



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“Inspección de 300 horas del rotor principal del helicóptero A109 K2, de acuerdo a las tareas de mantenimiento aplicables a la aeronave, perteneciente a la empresa Aeromaster ubicada en la ciudad de Quito del cantón Pichincha”

López Encalada, Robinson Manolo

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

Ing. Coello Tapia, Luis Angel

Latacunga, 27 de junio del 202



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA AERONÁUTICA

Certificación

Certifico que la monografía, “Inspección de 300 horas del rotor principal del helicóptero A109 K2, de acuerdo a las tareas de mantenimiento aplicables a la aeronave, perteneciente a la empresa Aeromaster ubicada en la ciudad de Quito del cantón Pichincha” fue realizado por el señor López Encalada, Robinson Manolo, el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 27 de junio del 2022

Firma:

Ing. Luis Ángel, Coello Tapia

C.C.: 0503128662

Reporte de verificación de contenido



1. Trabajo de titulacion Lopez Robinson_v1.pdf

Scanned on: 5:43 June 26, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	375
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	129
Omitted Words	1203

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Luis Ángel Coello Tapia", written over a horizontal dashed line.

Ing. Luis Ángel, Coello Tapia

C.C.: 0503128662



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA AERONÁUTICA

Responsabilidad de autoría

Yo, **López Encalada, Robinson Manolo**, con cédula de ciudadanía N° 1754328498, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Inspección de 300 horas del rotor principal del helicóptero A109 K2, de acuerdo a las tareas de mantenimiento aplicables a la aeronave, perteneciente a la empresa Aeromaster ubicada en la ciudad de Quito del cantón Pichincha”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 27 de junio del 2022

Firma:

López Encalada, Robinson Manolo

C.C.:1754328498



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA AERONÁUTICA

Autorización de publicación

Yo, **López Encalada, Robinson Manolo**, con cédula de ciudadanía N° 1754328498, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Inspección de 300 horas del rotor principal del helicóptero A109 K2, de acuerdo a las tareas de mantenimiento aplicables a la aeronave, perteneciente a la empresa Aeromaster ubicada en la ciudad de Quito del cantón Pichincha”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 27 de junio del 2022

Firma:

López Encalada, Robinson Manolo

C.C.:1754328498

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado en primer lugar a Dios, por darme fortaleza y sabiduría a lo largo de todos los años de estudio para enfrentar los momentos difíciles y permitirme llegar a la culminación de mi carrera universitaria. A mis padres, por darme su apoyo incondicional y estar junto a mí en todo momento durante toda mi etapa de aprendizaje, y por ser mi ejemplo de vida. A mi familia y amigos en general, quienes con amor y comprensión me dieron la fuerza necesaria para poder afrontar mis miedos y por la confianza depositada en mí durante todo el proceso de formación personal y profesional.

López Encalada, Robinson Manolo

Agradecimiento

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

López Encalada, Robinson Manolo

Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte de verificación de contenido	3
Responsabilidad de autoría.....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Tabla de contenidos.....	8
Índice de tablas	11
Índice de figuras.....	12
Resumen	15
Abstract.....	16
Planteamiento del problema.....	17
Antecedentes	17
Planteamiento del problema.....	18
Justificación e importancia.....	18
Objetivos	19
<i>Objetivo general</i>	19
<i>Objetivos específicos</i>	19
Alcance.....	20
Marco teórico.....	21
Helicóptero Leonardo A109 K2.....	21
<i>Historia del helicóptero A109 K2</i>	21
<i>Descripción del helicóptero A109 K2</i>	23

<i>Datos técnicos y características del helicóptero A109 K2</i>	25
Sistema del rotor principal del helicóptero A109 K2	26
<i>Información general</i>	26
<i>Palas del rotor (rotor blades)</i>	28
<i>Cabeza del rotor (rotor head)</i>	30
<i>Controles giratorios (rotating controls)</i>	32
<i>Sistema de monitoreo del rotor principal</i>	33
Mantenimiento Aeronáutico	34
<i>Generalidades del Mantenimiento Aeronáutico</i>	34
<i>Tipos de Mantenimiento Aeronáutico</i>	36
Documentación a utilizar en el Mantenimiento Aeronáutico	40
<i>Documentación Operacional</i>	41
<i>Documentación Técnica</i>	41
Medidas de seguridad en mantenimiento aeronáutico	43
Desarrollo del tema	46
Descripción general	46
Preparación del área de trabajo	46
<i>Información técnica</i>	47
<i>Herramientas</i>	48
Procedimientos antes de la inspección	48
Implementación del banco de pruebas necesario para la revisión de fugas ...	50
Inspección de 300 horas – prueba de fugas de los amortiguadores	53
<i>Condiciones preliminares</i>	53
<i>Procedimiento</i>	56
Inspección de 300 horas – condición de palas y bujes del rotor principal	63

	10
<i>Límites de inspección y reparación</i>	64
<i>Daños no reparables</i>	64
<i>Daños en componentes metálicos</i>	64
<i>Delaminaciones</i>	65
<i>Poros de adhesión</i>	65
<i>Daños en los carenados de la raíz y de borde de salida</i>	66
<i>Arandelas de raíz de las palas</i>	67
<i>Bujes de la raíz de la pala</i>	67
Pruebas operacionales del rotor principal	68
Conclusiones y recomendaciones	70
Conclusiones	70
Recomendaciones	71
Glosario	72
Abreviaturas	75
Bibliografía	77
Anexos	79

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Características generales del helicóptero A109 K2</i>	<i>26</i>
Tabla 2	<i>Medidas de seguridad en el mantenimiento de aeronaves</i>	<i>45</i>

Índice de figuras

Figura 1 <i>Helicóptero A109</i>	21
Figura 2 <i>Helicóptero A109 K2</i>	22
Figura 3 <i>Helicóptero A109 K2</i>	23
Figura 4 <i>Identificación general de las áreas del helicóptero</i>	24
Figura 5 <i>Identificación general de las áreas del helicóptero</i>	25
Figura 6 <i>Sistema del rotor principal del helicóptero A109 K2</i>	27
Figura 7 <i>Perfiles aerodinámicos simétricos en palas de helicópteros</i>	28
Figura 8 <i>Palas del rotor_1</i>	29
Figura 9 <i>Palas del rotor_2</i>	29
Figura 10 <i>Cubo del rotor (rotor hub)</i>	30
Figura 11 <i>Amortiguadores (dampers)</i>	31
Figura 12 <i>Inmovilizadores de aleteo (Flapping restrainers)</i>	32
Figura 13 <i>Controles giratorios (rotating controls)</i>	32
Figura 14 <i>Sistema de monitoreo del rotor principal</i>	33
Figura 15 <i>Proceso del Mantenimiento Aeronáutico</i>	35
Figura 16 <i>Componente con Vida Límite o Vencimiento</i>	37
Figura 17 <i>Componente con Overhaul o Recorrida</i>	37
Figura 18 <i>Componente On Condition</i>	38
Figura 19 <i>Mantenimiento Predictivo</i>	39
Figura 20 <i>Mantenimiento Restaurativo</i>	40
Figura 21 <i>Equipo de protección personal</i>	44
Figura 22 <i>Indicación de peligro en el manual de mantenimiento</i>	44
Figura 23 <i>Área de trabajo</i>	47

Figura 24 Información técnica.....	47
Figura 25 Herramientas	48
Figura 26 Procedimientos antes de la inspección	49
Figura 27 Sistema hidráulico básico accionado por bomba manual.....	50
Figura 28 Diagrama del banco de pruebas para el servicio de fluido hidráulico	51
Figura 29 Bomba manual (pump)	52
Figura 30 Cilindro hidráulico (hydraulic cylinder).....	52
Figura 31 Banco de pruebas para la revisión de fugas	53
Figura 32 Aseguramiento de la aeronave	54
Figura 33 Desmontaje de la cabeza del rotor principal_1	54
Figura 34 Desmontaje de la cabeza del rotor principal_2	55
Figura 35 Enrutamiento alambre de seguridad	55
Figura 36 Mantenimiento de los amortiguadores del rotor principal	56
Figura 37 Corte de los alambres de seguridad	57
Figura 38 Desmontaje de los amortiguadores del rotor principal_1.....	57
Figura 39 Desmontaje de los amortiguadores del rotor principal_2.....	58
Figura 40 Desmontaje de los amortiguadores del rotor principal_3.....	58
Figura 41 Cañería de suministro del banco de prueba.....	59
Figura 42 Nomenclatura de cada amortiguador.....	59
Figura 43 Diagrama de servicio de los amortiguadores	61
Figura 44 Presurización del amortiguador a 500 psi	62
Figura 45 Indicador de carga	62
Figura 46 Inspección visual y limpieza de las palas y elementos de sujeción	63
Figura 47 Falta de adherencia entre los componentes	66
Figura 48 Daños en los carenados de la raíz y de borde de salida	67

Figura 49 <i>Bujes de la raíz de la pala</i>	67
Figura 50 <i>Instalación de los componentes removidos del rotor principal</i>	68
Figura 51 <i>Pruebas operacionales del rotor principal</i>	69

Resumen

El presente trabajo de titulación contiene información acerca de la inspección de 300 horas del rotor principal del helicóptero A109 K2, de acuerdo a las tareas de mantenimiento aplicables a la aeronave, perteneciente a la empresa Aeromaster. El mantenimiento aeronáutico cumple un papel muy importante en el campo de la aviación, ya que es indispensable cumplir con estrictos parámetros que garanticen la seguridad de la aeronave y sus sistemas. A través de la recopilación de información técnica, se puede interpretar los procedimientos necesarios para la inspección del rotor principal según el manual de mantenimiento del helicóptero, esto gracias a la implementación de un banco de pruebas que permite una revisión adecuada de fugas de los amortiguadores que conforman el rotor, y así poder cumplir con la inspección. Una vez realizado todo lo anterior, es necesario llevar a cabo las pruebas operacionales para verificar el correcto funcionamiento del sistema. Al realizar un correcto mantenimiento al rotor principal, se tendrá un helicóptero en condición operativa para que pueda seguir realizando sus vuelos en la empresa. Además, para la realización del proyecto se cuenta con herramientas, equipos de apoyo y documentación técnica necesaria para ejecutar las diferentes inspecciones de manera óptima.

Palabras clave:

- **HELICÓPTERO A109 K2**
- **ROTOR PRINCIPAL**
- **MANTENIMIENTO AERONÁUTICO**
- **INSPECCIÓN DE 300 HORAS**

Abstract

This degree work contains information about the 300-hour inspection of the main rotor of the A109 K2 helicopter, according to the maintenance tasks applicable to the aircraft, belonging to the company Aeromaster. Aeronautical maintenance plays a very important role in the field of aviation, since it is essential to comply with strict parameters that guarantee the safety of the aircraft and its systems. Through the collection of technical information, it is possible to interpret the necessary procedures for the inspection of the main rotor according to the helicopter maintenance manual, thanks to the implementation of a test bench that allows an adequate review of leaks from the shock absorbers that make up the rotor, and thus be able to comply with the inspection. Once all of the above has been done, it is necessary to carry out the operational tests to verify the correct functioning of the system. By performing proper maintenance on the main rotor, a helicopter will be in operational condition so that it can continue to fly for the company. In addition, to carry out the project there are tools, support equipment and technical documentation necessary to carry out the different inspections optimally.

Key words:

- **HELICOPTER A109 K2**
- **MAIN ROTOR**
- **AERONAUTICAL MAINTENANCE**
- **300 HOUR INSPECTION**

Capítulo I

Planteamiento del problema

Antecedentes

La empresa de aviación “Aeromaster” está dedicada a brindar servicios y producción especializada en diversos ámbitos de la aviación, la misma está certificada ante la autoridad aeronáutica como una organización de mantenimiento aprobada, que realiza inspecciones, reparaciones, modificaciones, ensamblajes y otras tareas de mantenimiento; para esto cuenta con un taller para realizar mantenimiento a las aeronaves, en la cual se usa varias herramientas que facilitan el trabajo permitiendo un mejor desarrollo del mismo.

Se realiza mantenimiento a los rotores de aeronaves de ala rotatoria “helicópteros”, el rotor articulado utiliza articulaciones para reducir los esfuerzos a los que se ven sometidas las palas y que pueden transmitirse indebidamente a la cabeza del rotor. Los sistemas de rotor cuentan con cuatro palas en los que se emplean articulaciones para el batimiento, el paso y el arrastre.

