertencia***

Nota. Preparación de áreas dañadas del panel de advertencia.

Reparación del panel de advertencia

Igualmente, que la reparación del pedestal de control, el proceso de reparación comenzó con la aplicación precisa de resinas y adhesivos especiales diseñados para materiales compuestos a lo largo de las áreas dañadas. La aplicación de estos materiales tuvo como objetivo reforzar y restaurar la resistencia y durabilidad del panel de advertencia en las áreas afectadas. Se mezcla la resina epoxi de acuerdo con las especificaciones del fabricante y se agrega el endurecedor (por cada 100 gr de resina es necesario 20 gr del endurecedor).

Luego se colocaron estratégicamente los refuerzos de fibra de vidrio (ver Figura 54), estos refuerzos fueron meticulosamente posicionados en las áreas dañadas para proporcionar un soporte estructural adicional y mejorar la capacidad de carga del panel reparado. Cada paso de este proceso se realizó siguiendo las pautas precisas de los manuales técnicos pertinentes y las prácticas estándar en reparación de materiales compuestos.

Figura 54*Refuerzos de fibra de vidrio - panel de advertencia*

Nota. Refuerzos de fibra de vidrio - panel de advertencia.

Una vez que los materiales de reparación fueron aplicados y posicionados adecuadamente, se procedió al proceso de laminación manual (MTC 20-03-06-406) a través de curado controlado. Se aplicaron condiciones de temperatura y tiempo específicas, según las recomendaciones del fabricante y las directrices de la industria, para permitir que los materiales se endurecieran y fusionaran de manera efectiva con el panel existente. Se deja curar la resina epoxi según las especificaciones del fabricante, para el sistema de resina utilizada “EPOLAM 2500” el tiempo de desmolde a 25 °C es de 16 horas, y estará totalmente endurecida en 4 días como indica la hoja de especificaciones del fabricante (ver Anexo D).

Acabado e instalación del panel de advertencia

Para finalizar, una vez que la resina ha curado, se retira la bolsa de vacío y se cortan los bordes para igualar el nivel del material sano. También es necesario lijar los bordes y la superficie con lijas de grano fino # 320 y posteriormente con lijas de agua de ser necesario (ver Figura 55). Una vez que se ha llevado a cabo la reparación necesaria y se ha verificado su calidad, fue importante aplicar un recubrimiento protector para prevenir daños y mantener la integridad del pedestal de control.

Figura 55

Acabado del panel de advertencia



Nota. Acabado del panel de advertencia.

Figura 56

Instalación del panel de advertencia



Nota. Instalación del panel de advertencia.

Inspección final de las reparaciones en los paneles de la cabina de mando

La inspección final de las reparaciones en los paneles de la cabina de mando en materiales compuestos del helicóptero Gazelle AS 341L fue un proceso crucial para garantizar la seguridad y funcionalidad del helicóptero antes de ser devuelto al servicio. Esta inspección se llevó a cabo después de haber realizado la reparación en sí, y es una medida de control de calidad que se realiza en todos los helicópteros después de cualquier reparación estructural.

Figura 57

Inspección final de las reparaciones



Nota. Inspección final de las reparaciones en materiales compuestos.

Capítulo IV

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- En primer lugar, la recopilación exhaustiva de información técnica, basada en manuales de reparación estructural y técnicas estándar, se reveló como un paso esencial para llevar a cabo procedimientos de reparación efectivos y seguros. Esta recopilación de conocimiento especializado proporcionó la base necesaria para abordar de manera precisa los desafíos inherentes a la restauración de materiales compuestos en los paneles de la cabina de mando.
- La inspección y evaluación previas a la reparación demostraron ser críticas en la identificación precisa de los daños y la delimitación del alcance de las intervenciones requeridas. Mediante una meticulosa inspección visual, se logró detectar problemas como delaminaciones, abolladuras y otros daños, lo que proporcionó la orientación necesaria para un enfoque dirigido y eficiente durante la fase de reparación.
- La ejecución de los procedimientos de reparación en materiales compuestos demostró la importancia de la experiencia y el conocimiento técnico en la restauración exitosa de los paneles de la cabina de mando. La aplicación precisa de resinas, adhesivos y refuerzos de fibra de vidrio, en conformidad con las especificaciones técnicas, resultó en una mejora significativa de la integridad estructural y la funcionalidad de los paneles reparados.
- La inspección final, posterior a la reparación, proporcionó una validación crucial de la calidad y efectividad de los procedimientos de reparación implementados. La meticulosa atención a los detalles y el cumplimiento riguroso de los procedimientos establecidos en los manuales técnicos garantizaron que los paneles de la cabina de mando se restauraran a los estándares requeridos.