Una inspección importante realizada, es la inspección de 300 horas o 12 meses para revisión por fugas en el sistema de amortiguadores del helicóptero Leonardo A109 K2, así como la de otros componentes de la aeronave; por ende es necesario contar con herramientas especiales para poder realizar correctamente el mantenimiento, estas herramientas facilitarán el trabajo y brindarán una mejor estabilidad para realizar las tareas, también su uso adecuado garantizará el correcto cumplimiento de los trabajos acorde a las normas que se encuentran estipuladas en las órdenes técnicas emitidas por el fabricante.

Planteamiento del problema

Para la operación de una aeronave es ineludible que se encuentre en óptimas condiciones y de esta manera cumpla con los requisitos de aeronavegabilidad. Al momento de realizar una tarea de mantenimiento es primordial seguir las indicaciones que proporciona el manual del fabricante, así como los boletines de servicio y directivas de aeronavegabilidad.

El mantenimiento del rotor principal del helicóptero Leonardo A109 K2, se realiza debido a las fuerzas que actúan sobre el helicóptero, por ende, el servicio y los mantenimientos se convierten en un proceso continuo. Es importante que las tareas de mantenimiento se las realice de acuerdo a lo que estipula la documentación técnica, ya que los diferentes tipos de inspecciones que se realizan deben ser desarrolladas para optimizar la confiabilidad de la aeronave en general.

La intervención adecuada de los componentes debe realizarse por horas o tiempo calendario como lo define el fabricante, esto puede ahorrar dinero, prolonga la vida útil del rotor principal, evita tiempos de inactividad y aumenta su eficiencia; además ayuda a planificar el intervalo de tiempo en el que se realice mantenimiento, esto facilitará a los técnicos en mantenimiento a que puedan ejecutar un mejor trabajo.

Justificación e importancia

El presente proyecto técnico beneficiará a la empresa Aeromaster y a los técnicos que brindan mantenimiento al rotor principal del helicóptero A109 K2 en base a la documentación técnica, para identificar si existe alguna anomalía en su funcionamiento, desgaste en sus componentes con respecto al estado del material en el que se encuentre el rotor principal, y además se podrá alargar la vida útil.

Una inspección adecuada del rotor principal, brindará facilidades para poder identificar el procedimiento que debe emplearse en un área específica y así brindarle un

apropiado mantenimiento además de seguir los pasos correcto para su chequeo, de esta forma beneficiará a los mecánicos al momento de realizar alguna tarea de mantenimiento que puedan emplearla con excelencia y mantener la seguridad operacional en los ocupantes y al helicóptero en sí.

El proyecto es viable porque se cuenta con toda la documentación técnica actualizada para realizar la inspección, se cuenta con instalaciones amplias en excelentes condiciones, todas las herramientas necesarias que han sido otorgadas por la empresa para brindar un buen mantenimiento, y además se cuenta con el personal técnico capacitado y habilitado en el helicóptero Leonardo A109 K2.

Objetivos

Objetivo general

Realizar la inspección de 300 horas del rotor principal del helicóptero A109 K2, de acuerdo a las tareas de mantenimiento aplicables a la aeronave, perteneciente a la empresa Aeromaster ubicada en la ciudad de Quito del cantón Pichincha.

Objetivos específicos

- Recopilar información técnica necesaria e interpretar los procedimientos necesarios para la inspección del rotor principal según el manual de mantenimiento del helicóptero A109K2.
- Implementar un banco de pruebas necesario para la revisión de fugas de los amortiguadores (dampers) y poder cumplir con la inspección de 300 horas del rotor principal.
- Ejecutar la tarea de mantenimiento 05-50-01 numeral 17a del manual de mantenimiento según las especificaciones del fabricante.
- Realizar pruebas operacionales del rotor principal una vez que se ha realizado la inspección de 300 horas.

Alcance

El presente proyecto, busca realizar la inspección de 300 horas del rotor principal del helicóptero A109 K2, de acuerdo a las tareas de mantenimiento aplicables a la aeronave, perteneciente a la empresa Aeromaster ubicada en la ciudad de Quito del cantón Pichincha. Dicha inspección permitirá afianzar los conocimientos claves que debe tener el mecánico u operador en la realización de la inspección del rotor principal, considerando las debidas precauciones y equipos adecuados al momento de realizar las tareas de mantenimiento.

Capítulo II

Marco teórico

Helicóptero Leonardo A109 K2

Historia del helicóptero A109 K2

A finales de la década de 1960, Agusta diseñó el helicóptero A109 originalmente como un helicóptero comercial monomotor. Sin embargo, pronto se dio cuenta de que se necesitaba un diseño de dos motores y fue rediseñado en 1969 con dos motores turboeje el Allison 250-C14. Una versión militar proyectada (el A109B) se consideró desde el principio, pero Agusta inicialmente decidió no perseguir el desarrollo inmediato, sino que se concentró en la versión A109C de ocho asientos. El primero de los tres prototipos realizó su primer vuelo el 4 de agosto de 1971 (Hmong, 2012).

Figura 1

Helicóptero A109



Nota. El gráfico muestra el helicóptero A109, el mismo que fue diseñado a finales de la década de 1960. Tomado de (AIRGWAYS, 2021).

En 1976, comenzaron las entregas de la producción A109 a los clientes. Las ventajas sobre el Bell 206 líder del mercado en ese momento eran la velocidad superior del A109, la redundancia de dos motores y una mayor capacidad de asientos. En 1975, Agusta volvió a la posibilidad de una versión militar, por lo que se llevaron a cabo una serie de pruebas entre 1976 y 1977 utilizando un total de cinco A109A equipados con misiles construidos por Hughes Aircraft. De este programa surgieron dos versiones militares, una destinada a misiones de ataque ligero/apoyo cercano y la otra a operaciones a bordo.

Las versiones civiles mejoradas siguieron rápidamente desde el modelo de producción inicial; en 1981, se puso a disposición de los operadores un A109A MK2 con cabina ensanchada. En 1993, el A109 K2 se introdujo utilizando un nuevo motor, un par de motores Turbomeca Arriel 1K1; esto fue seguido por el A109 Power, muy similar al K2 excepto por el uso de motores Pratt & Whitney Canada PW206 en 1996.

Figura 2

Helicóptero A109 K2



Nota. El gráfico muestra el helicóptero A109 K2, introducido al mercado en 1993. Tomado de (LEONARDO, 2022).

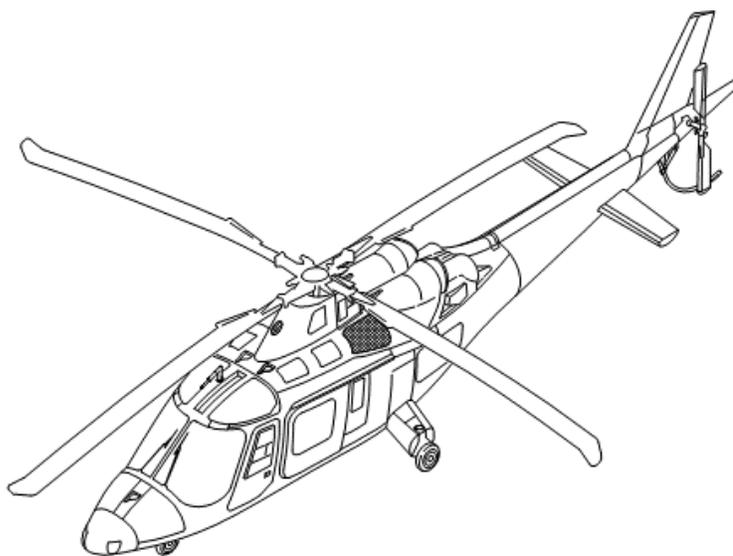
El Agusta A109 pasó a llamarse AW109 tras la fusión en julio de 2000 de Finmeccanica SpA y las respectivas filiales de helicópteros Agusta y Westland Helicopters de GKN plc para formar AgustaWestland. En febrero de 2014, AgustaWestland reveló que estaba desarrollando el AW109 Trekker, una variante actualizada del AW109. Está equipado con tren de aterrizaje deslizante (el primer helicóptero bimotor de AgustaWestland en tener esta característica) y está propulsado por un par de motores Pratt & Whitney Canada PW207C.

Descripción del helicóptero A109 K2

El A109K2 es un helicóptero polivalente de altas prestaciones y alta velocidad propulsado por dos motores Turbomeca ARRIEL 1K1, con un rotor principal de cuatro palas, un rotor de cola de dos palas y un tren de aterrizaje fijo tipo triciclo, como se observa en la Figura 3.

Figura 3

Helicóptero A109 K2

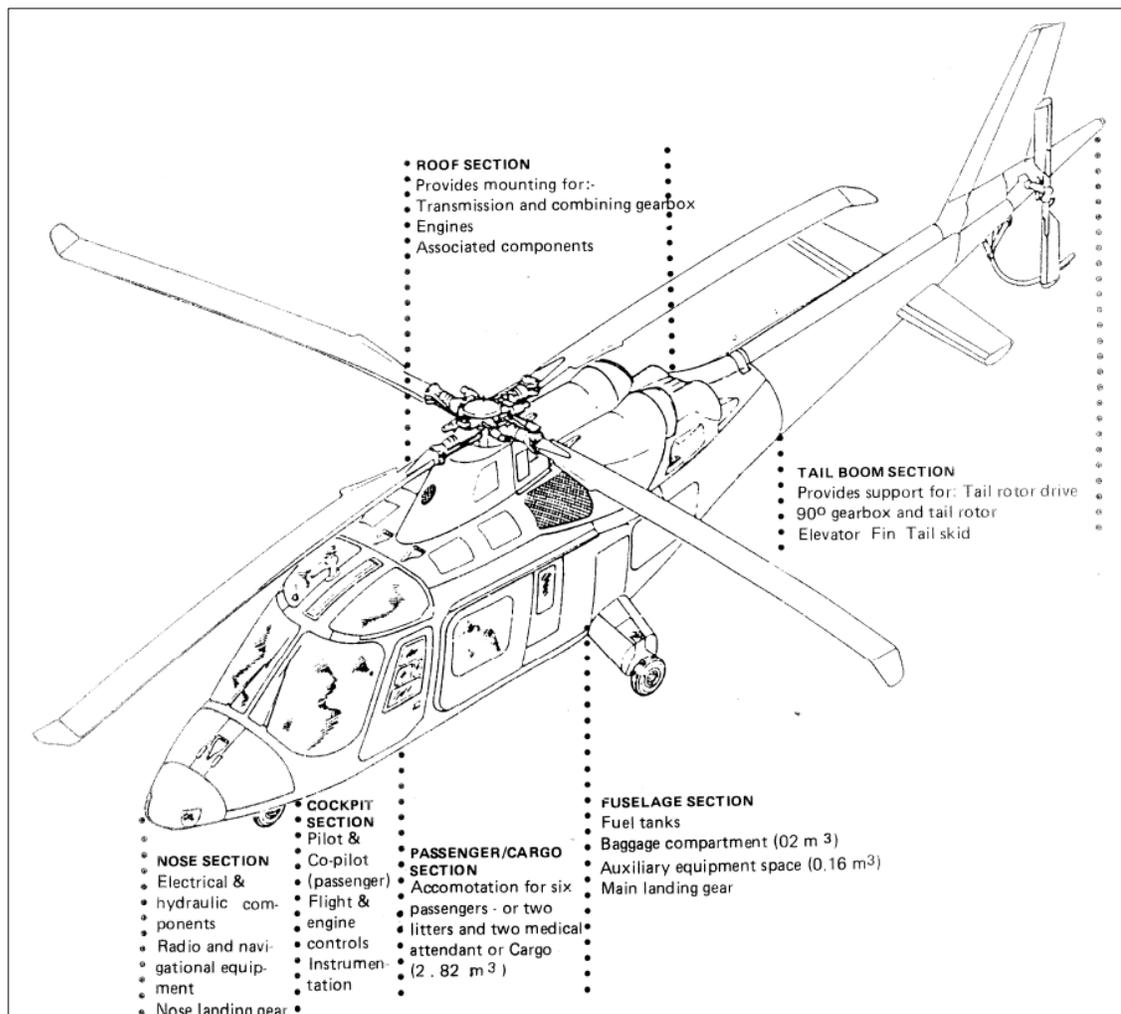


Nota. El gráfico muestra el helicóptero A109 K2, introducido al mercado en 1993. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

El fuselaje consta de dos secciones principales (la sección delantera y la sección trasera o brazo de cola) conectadas por cuatro pernos. La sección delantera incluye la nariz, la cabina, el habitáculo y el maletero; también proporciona la estructura de soporte para el tren de aterrizaje, los tanques de combustible, la transmisión y el brazo de cola. La entrada a la cabina se realiza a través de las puertas ubicadas en la cabina delantera junto a las estaciones del piloto como se observa en la Figura 4.

Figura 4

Identificación general de las áreas del helicóptero



Nota. El gráfico muestra las áreas del helicóptero A109 K2. Tomado de (AGUSTA, 1994).

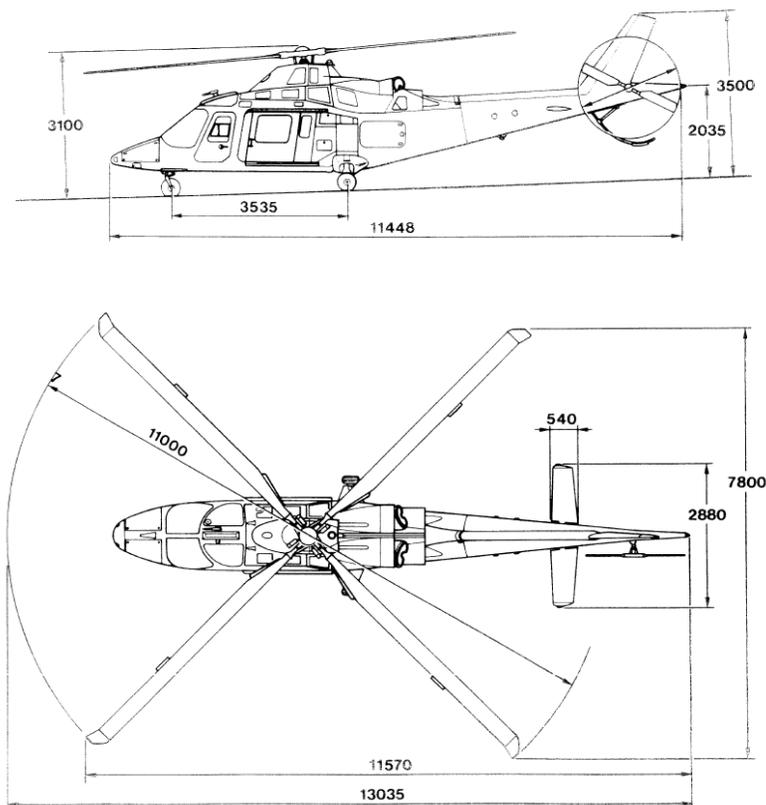
La planta de energía, que consta de dos motores y sistemas de propulsión, está ubicada detrás de la cabina en una cubierta en la parte superior del fuselaje. El diseño bimotor, que permite volar en helicóptero a alta velocidad de crucero y con un alto factor de seguridad, hace que sea especialmente adecuado para el transporte rápido de personal o carga, búsqueda y rescate, vuelo nocturno e IFR. (AGUSTA, 1994).

Datos técnicos y características del helicóptero A109 K2

El helicóptero cuenta con un rotor principal de cuatro palas articulado, dicho sistema de rotor ofrece un alto poder de control y una alta acción de amortiguación. En la Figura 5, se muestran las dimensiones principales del fuselaje en milímetros.

Figura 5

Identificación general de las áreas del helicóptero



Nota. El gráfico muestra las áreas del helicóptero A109 K2. Tomado de (AGUSTA, 1994).

En la Tabla 1, se pueden observar las características generales de la aeronave de ala rotatoria, la misma que ofrece diferentes ventajas frente a otras de su misma categoría.

Tabla 1

Características generales del helicóptero A109 K2

Características generales	
Tripulación	1 o 2
Capacidad	6 o 7 pasajeros
Longitud	11.448 m (37 ft 7 in) de fuselaje
Altura	3.50 m (11 ft 6 in)
Peso vacío	1590 kg (3505 lb)
Peso máximo al despegue	2850 kg (6283 lb)
Diámetro del rotor principal	11.00 m (36 ft 1 in)
Velocidad máxima	311 km/h (193 mph, 168 kt)
Velocidad de crucero	285 km/h (177 mph, 154 kt)
Velocidad de ascenso	9.8 m/s (1.930 pies/min)

Nota. Tomado de (Hmong, 2012).

Sistema del rotor principal del helicóptero A109 K2

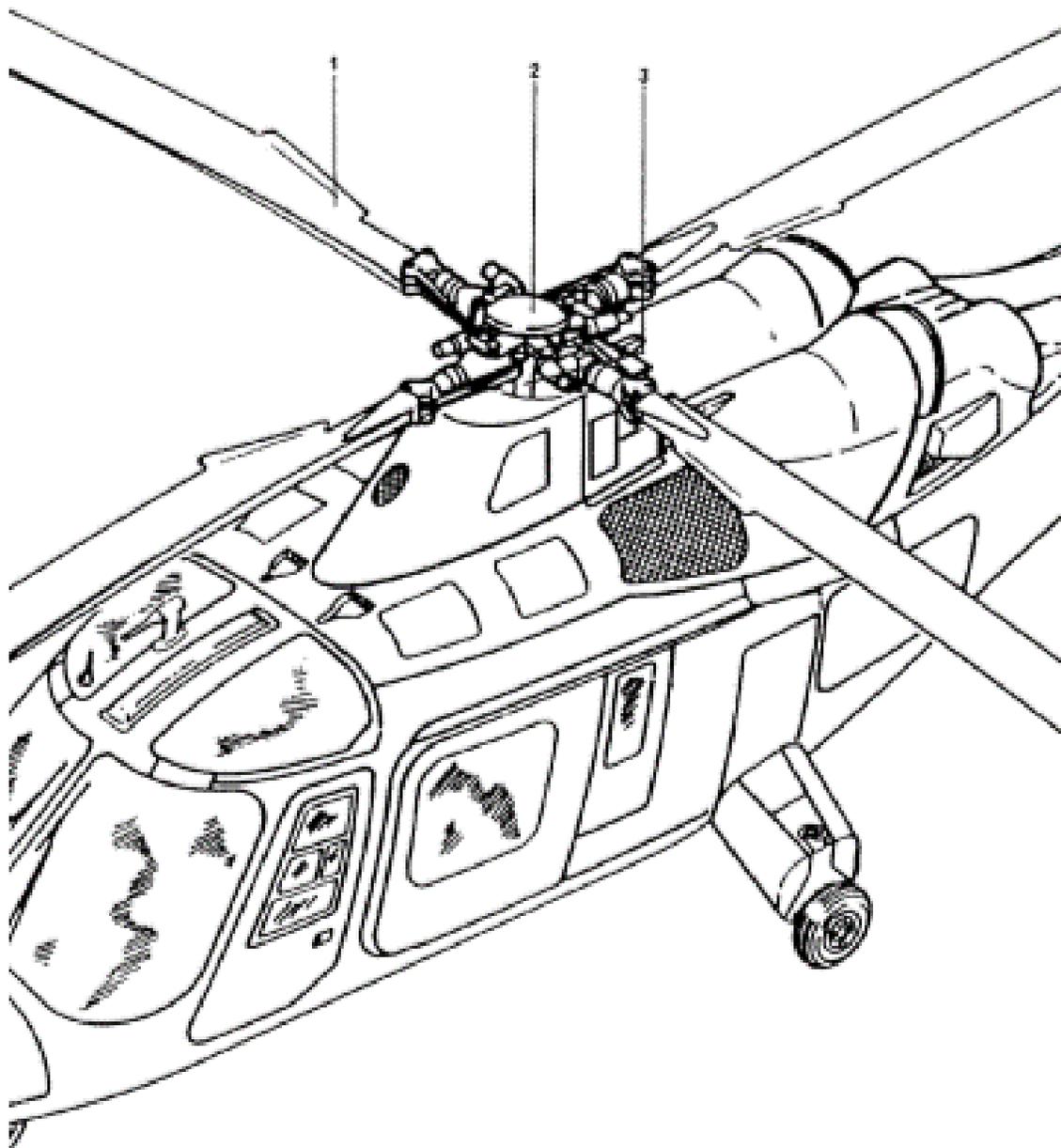
Información general

La función principal de la transmisión es impulsar el eje del rotor principal, o mástil, que hace girar el cubo del rotor, lo que hace que giren las palas del rotor. El eje del rotor, el cubo y las palas forman el sistema del rotor principal. Integrados al eje del rotor principal hay subconjuntos que se necesitan para transmitir cambios de control a las palas del rotor y dispositivos que reducen las vibraciones. Los sistemas de rotor se clasifican de tres maneras, dependiendo de cómo se sujeten las palas del rotor al cubo del rotor: articulados, semirrígidos y rígidos.

El sistema del rotor principal articulado de cuatro palas, de la aeronave A109 K2 está formado por las palas del rotor principal (1), la cabeza del rotor principal (2), los controles giratorios (3) y los sistemas indicadores de monitoreo como se observa en la Figura 6.

Figura 6

Sistema del rotor principal del helicóptero A109 K2



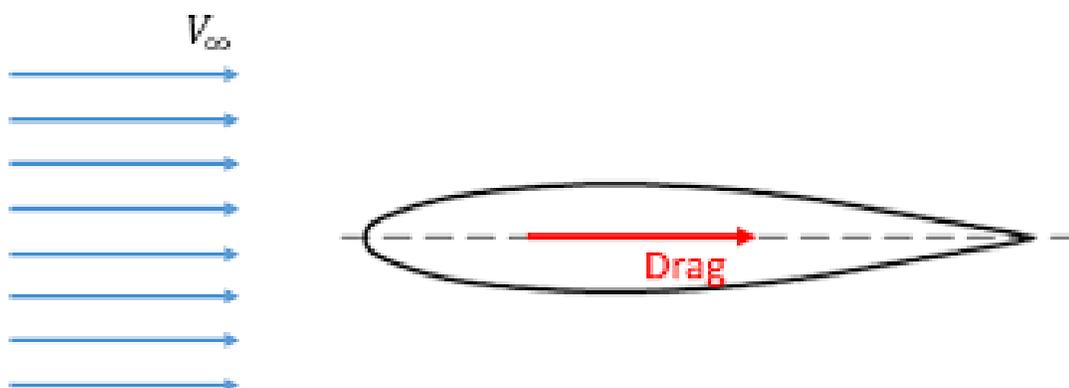
Nota. El gráfico muestra los componentes del sistema del rotor principal del helicóptero A109 K2: palas del rotor principal (1), cabeza del rotor principal (2) y los controles giratorios (3). Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Palas del rotor (rotor blades)

Las palas del rotor principal son las alas de un helicóptero y son tan importantes para un helicóptero como las alas para un avión. Las palas del rotor crean la sustentación que hace posible el vuelo. A diferencia de las alas de los aviones, que suelen ser asimétricas, las palas del rotor de los helicópteros son simétricas; esto significa que, si toma una sección transversal del ala (perfil aerodinámico), es la misma en la parte superior que en la parte inferior.

Figura 7

Perfiles aerodinámicos simétricos en palas de helicópteros

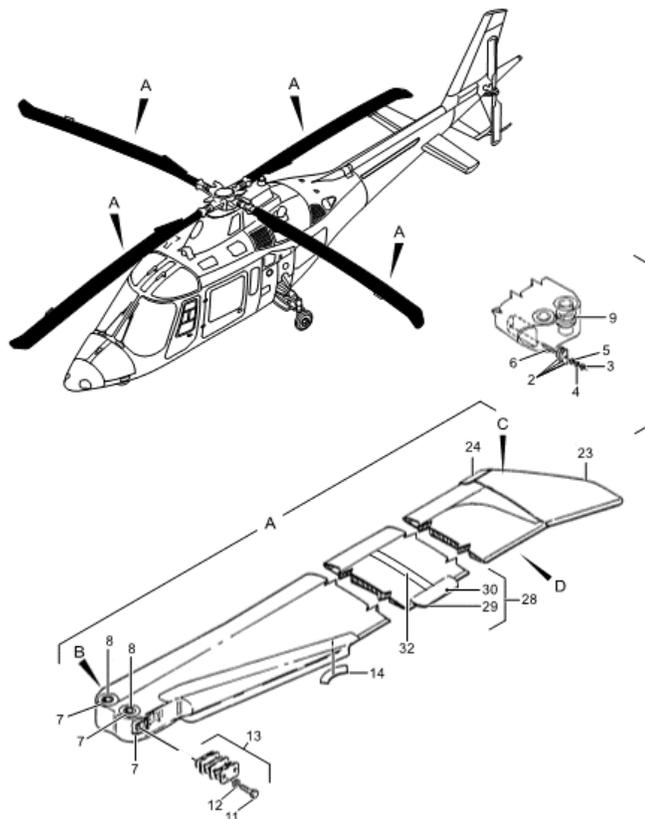


Nota. Tomado de (AERODINAMICA F1, 2019).