Recomendaciones

- Es recomendable mantener un registro detallado de todas las inspecciones, reparaciones y mantenimientos realizados en los paneles de la cabina de mando. Esto incluye descripciones precisas de los procedimientos aplicados, los materiales utilizados y los resultados obtenidos. Mantener un historial completo permitirá un seguimiento efectivo de la vida útil de los materiales compuestos, identificar patrones de desgaste y establecer estrategias de mantenimiento preventivo más eficientes en el futuro.
- Se recomienda implementar programas de capacitación periódica para el personal de mantenimiento encargado de la reparación de materiales compuestos en los paneles de la cabina de mando. La formación constante en las últimas técnicas, herramientas y prácticas de reparación asegurará que el personal esté al tanto de los avances en la industria y sea capaz de abordar los desafíos de mantenimiento de manera efectiva. Un equipo capacitado y actualizado garantizará la calidad y la seguridad en las intervenciones de reparación.

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.

Abolladuras: Daños superficiales que resultan en deformaciones o hundimientos en la estructura del panel de la cabina de mando debido a impactos o fuerzas externas.

C

Chequeo: Comprobación de un componente o un sistema.

D

Delaminación: Separación de las capas de material compuesto en el panel de la cabina de mando, generalmente causada por la falta de adherencia entre las capas.

F

Fibra de carbono: Material compuesto por fibras de carbono impregnadas en una matriz de resina, utilizado para reforzar áreas dañadas y mejorar la resistencia estructural.

I

Inspección: Revisar, evaluar mediante la vista o equipo.

Inspección visual: Proceso de examinar minuciosamente las superficies del panel de la cabina de mando para identificar daños, delaminaciones, grietas u otras irregularidades.

L

Laminado: Proceso de ensamblar capas de materiales compuestos, como fibra de carbono y resina, para formar una estructura fuerte y ligera.

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.

R

Reparación: Restitución de un componente o aeronave.

Refuerzos: Materiales adicionales, como fibras de carbono, aplicados estratégicamente durante la reparación para fortalecer y mejorar las áreas dañadas.

Resina: Material líquido utilizado para impregnar las fibras de carbono y formar una unión sólida y duradera en la reparación del panel de la cabina de mando.

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

ATA: Air Transport Association - Asociación de Transporte Aéreo.

C

CDL: Lista de desviaciones respecto a la configuración

D

DGAC: Dirección General de Aviación Civil.

F

FAA: Administración Federal de Aviación de los EEUU.

H

HRS: Horas.

I

ICAO: Organización de Aviación Civil Internacional.

IFR: Reglas de Vuelo por Instrumentos.

IN: Pulgadas.

K

KT: Nudos.

M

MRS: Manual de Reparación Estructural.

MTC: Manual de Técnicas Estándar.

N

NDT: Non-Destructive Testing - Pruebas No Destructivas.

T

TC: Certificado Tipo.