Las palas del rotor principal del helicóptero A109 K2, están fabricadas de materiales compuestos. Cada pala es un conjunto de un larguero de fibra de vidrio, una cubierta de borde de salida de fibra de carbono con un núcleo Nomex, una tira de acero inoxidable adherida al borde de ataque y una punta de pala de acero inoxidable o fibra de vidrio con una tira de níquel como se observa en la Figura 9. Las palas se equilibran estáticamente durante la construcción por medio de pesos colocados en la base de la pala y en el extremo exterior. Las palas están aseguradas al cubo con dos pernos; los mismos que son huecos, lo que permite añadir pesos durante el equilibrado del cubo.

Figura 8

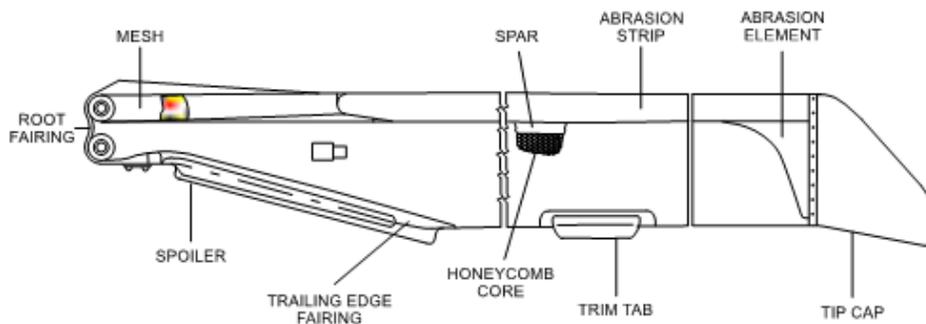
Palas del rotor_1



Nota. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Figura 9

Palas del rotor_2

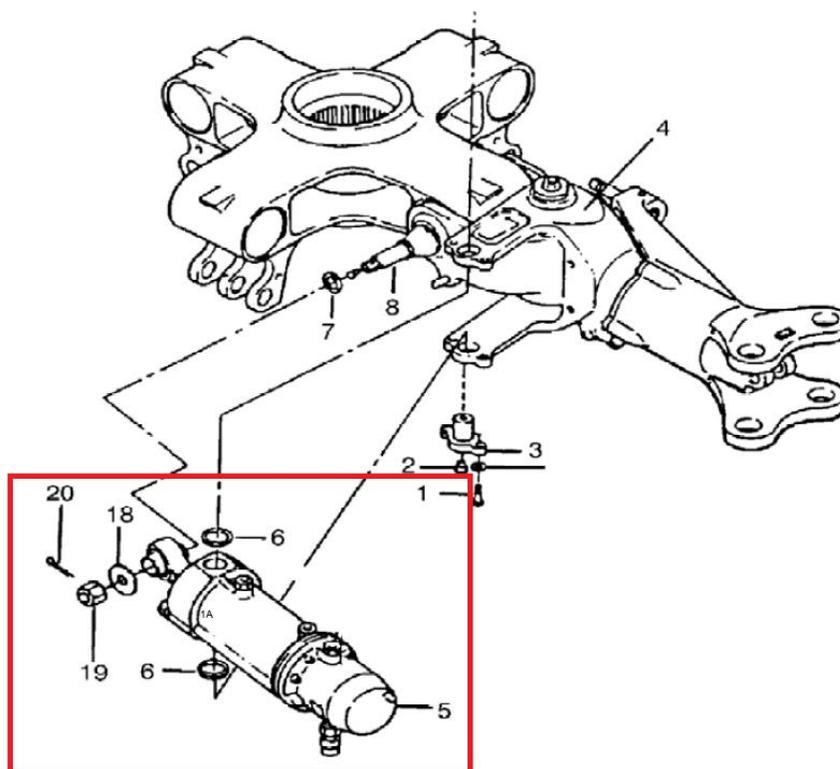


Nota. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Amortiguadores (dampers). Los amortiguadores hidráulicos están instalados en el buje, uno para cada brazo del propio buje, para amortiguar los movimientos de avance y retroceso de las palas. Los amortiguadores están montados entre los pasadores de las bisagras horizontales de las palas y los ejes del cubo. Una varilla que sobresale de la caja del amortiguador indica el nivel de mantenimiento del amortiguador.

Figura 11

Amortiguadores (dampers)

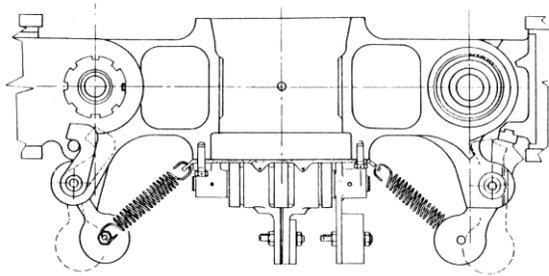


Nota. El gráfico muestra los componentes de la cabeza del rotor (rotor head), donde se destaca los amortiguadores (dampers) (5). Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Inmovilizadores de aleteo (Flapping restrainers). El limitador de aleteo limita el aleteo de la pala a las RPM normales de operación y sostiene la pala cuando el rotor está estacionario.

Figura 12

Inmovilizadores de aleteo (Flapping restrainers)



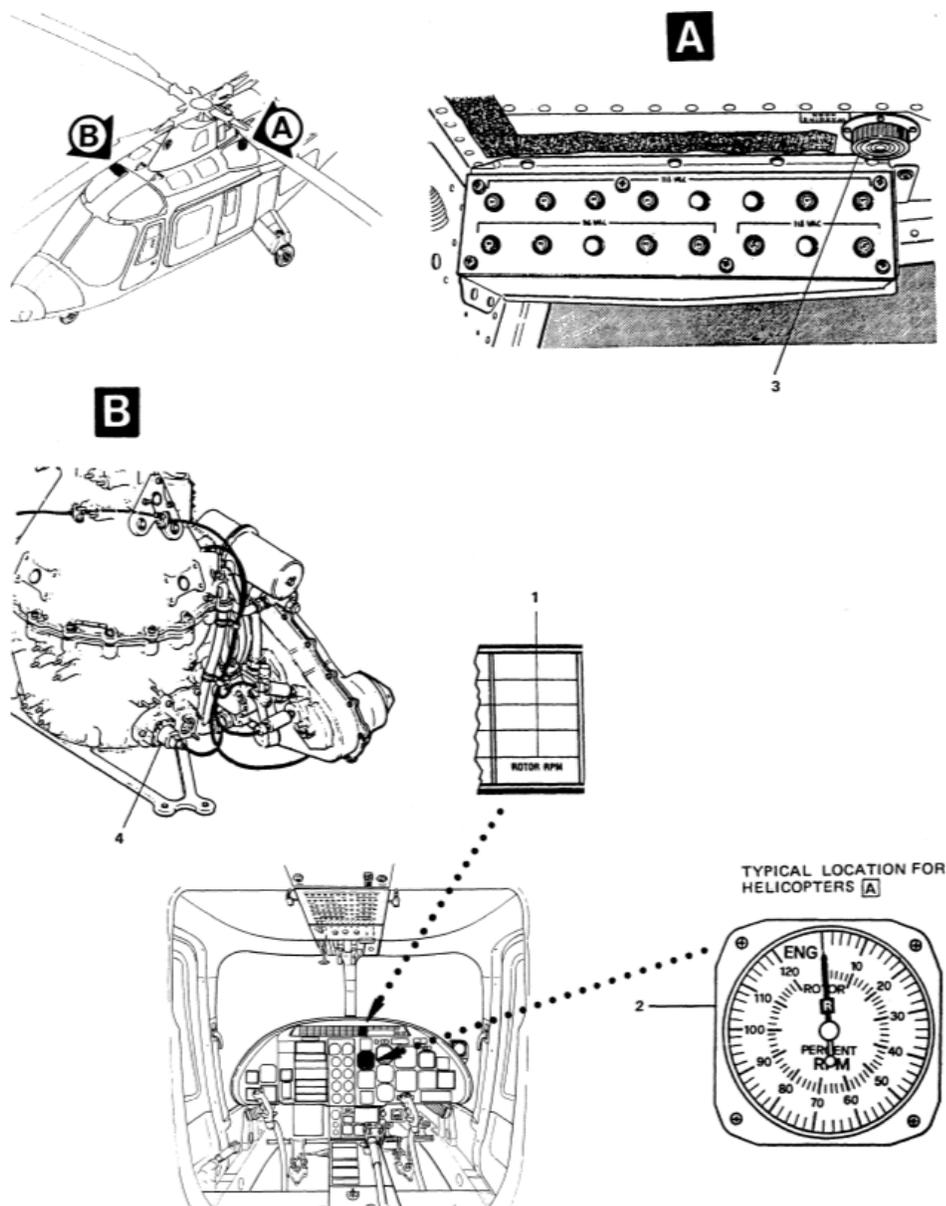
Nota. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Controles giratorios (rotating controls)

Los controles giratorios del rotor principal consisten en los enlaces de cambio de paso (19), las tijeras giratorias (24) y el plato oscilante y el conjunto de soporte (17), como se observa en la Figura 13.

Figura 13

Sistema de monitoreo del rotor principal



Nota. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Mantenimiento Aeronáutico

Generalidades del Mantenimiento Aeronáutico

El Mantenimiento Aeronáutico es el conjunto de tareas de mantenimiento realizadas por el usuario para mantener la funcionalidad del sistema durante su vida operativa. O, en otras palabras, son los trabajos requeridos (tareas de mantenimiento)

para asegurar el mantenimiento de la aeronavegabilidad¹ de las aeronaves, lo que incluye tareas como reparaciones, inspecciones, modificaciones, entre otras; dichas tareas se encontraran en la documentación técnica como se verá más adelante.

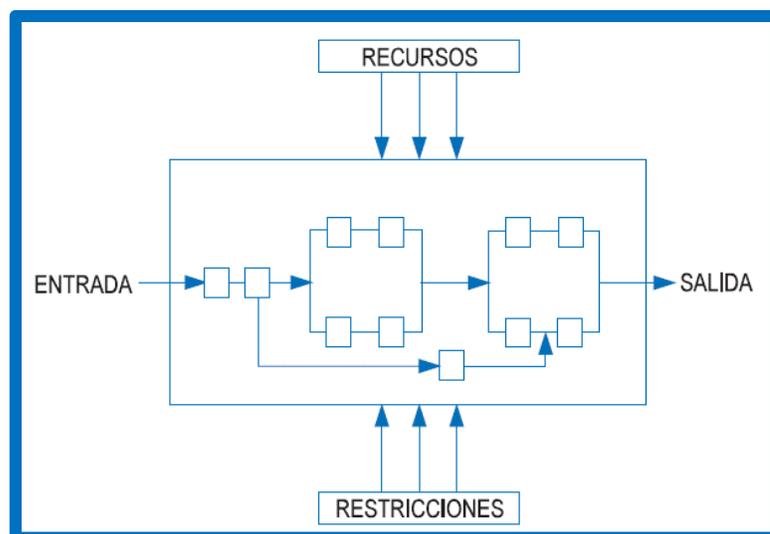
Proceso del Mantenimiento Aeronáutico. Para la entrada para el proceso de mantenimiento está constituida por la funcionabilidad de cualquier sistema humano, que deba ser conservada por el usuario, mientras que la salida del proceso consiste en el sistema funcionable. Por un lado, se tiene los recursos como son el abastecimiento, equipos de prueba y apoyo, personal, instalaciones, datos técnicos, recursos informáticos. Y por otro lado las restricciones como son el presupuesto, programación, tiempo disponible, reglamentaciones de seguridad, entorno, clima, lenguas extranjeras, cultura/costumbres tradicionales, etc.

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

Figura 15

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

Proceso del Mantenimiento Aeronáutico



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

Tareas de Mantenimiento. Una tarea de mantenimiento es el conjunto de actividades que debe realizar el usuario para mantener la funcionalidad del elemento o sistema. Las tareas de mantenimiento, y sus intervalos de aplicación son determinadas por el MPD², o si estuviese aprobado, por el programa de mantenimiento de la empresa.

Tipos de Mantenimiento Aeronáutico

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

² Maintenance Planing Data.

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

Figura 16

Componente con Vida Límite o Vencimiento



Nota. Tomado de (SKY GEEK, 2019).

Figura 17

Componente con Overhaul o Recorrida



Nota. Tomado de (Lufthansa Technik, 2019).

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

Figura 18

Componente On Condition



Nota. Tomado de (QANTAS, 2019).

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

Predictivo. Monitorea y analiza tendencias de falla. Se basa en la anticipación

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

Figura 19

Mantenimiento Predictivo



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

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

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

Figura 20

Mantenimiento Restaurativo



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

Documentación a utilizar en el Mantenimiento Aeronáutico

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

continuo proceso de actualización.

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

Documentación Operacional

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

Documentación Técnica

Proporciona los datos técnicos para permitir al operador mantener y reparar su avión asegurándole eficiencia y seguridad. Proporciona además toda la información relevante y las instrucciones referidas a: mantenimiento, programación y planificación del mantenimiento e inspecciones, herramientas y equipos de apoyo, etc.

La documentación técnica está estructurada de manera tal de acceder fácilmente a la información necesaria para realizar el proceso de mantenimiento, los temas vienen distribuidos de acuerdo a la Norma ATA 100. Básicamente consiste en

dividir al avión en cien partes (Capítulos), asignándole a cada una de ellas un número y un título. Cada capítulo describe un sistema del avión en particular, con todos los detalles acerca de cómo efectuar tareas sobre cada uno de sus componentes. La documentación técnica más utilizada se detalla a continuación.

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

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

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

SB (Service Bulletin). Es el documento emitido por el fabricante utilizado para transmitir a los operadores/usuarios información de modificaciones en el avión, motor o accesorios, inspecciones especiales requeridas para el mantenimiento

del avión, motor o accesorio en condiciones seguras de operación. Se publican con el propósito de solucionar una falla no detectada durante el proceso de diseño y que afecta la seguridad del vuelo, o para comunicar la adopción de medidas preventivas, por no conocerse hasta el momento de su publicación la factibilidad de ocurrencia de la falla, etc.

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

Medidas de seguridad en mantenimiento aeronáutico

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

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

medidas necesarias para realizar un mantenimiento de forma responsable y segura (Monar, 2022).

Figura 21

Equipo de protección personal



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

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

Figura 22

Indicación de peligro en el manual de mantenimiento

USA1



737-300/400/500
TASK CARDS

DATE	TAIL NUMBER	STATION	AIRLINE CARD NO.	BOEING CARD NO. 28-014-21-01	MECH	INSP
TASK 28-14-21-206-001 1. Check of the Internal Bonding of the Fuel Cell Fittings ("Fingernail Test") A. Bonding check preparation SUBTASK 28-14-21-046-037 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;">  <p>WARNING CAREFULLY DO ALL OF THE PROCEDURES TO PREPARE TO GO INTO THE AUXILIARY FUEL TANK. AN EXPLOSION, BAD INJURY TO PERSONS, AND DAMAGE TO EQUIPMENT CAN OCCUR.</p> </div> <p>(1) Prepare to go into the the auxiliary fuel tank (AMM PAGEBLOCK 28-10-00/201). SUBTASK 28-14-21-016-003 (2) Get access to the fuel cell.</p>						

Nota. Tomado de (Boeing Company, 2018).

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 (Monar, 2022).

Capítulo III

Desarrollo del tema

Descripción general

En el presente capítulo se detalla los procedimientos realizados en la inspección de 300 horas del rotor principal del helicóptero A109 K2, de acuerdo a la tarea de mantenimiento tarea de mantenimiento 05-50-01 numeral 17a del manual de mantenimiento según las especificaciones del fabricante. Se busca comprender el funcionamiento del sistema del rotor principal, y verificar la importancia que cumple en el helicóptero.

Antes de realizar la inspección, se debe contar con todos los recursos para llevar a cabo la tarea de mantenimiento, como es la documentación técnica, equipos de apoyo y herramientas necesarias; de esa manera se asegura la realización correcta de las tareas descritas en cada uno de los manuales, se debe también poseer el respectivo equipo de protección personal para evitar cualquier contratiempo. Para la realización de este proyecto se contó con el apoyo de la empresa Aeromaster ubicada en la ciudad de Quito del cantón Pichincha, y todo el personal de mantenimiento relacionado con la inspección a realizarse.

Preparación del área de trabajo

Antes de proceder a la inspección se debe verificar que el aérea en donde se va a realizar el trabajo se encuentre en buenas condiciones y limpio, para así garantizar una buena práctica. Además, se debe tener a disposición los materiales y herramientas y equipos de apoyo necesarios (Monar, 2022).

Figura 23

Área de trabajo



Nota. En la figura se observa un área de trabajo adecuada para la realización de mantenimiento aeronáutico del rotor principal del helicóptero A109 K2.

Información técnica

Antes de iniciar el trabajo es necesario recopilar toda la información técnica necesaria para realizar la inspección, como el manual de mantenimiento, catálogo ilustrado de partes, entre otros. Toda esta documentación debe estar actualizada y aplicable al helicóptero A109 K2.

Figura 24

Información técnica

SECTION 12-20

SCHEDULED SERVICING

12-20-1. SCHEDULED SERVICING DIAGRAM

The helicopter servicing points are shown in [figure 12-1](#).
For the scheduled servicing intervals refer to Section 05-70.

12-20-2. SCHEDULED LUBRICATION

12-20-3. LUBRICATION CHART

The helicopter components to be lubricated are illustrated in [figure 12-2](#). The lubrication intervals are written in Section 05-70 if the helicopter should operate in adverse environmental conditions it should be necessary to reduce the lubrication intervals.

For the lists of Lubricating Products and Lubricants refer to tables [12-8](#) and [12-9](#).

Table 12-7. Lubricating products

REF (FIG 12-2)	COMPONENT TO LUBRICATE	NO OF LUBRICATING POINTS	PRODUCT SPECIFICATION	SYMBOL	NOTES
1	Swashplate	2	MIL-G-25537 or MIL-G-81322	G-366/G-395	[1][3]
2	Cyclic and collective servo actuators	6	MIL-G-25537 or MIL-G-81322	G-366/G-395	[1]
3	Main rotor grips	4	MIL-G-81322	G-395	[1][2]
4	Tail rotor drive shaft bearing	7	MIL-G-21164G	G-353	[1][4]
5	Duplex bearing P/N 109-0135-05-101 tail rotor pitch change mechanism	2	MIL-G-81322	G-395	[1]

Nota. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Herramientas

Las herramientas contribuyen al mecánico de mantenimiento a realizar las actividades deseadas con mayor facilidad, por lo tanto, deben estar en perfectas condiciones y calibradas con la finalidad de que las herramientas de precisión realicen su función respectiva. Para realizar la inspección de 300 horas del rotor principal del helicóptero es necesario contar con: Juego de llaves, Torquímetro, Juego de copas, Rachas, Entorchador, Juego de destornilladores, etc.

Figura 25

Herramientas



Nota. Tomado de (TMAS Aviación, 2022).

Procedimientos antes de la inspección

Se realiza una limpieza general de la aeronave con finalidad de eliminar la suciedad y grasas en las superficies en las cercanías donde se va a realizar el trabajo. Esta limpieza, es aprovechada para verificar si existe alguna fisura o daño en algún componente o la estructura del helicóptero. Además, es necesario llevar a cabo una revisión de cada uno de estos ítems antes de la inspección, con la finalidad de comprobar y/o verificar si se cuenta con toda la herramientas o material necesarios.

Figura 26

Procedimientos antes de la inspección

SECTION 05-50	
UNSCHEDULED MAINTENANCE CHECKS	
05-50-1. SPECIAL INSPECTIONS	
Date	
Signature	
Helicopter Registration No.	
Helicopter Hours	
INITIAL EACH ITEM AFTER ACCOMPLISHMENT	INITIAL
1. GENERAL	
a. Perform applicable optional equipment special inspections in accordance with Section 05-60.
2. PRIOR TO THE FIRST FLIGHT OF THE DAY	
a. MAIN AND TAIL ROTOR BLADES (only when protective tape is installed on leading edge)	
1) Inspect the tape for proper adhesion, condition, wrinkles, lifting or breaking at the edges.
3. BETWEEN 5 AND 10 HOURS OF FLIGHT WHEN AIRCRAFT IS NEW OR AFTER REINSTALLATION OF THE FOLLOWING COMPONENTS:	
NOTE: If incorrect torque is found, recheck within next 5 to 10 hours of flight.	
a. MAIN ROTOR	
1) Main rotor hub ring nut bolts for correct torque. Ref. to para 62-20-8.
b. MAIN TRANSMISSION	
1) Upper case attachment nuts for correct torque. Ref. to para 63-21-18.

Nota. En la figura se observa la revisión de cada uno de estos ítems antes de la inspección. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

El propósito de la inspección de 300 horas o de 12 meses del rotor principal del helicóptero A109 K2, es realizar la prueba de fugas de los amortiguadores e inspeccionar las palas y los bujes, por condición y en busca de corrosión. Es necesario inspeccionar el área de contacto entre las palas y los bujes por condición y verificar el estado de los componentes de sujeción como arandelas y los pernos. Dicha inspección forma parte de los chequeos de mantenimiento no programados de la aeronave.

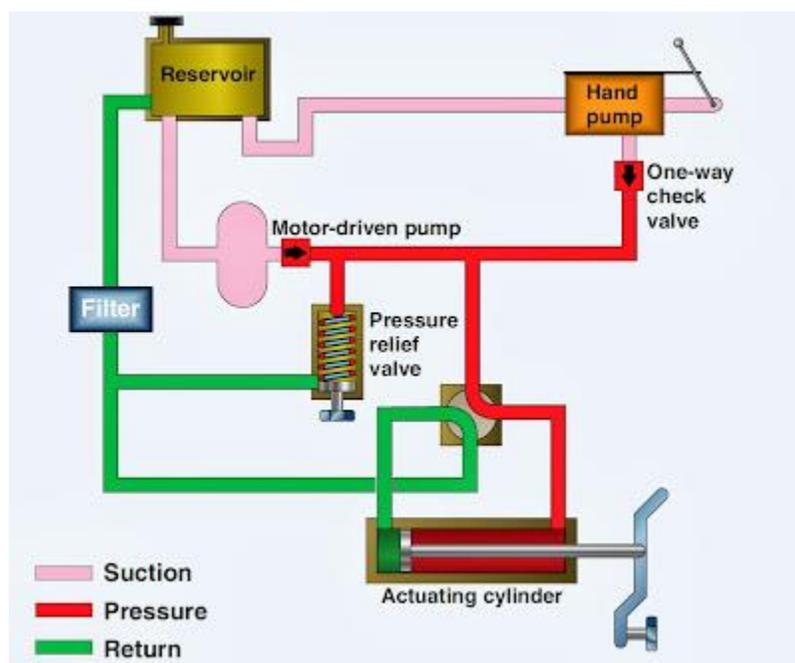
Implementación del banco de pruebas necesario para la revisión de fugas

Para realizar la prueba de fugas de los amortiguadores (dampers) del rotor principal del helicóptero, es necesario contar con un conjunto de servicio de fluido hidráulico accionado por una bomba manual (banco de pruebas). El mismo que fue confeccionado a partir de los elementos principales requeridos por un sistema hidráulico básico como se observa en la Figura 27.

Independientemente de su función y diseño, todo sistema hidráulico tiene un número mínimo de componentes básicos además de un medio a través del cual se transmite el fluido. Un sistema básico consta de una bomba, un depósito, una válvula direccional, una válvula de retención, una válvula de alivio de presión, una válvula selectora, un actuador y un filtro.