Bibliografía

- AIMPLAS. (2020). *Plásticos reforzados con fibras naturales*. <https://www.aimplas.es/proceso-y-prototipado/compounding/refuerzo-con-fibras-naturales/>
- Airbus Helicopters. (2021a). *IPC - ILLUSTRATED PARTS CATALOG*.
- Airbus Helicopters. (2021b). *MDE - MAINTENANCE MANUAL* (Vol. 1).
- Airbus Helicopters. (2021c). *MRR - REPAIR MANUAL* (Vol. 1).
- Airbus Helicopters. (2021d). *MTC - MANUAL DE TÉCNICAS CORRIENTES*.
- Airbus Helicopters. (2021e). *Training Manual (Gazelle)*.
- AviationSales. (2023). *Aviation Sales International*.
<https://aviationsalesinternational.com/en/gazelle-ah-mk1-ha-lfr>
- CETA. (2022). *Curso Especialista Material Compuesto | Centro Estudios Técnico Aeronáuticos | C.E.T.A.* <https://www.ceta-aeronautica.com/curso-especialista-material-compuesto>
- Cultura Científica. (2020). *Hidrógeno a partir de composites de fibra de carbono — Cuaderno de Cultura Científica*. <https://culturacientifica.com/2016/10/10/hidrogeno-partir-composites-fibra-carbono/>
- Dark Matter. (2023). *Composites repair equipment*.
<https://www.darkmattercomposites.com/composites-repair-equipment.html>
- Duncan Aviation. (2023). *The Anatomy Of An Aircraft Structural Repair*.
<https://www.duncanaviation.aero/intelligence/2023/February/the-anatomy-of-an-aircraft-structural-repair>
- EANA. (2023). *Consideraciones y características de los Transmisores de Localización de Emergencia o radiobalizas ELT | EANA*. <https://www.eana.com.ar/novedades-del-sector/consideraciones-y-caracteristicas-de-los-transmisores-de-localizacion-ELT>
- Easy Composites Ltd. (2022). *Materials, equipment and training for advanced composites with*

- next-day shipping and expert technical advice.* <https://www.easycomposites.co.uk/>
- Esteban Oñate, A. (2019). *Conocimientos del avión : pilotos y técnicos de mantenimiento.*
- EVIDENT. (2023). *Control de adherencia no destructivo para materiales compuestos de aeronaves.* <https://www.olympus-ims.com/es/applications/non-destructive-bond-testing-aircraft-composites/>
- FibraTec. (2020). *Resina de Poliester – Resinas Epoxicas – Fibra de Vidro – Kevlar.* <https://www.fibratec.cl/producto/resina-poliester/>
- geocities. (2000). *HELICOPTEROS ECUATORIANOS.* <https://geocities.ws/aeronavesfaeaeecenepa/aee-helicopteros.html>
- Hexcel Composites. (1999). *Composite repair.*
- Hispaviación. (2020). *El iPad también en las cabinas de los aviones militares.* <https://www.hispaviacion.es/el-ipad-tambien-en-las-cabinas-de-los-aviones-militares/>
- Hull, D., Areal Guerra, R., & Areal Calama, A. (2019). *Materiales compuestos.*
- Jeppesen. (2002). *A&P Technician Airframe Textbook.* Jeppesen Sanderson.
- jmodels.net. (2022). *Aérospatiale SA 341 Gazelle.* <https://jmodels.net/de-hombres-y-maquinas/aire-air/aerospatiale-sa-341-gazelle/>
- Oñate. (2018). *Fabricación, instalación y mantenimiento Mantenimiento de Aeronaves Bachiller técnico Familia profesional: 4º Módulo MF_313_3 Registros técnicos y programación del mantenimiento preventivo de las aeronaves Airtransport.* <https://www.youtube.com/watch?v=B2uwDK8qKLc>
- SAFRAN. (2323). *CFM56 - The best-selling engine in commercial aviation history | Safran.* <https://www.safran-group.com/products-services/cfm56-best-selling-engine-commercial-aviation-history>
- State Fund. (2019). *Seguridad en el Mantenimiento de Aviones - Safe at Work California.* <https://www.safeatworkca.com/es/articulos-de-seguridad/seguridad-en-el-mantenimiento->

de-aviones/

TMAS. (2020). *¿En qué consiste el mantenimiento aeronáutico? - TMAS Aviación.*

<https://www.tmas.es/blog/mecanica-de-aviones/en-que-consiste-el-mantenimiento-aeronautico/>

Tsai, S. W., & Miravete de Marco, A. (1988). *Diseño y análisis de materiales compuestos.* 570.

<https://elibro.net/es/lc/uta/titulos/183533>

Valea, A., Salas, P. F., Mondragón, I., & González, M. L. (2005). Comportamiento frente a agresivos químicos del polipropileno reforzado con fibras naturales. *Actas Del Vi Congreso Nacional De Materiales Compuestos*, 73–80.

Villaescusa Alejo, Victoria. (2006). *Factores humanos en mantenimiento aeromecánico :*

desarrollo del módulo oficial del Reglamento 2042/2003 de la Comisión : EASA/parte-66.

Anexos