Figura 27

Sistema hidráulico básico accionado por bomba manual



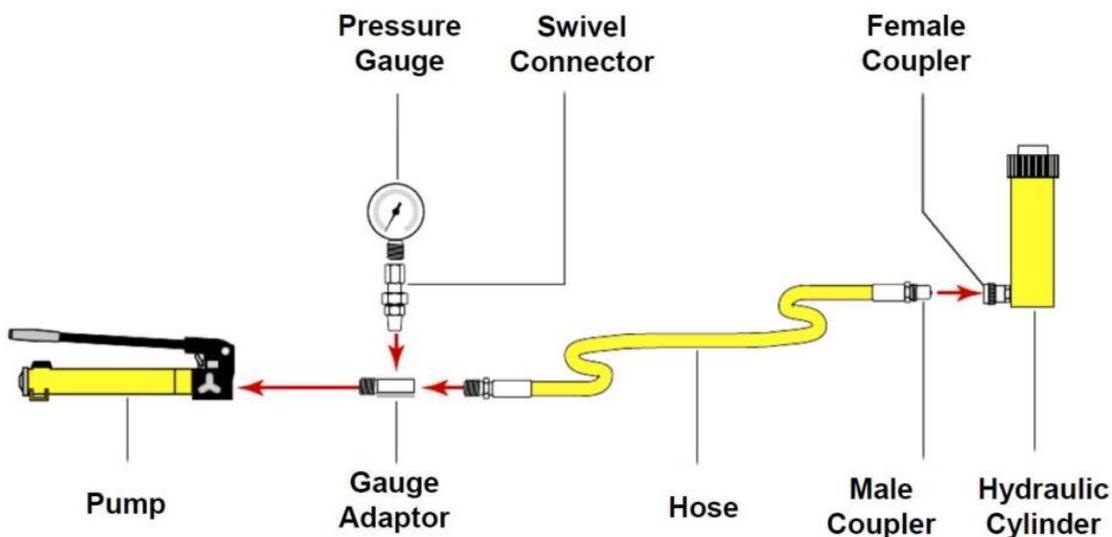
Nota. En la figura se observa un sistema hidráulico básico accionado por bomba manual.

Tomado de (Flight-Mechanic, 2022).

Hay muchas configuraciones posibles, por lo que la elección de los diferentes componentes correctos para el banco de pruebas se debe hacer con cuidado para garantizar un resultado seguro y exitoso. El banco de pruebas para el servicio de fluido hidráulico fue construido con los elementos indicados en la Figura 28, donde se muestra un sistema hidráulico muy simple.

Figura 28

Diagrama del banco de pruebas para el servicio de fluido hidráulico



Nota. En la figura se observa un sistema hidráulico muy simple y adecuado para realizar la verificación de fugas. Tomado de (ENERPAC, 2022).

Como se observa en la Figura 28, el banco de pruebas cuenta con elementos básico para su correcto funcionamiento como son: una bomba manual (pump), un medidor de presión (pressure gauge), un adaptador para el medidor (gauge adaptor), varias cañerías (hose), acopladores (coupler) y un cilindro hidráulico (hydraulic cylinder). La bomba manual (ver Figura 29) permite proporcionar la presión necesaria al sistema, la misma que es transmitida por los diferentes componentes al cilindro hidráulico (ver Figura 30), el mismo que ejerce la fuerza lineal necesaria al fluido. La cantidad de

fuerza que ejerce el sistema está determinada por la capacidad del cilindro, por ende, se deberá hacer una elección adecuada según los requerimientos establecidos para la detección de las fugas en los amortiguadores del rotor principal del helicóptero, mediante el banco de pruebas confeccionado (ver Figura 31).

Figura 29

Bomba manual (pump)



Nota. Tomado de (ENERPAC, 2022).

Figura 30

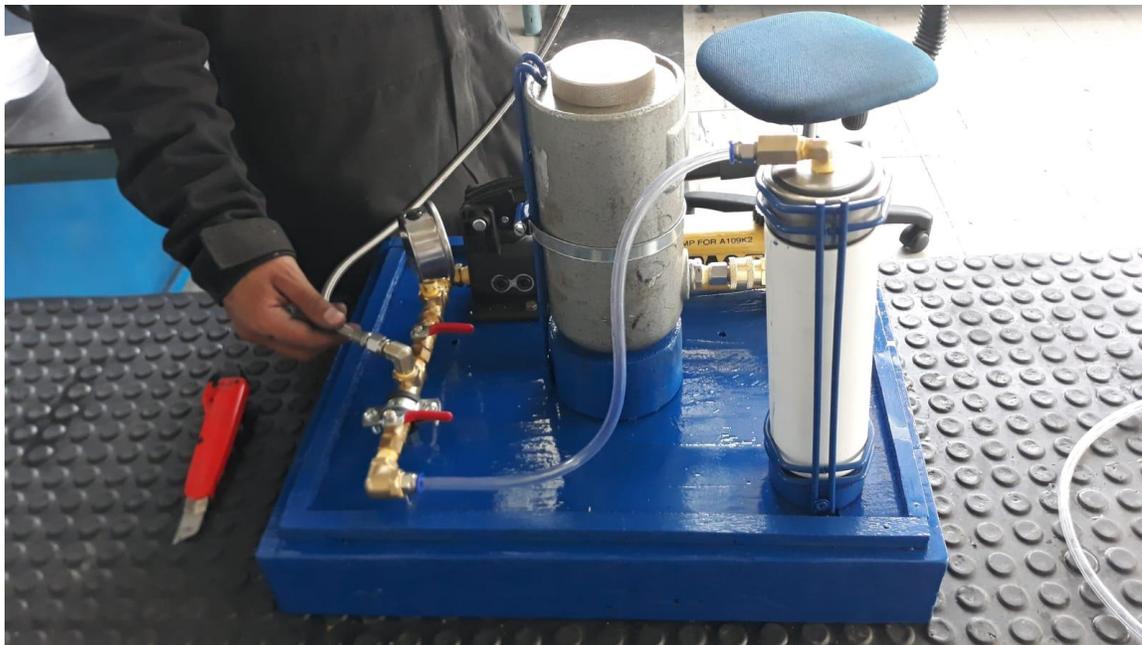
Cilindro hidráulico (hydraulic cylinder)



Nota. Tomado de (ENERPAC, 2022).

Figura 31

Banco de pruebas para la revisión de fugas



Nota. En la figura se observa el banco de pruebas necesario para la revisión de fugas en los amortiguadores del rotor principal de la aeronave.

Inspección de 300 horas – prueba de fugas de los amortiguadores

Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal de la inspección de 300 horas del rotor principal del helicóptero A109 K2, es realizar la prueba de fugas de los amortiguadores, para lo cual es necesario seguir el procedimiento determinado en los ítems de inspección indicado por el fabricante en el manual de mantenimiento.

Condiciones preliminares

Las condiciones requeridas para realizar la prueba de fugas consisten en primer lugar asegurar la aeronave para realizar un correcto mantenimiento (ver Figura 32), y quitar el cobertor de la cabeza del rotor principal como se observa en la Figura 33 y 34. Además, es necesario contar con el banco de pruebas como se detalló anteriormente.

Figura 32

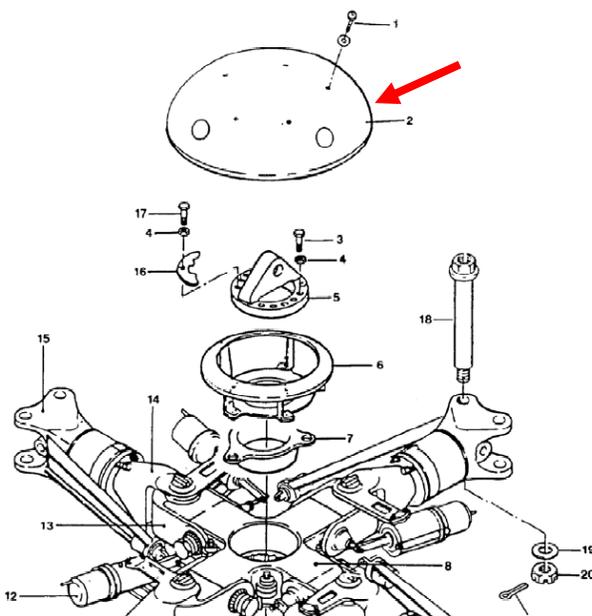
Aseguramiento de la aeronave



Nota. Helicóptero A109 K2, para realizar la inspección de 300 horas del rotor principal.

Figura 33

Desmontaje de la cabeza del rotor principal_1

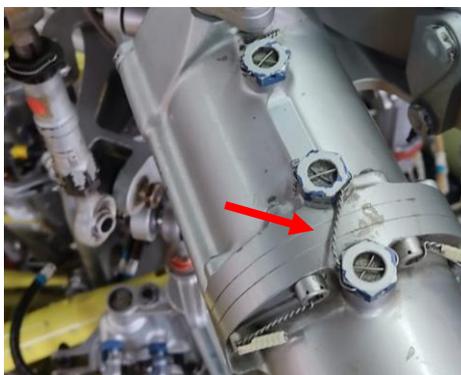


Nota. En la figura se observa el desmontaje de la cabeza del rotor principal, necesario para la prueba de fugas. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Figura 34*Desmontaje de la cabeza del rotor principal_2*

Nota. En la figura se observa el desmontaje de la cabeza del rotor principal del helicóptero A109 K2.

Los materiales consumibles necesarios para esta tarea son líquido hidráulico (MIL-PRF-5606) y alambre de seguridad (MS20995C20). Hay que tener en cuenta el enrutamiento del alambre para permitir la reinstalación correcta de los componentes.

Figura 35*Enrutamiento alambre de seguridad*

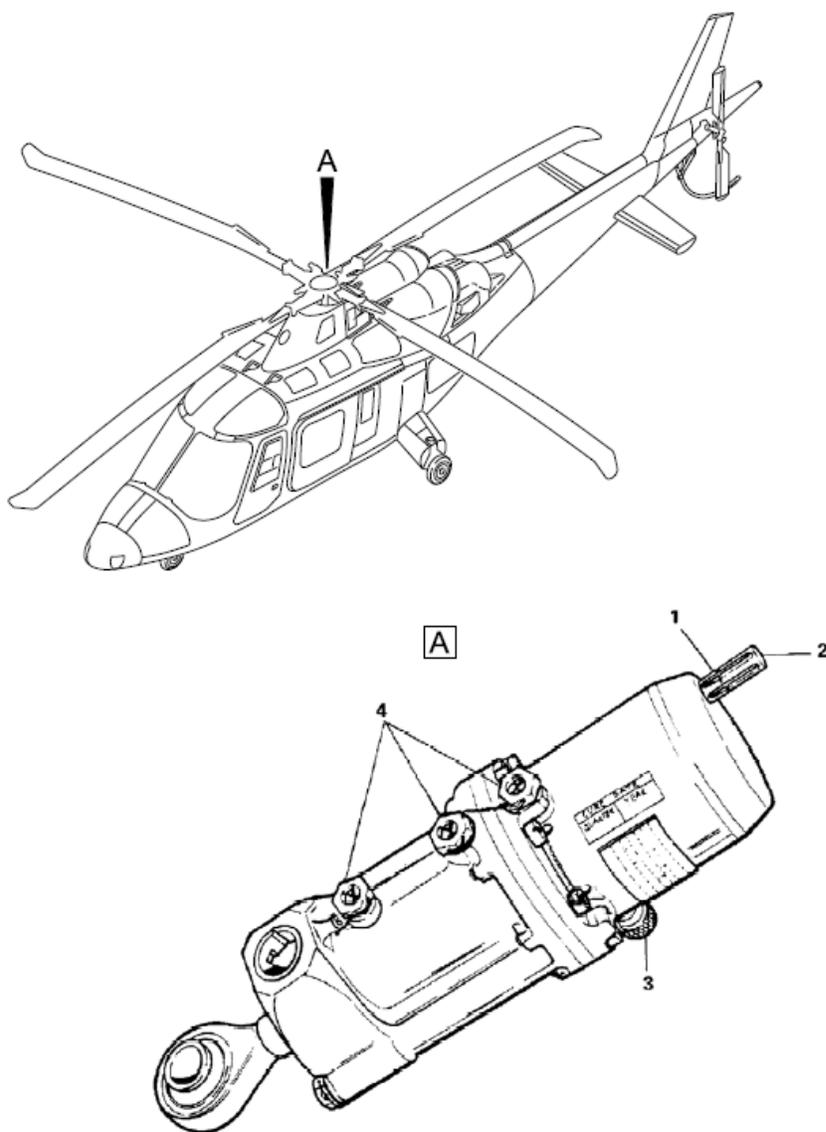
Nota. En la figura se observa el enrutamiento del alambre para permitir una posterior instalación de los componentes.

Procedimiento

En primer lugar, se debe cortar el alambre de seguridad de los tapones de purga (ítem 4, Figura 36) y la tapa de la válvula de carga (ítem 3, Figura 36).

Figura 36

Mantenimiento de los amortiguadores del rotor principal



Nota. En la figura se observa los amortiguadores del rotor principal. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Figura 37

Corte de los alambres de seguridad



Nota. En la figura se observa los alambres de seguridad de los amortiguadores, los mismos que deben ser cortados para proceder a su desmontaje.

Una vez que se han cortado todos los alambres de seguridad, se procede al desmontaje de los cuatro amortiguadores del rotor principal del helicóptero, utilizando las herramientas adecuadas y con las medidas de precaución necesarias como se observa en la Figura 38, 39 y 40.

Figura 38

Desmontaje de los amortiguadores del rotor principal_1



Nota. En la figura se observa el desmontaje de los amortiguadores del rotor principal del helicóptero con una racha y copa.

Figura 39*Desmontaje de los amortiguadores del rotor principal_2*

Nota. En la figura se observa el desmontaje de los amortiguadores del rotor principal del helicóptero con una llave.

Figura 40*Desmontaje de los amortiguadores del rotor principal_3*

Nota. En la figura se observa el desmontaje de los cuatro amortiguadores del rotor principal del helicóptero para poder realizar el test de fugas de los mismos.

Una vez desmontados los amortiguadores, se debe conectar individualmente en el banco de pruebas confeccionado anteriormente, específicamente en la válvula de carga, y se debe purgar la cañería de suministro (ver Figura 41).

Figura 41

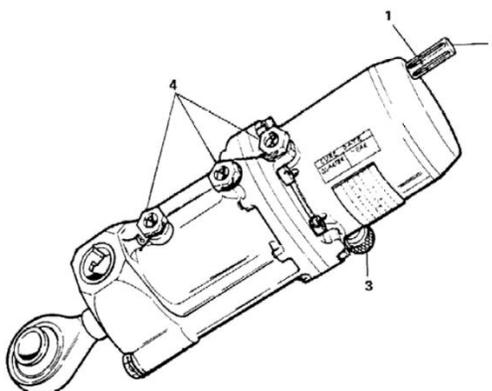
Cañería de suministro del banco de prueba



Nota. En la figura se observa la cañería de suministro del banco de prueba, la misma que debe ser purgada.

Figura 42

Nomenclatura de cada amortiguador



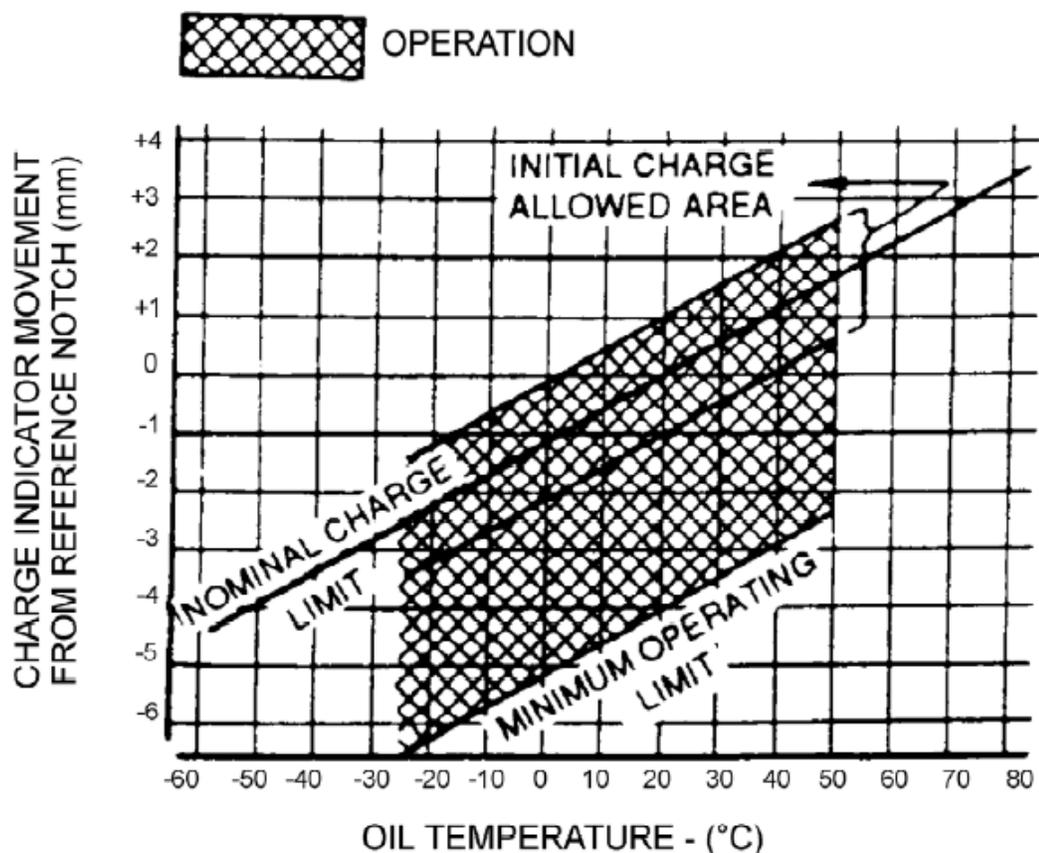
Nota. En la figura se observa la nomenclatura de cada amortiguador: (1) marcas de referencia, (2) indicador de carga, (3) válvula de carga y (4) tapas de purga. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Una vez conectado el amortiguador, se coloca el vástago del amortiguador en la posición completamente retraída. Para luego bombear y purgar a fondo el amortiguador en cada una de las tres tapas de purga (ítem 4 Figura 42) desde el exterior hacia el interior de la siguiente manera:

- Desenroscar suavemente el tapón y permitir que la presión interna purgue el fluido hasta que el indicador de carga se retraiga por completo. Abrir la válvula de carga aflojándola una o dos vueltas. Retirar el tapón por completo y bombear constantemente (aproximadamente 1/2 litro) hasta que se observe una corriente libre de aire. Durante este proceso, se pueden ver pequeños restos contaminantes, por ende, se debe seguir purgando hasta que el fluido esté limpio, brillante y sin contaminantes.
- Volver a colocar el tapón y continuar bombeando mientras se enrosca el tapón hasta que se extienda el indicador de carga.
- Repetir el procedimiento anterior en los otros dos tapones indicados en la Figura 42.
- Liberar lentamente la presión hasta que la parte superior del indicador de carga esté alineada con la muesca de referencia con aceite a 20°C como se indica en la Figura 43. Se debe comprobar que la presión no sea inferior a 1.9 kg/cm² (27 psi).
- Desconectar la cañería de suministro y apretar la válvula de carga con un torque de 12.7 a 14.7 Nm.
- Luego instalar la tapa de la válvula de carga, y colocar alambre de seguridad para evitar que se aflojen en operación por vibración.

Figura 43

Diagrama de servicio de los amortiguadores



Nota. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Para realizar la prueba de fugas de los amortiguadores, se debe reponer el fluido y purgar como se describió anteriormente, pero presurizando el amortiguador a 35 kg/cm² (500 psi) (ver Figura 44); bloqueando la válvula de carga. Luego se deberá esperar 12 horas (durante la noche) y se verificará si existen fugas y protuberancias en el indicador de reducción de carga (ver Figura 45), si el indicador de carga está retraído se debe reemplazar el amortiguador. Si la verificación resulta satisfactoria, se purga el exceso de presión a través de la válvula de carga y se coloca el indicador de carga en la extensión adecuada. Finalmente se vuelve a instalar la tapa de la válvula de carga con alambre de seguridad.

Figura 44

Presurización del amortiguador a 500 psi



Nota. En la figura se observa una presión de 500 psi dentro del amortiguador.

Figura 45

Indicador de carga



Nota. En la figura se observa las marcas de referencia en el indicador de reducción de carga del amortiguador.

Inspección de 300 horas – condición de palas y bujes del rotor principal

La inspección de 300 horas de la aeronave, también incluye una revisión del estado de las palas y los bujes, por condición y en busca de signos de corrosión. Es así que como se mencionó anteriormente, es primordial inspeccionar el área de contacto entre las palas y los bujes y verificar el estado de los componentes de sujeción como arandelas y los pernos.

Figura 46

Inspección visual y limpieza de las palas y elementos de sujeción



Nota. En la figura se observa las palas y elementos de sujeción del rotor principal, los cuales es necesario realizar una inspección y limpieza.

En primer lugar, se realizó una inspección visual acompañada de una limpieza de las palas y elementos de sujeción del rotor principal como se observa en la Figura 46. La limpieza es de primordial importancia en la prevención de la corrosión; el material contaminante, como productos químicos, grasas, fluidos, etc., en contacto con una superficie pintada o metálica proporciona áreas activas para el deterioro y el ataque de corrosión. La extensión del daño depende de la naturaleza del contaminante, la superficie en cuestión y el tiempo que permanecen en contacto. Por lo tanto, cuanto

más frecuentemente se limpie una superficie, menor será la probabilidad de que se inicie un ataque corrosivo. La frecuencia de limpieza debe ser consistente con la naturaleza de la contaminación presente y el entorno operativo (LEONARDO, 2022).

Límites de inspección y reparación

La inspección de los límites de las palas no requiere el desmontaje de las mismas del helicóptero. Las palas con daños superiores a los límites establecidos deben ser retiradas del servicio, y deben ser inspeccionadas de acuerdo con los procedimientos y requisitos que indica el fabricante. Para la inspección de los límites establecidos en las palas del rotor principal, se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Preparar el helicóptero para un mantenimiento seguro, siguiendo las normas establecidas.
- Con una lupa, inspeccionar el cordón de soldadura en el borde delantero de la punta de cada pala, en busca de grietas o daños. Si se encuentra la presencia de grietas y/o daños, se debe retirar de servicio la pala del rotor principal.
- En caso de dudas sobre la presencia de grietas y/o daños, se puede utilizar el método de tintas penetrante, para detectar la presencia de grietas

Daños no reparables

La presencia de agua en el núcleo de la pala, acumulación total de horas máximas de funcionamiento, cualquier daño que penetre a través del larguero de la pala y alguna evidencia de deformación de la pala; son motivos suficientes para que la pala sea rechazada y se proceda a la instalación de una nueva.

Daños en componentes metálicos

Abolladuras suaves

Se permiten abolladuras con una profundidad máxima de 0.7 mm y un área

máxima de 1 cm². La distancia mínima entre dos abolladuras debe ser de 200 mm. En la punta de la pala se permite un máximo de una abolladura por lado (superior e inferior).

Abolladuras agudas

Se permiten abolladuras con una profundidad máxima de 0.25 mm y un área máxima de 0.5 cm². La profundidad máxima de reparación es de 0.35 mm. La distancia mínima entre dos abolladuras es de 200 mm. En la punta de la se permite un máximo de una abolladura por lado (lado superior e inferior).

Muecas y rasguños

Se permiten muescas y rayones en partes metálicas con una profundidad máxima de 0.1 mm. El exceso de daño debe pulirse hasta que el daño se haya difuminado por completo. La profundidad máxima de reparación es de 0.15 mm. La superficie máxima de reparación es de 4 cm².

Ondulaciones

Se permite el ondulado superficial tanto en profundidad como en altura con una dimensión máxima de 0.15 mm siempre que el defecto sea de carácter constructivo y no producido por una operación accidental. La distancia mínima entre dos ondas es de 1000 mm.

Delaminaciones

Las delaminaciones se definen como capas despegadas de un componente y se caracterizan por la extensión de la superficie y las dimensiones a lo largo y a lo ancho de la pala. Los casos comunes de delaminaciones son el pulido del borde de salida de la pala.

Poros de adhesión

El término se utiliza para referirse a la falta de adherencia entre los componentes

por cualquier motivo, por ejemplo: presencia de material extraño entre la superficie y el adhesivo, bolsas de aire, falta de adhesivo, etc. Se debe verificar que no haya huecos en todas las áreas unidas de la pala, golpeando ligeramente la superficie de la pala con martillos especiales.

Figura 47

Falta de adherencia entre los componentes



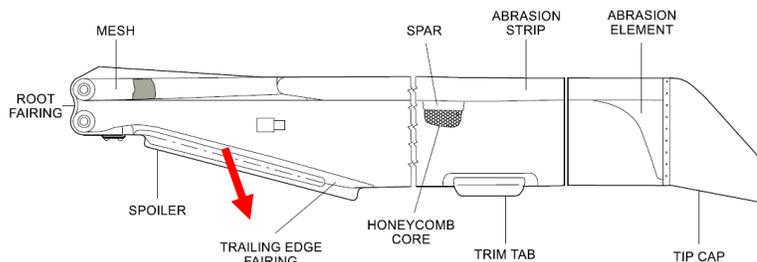
Nota. En la figura se observa la verificación de falta de adherencia entre los componentes de las palas.

Daños en los carenados de la raíz y de borde de salida

Se deberán reparar los carenados rotos, perforados y abollados, siempre que queden englobados en un área con un diámetro máximo de 25.4 mm, según los procedimientos indicados por el fabricante (ver Figura 48). Cuando se superen los límites, deberán ser reemplazados.

Figura 48

Daños en los carenados de la raíz y de borde de salida



Nota. En la figura se observa la verificación de daños en los carenados de la raíz y de borde de salida de las palas.

Arandelas de raíz de las palas

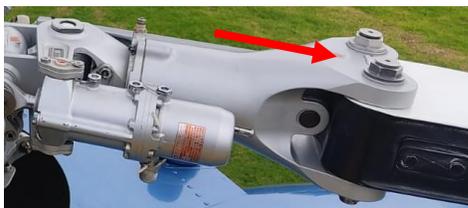
Se debe inspeccionar las arandelas en la raíz de cada pala, para comprobar su desgaste. Estos daños son aceptables si la reducción máxima del espesor no excede de 0.1 mm para cada arandela. Las arandelas deben ser sustituidas si los daños comprometen su integridad.

Bujes de la raíz de la pala

El desgaste de los bujes debe ser inspeccionado considerando el diámetro mínimo interior del buje de 30.000 mm y el máximo de 30.030 mm. Debe ser sustituido cuando el diámetro alcance 30.09 mm.

Figura 49

Bujes de la raíz de la pala



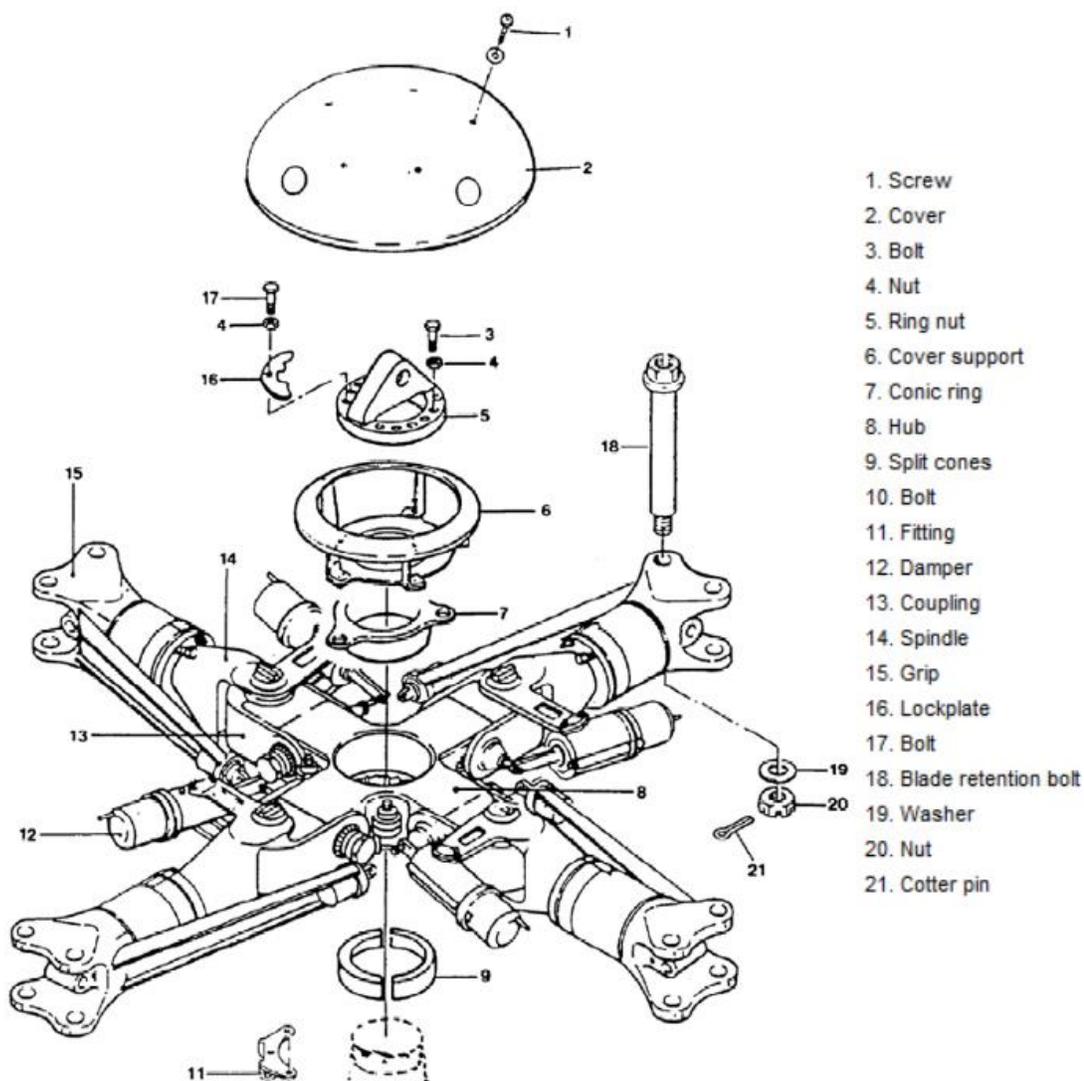
Nota. En la figura se observa los bujes de la raíz de la pala, en los cuales se debe verificar que el diámetro se encuentre dentro de los límites estipulados por el fabricante.

Pruebas operacionales del rotor principal

Una vez realizada la inspección de 300 horas o de 12 meses del rotor principal del helicóptero A109 K2, la misma que comprende la prueba de fugas de los amortiguadores, y la inspección de palas y bujes por condición. Se llevó a cabo la instalación de todos los componentes removidos como se indica en la Figura 50.

Figura 50

Instalación de los componentes removidos del rotor principal



Nota. Tomado de (LEONARDO S.p.A., 2020).

Por último, se realizaron pruebas operacionales del rotor principal, verificando que el rotor gire a las RPM adecuadas, y proporcione todos los parámetros correctos dentro de sus límites de operación.

Figura 51

Pruebas operacionales del rotor principal



Nota. En la figura se observa la correcta operación del rotor principal, el mismo que proporcionó los parámetros adecuados dentro de los límites estipulados por el manual de mantenimiento.

Capítulo IV

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- La información técnica disponible, facilitó la interpretación de los procedimientos necesarios para para la inspección del rotor principal según el manual de mantenimiento del helicóptero A109K2.
- Para la realización de un correcto mantenimiento al rotor principal del helicóptero, fue necesario implementar un banco de pruebas para la revisión de fugas de los amortiguadores (dampers) y poder cumplir así con la inspección de 300 horas del rotor principal. Dicho banco de pruebas cumplió con las especificaciones necesarias determinadas por el manual del fabricante de la aeronave, a la hora de detectar las fugas en los amortiguadores.
- La inspección de 300 horas del rotor principal del helicóptero A109K2, fue ejecutada de manera adecuada, en base a los ítems de inspección señalados en el manual de mantenimiento del fabricante de la aeronave, específicamente en la tarea de mantenimiento 05-50-01 numeral 17a.
- Una vez realizada la inspección, se procedió a la correcta instalación de todos los componentes removidos, verificando los diferentes parámetros de instalación; y así poder realizar las diferentes pruebas operacionales del rotor principal una vez que se ha realizado la inspección de 300 horas.

Recomendaciones

- Utilizar siempre la documentación técnica aplicable y actualizada al componente y al trabajo de mantenimiento que se realice, para garantizar así el correcto funcionamiento del rotor principal de la aeronave.
- Las herramientas a utilizar en cualquier trabajo de mantenimiento deben estar en buenas condiciones y los equipos deben estar calibrados, para evitar tener cualquier tipo de inconveniente en algún componente del motor o de la aeronave.
- Se recomienda a la universidad, brindar todas las facilidades para el uso del material didáctico disponible para los estudiantes, como los aviones escuela, motores, estructuras, entre otros. Además, se debería invertir en la construcción de hangares o áreas de trabajo para las aeronaves y/o componentes que en la actualidad se encuentran deteriorándose sin ninguna protección.

Glosario

A

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

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

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

B

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

C

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

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

Chequeo: Comprobación de un componente o un sistema.

D

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

E

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

F

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

G

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

H

Hélice: Dispositivo impulsor de una aeronave que posee palas sobre un eje impulsado por un motor que cuando rota produce por su acción en el aire un empuje aproximadamente perpendicular a su plano de rotación y el cual incluye componentes de control normalmente suministrados por el fabricante, pero no incluye los rotores principales y auxiliares o planos aerodinámicos giratorios del motor.

I

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

Inspección: Revisar, evaluar mediante la vista o equipo.

L

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

M

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.

Motor: Motor empleado o cuya intención es impulsar una aeronave. Incluye turbo, sobrealimentadores, componentes y accesorios necesarios para su funcionamiento excluyendo las hélices.

O

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

P

Preservar: Proteger de algún daño un componente.

Procedimiento: Conjunto de acciones para cumplir la tarea.

R

Reparación: Restitución de un componente o aeronave.

Rotor principal: Parte rotatoria del helicóptero proporciona la sustentación.

T

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

V

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

Velocidad crucero: Velocidad constante en la que una aeronave se desplaza en condiciones normales.

Abreviaturas

A

AMM: Manual de mantenimiento de la aeronave.

AD: Directiva de aeronavegabilidad.

B

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

C

CCM: Manual de Mantenimiento de Componentes.

CDL: Lista de desviaciones respecto a la configuración

D

DGAC: Dirección General de Aviación Civil.

E

ELT: Transmisor de localización de emergencia.

F

FAA: Administración Federal de Aviación de los EEUU.

FAR: Federal Aviation Regulations.

FT: Pies.

G

GAL: Galón.

H

HRS: Horas.

HP: Caballos fuerza.

I

ICAO: Organización de Aviación Civil Internacional.

IFR: Reglas de Vuelo por Instrumentos.

IN: Pulgadas.

K

KT: Nudos.

M

MMEL: Lista Maestra de Equipo Mínimo.

MM: Manual de Mantenimiento.

P

POH: Manual de Operación del Piloto.

R

RDAC: Regulaciones de Aviación Civil.

S

STC: Certificado Tipo Suplementario.

T

TC: Certificado Tipo.

V

VFR: Reglas de Vuelo Visual.

Bibliografía

- Advisory Circular AC 43.13-1B. (1998).
- AERODINAMICA F1. (2019). *Perfiles aerodinámicos*.
- Aerospace, C. (2011). *Overhaul Manual*. South Carolina: Liberty.
- AGUSTA. (1994). *A109K2 AIRFRAME MAINTENANCE*.
- AIRWAYS. (2021). *Aniversarios Agusta A109 Power*.
- AMILARG. (2013). Obtenido de <http://www.amilarg.com.ar/hawker-125-400.html>
- BANYAN. (2020). Obtenido de <https://www.banyanair.com/aircraft-structural-repairs/>
- EL MAQUINANTE. (2019). Obtenido de <https://elmaquinante.blogspot.com/2019/02/turborreactores-introduccion.html>
- ENERPAC. (2022). *Hydraulic System*. Obtenido de <https://blog.enerpac.com/>
- ESTEBAN, O. (2019). *Conocimientos del avión*. España: Paraninfo.
- Flight-Mechanic. (2022). *HYDRAULIC AND PNEUMATIC POWER SYSTEMS*. Obtenido de <https://www.flight-mechanic.com/>
- Hmong. (2012). *AgustaWestland AW109*.
- Knezevic, J. (1996). *MANTENIMIENTO*.
- LEONARDO. (2022). *Innovation & technology*.
- LEONARDO S.p.A. (2020). *A109K2 IETP*.
- LLC, S. B. (2022). *Building Systems*. Obtenido de <https://www.steelmasterestructuras.com/>
- Lufthansa Technik. (2019). Obtenido de <https://www.lufthansa-technik.com/landing-gears>
- Monar. (2022). *Inspección de 200 horas mediante los ítems de inspección señalados en el manual de la aeronave Cessna T206H del Grupo de Aviación del Ejército No.*

44 "Pastaza".

Phase One Flight Testing. (2008). Obtenido de <http://mybearhawk.com/flying/first4.html>

QANTAS. (2019). Obtenido de <https://www.qantasnewsroom.com.au/roo-tales/a-wheely-big-job/>

SKREATIONS. (2019). *Aprendamos Aviación*.

SKY GEEK. (2019). Obtenido de <https://www.skygeek.com/kannad-406-af-compact-406-mhz-emergency-locator-transmitter.html>

SRSEGURIDAD. (2021). *Señor Seguridad*. Obtenido de <https://srseguridad.com/>

TECSUP. (2022). *Aviónica y Mecánica Aeronáutica*.

TMAS Aviación. (2022). *Divulgación Aeronáutica*. Obtenido de <https://www.tmas.es>

Anexos