



Inspección de 100 horas del motor Makila 1A, de acuerdo con la documentación técnica aplicable del manual de mantenimiento del helicóptero AS 332 SUPER PUMA, perteneciente a la Brigada de Aviación del Ejército N° 15 “Paquisha”

Erazo Armas, Christian Geovanny

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Monografía, previo a la obtención de título de Tecnólogo en Mecánica Aeronáutica

Tlgo. Arévalo Rodríguez, Esteban Andrés

22 de febrero de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

Document Information

Analyzed document	TESIS ERAZO CHRISTIAN.pdf (D171756780)
Submitted	2023-07-04 18:41:00
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	MONOGRAFIA BARRIONUEVO GUSTAVO .pdf Document MONOGRAFIA BARRIONUEVO GUSTAVO .pdf (D98836658)		6
SA	35995-Jara Iturry, Abel Bernardo .pdf Document 35995-Jara Iturry, Abel Bernardo_.pdf (D120353047)		1
SA	DOICELA-CUYO-GUIDO-FABIAN.pdf Document DOICELA-CUYO-GUIDO-FABIAN.pdf (D62831530)		1
SA	TESIS CHUQUIMARCA 2019 tutores.pdf Document TESIS CHUQUIMARCA 2019 tutores.pdf (D47197395)		2



Tlgo. Arévalo Rodríguez, Esteban Andrés

C. C.: 0604248062



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Certificación

Certifico que la monografía: **“Inspección de 100 horas del motor Makila 1A, de acuerdo con la documentación técnica aplicable del manual de mantenimiento del helicóptero AS 332 SUPER PUMA, perteneciente a la Brigada de Aviación del Ejército N° 15 Paquisha”** fue realizada por el señor **Erazo Armas, Christian Geovanny**, 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, 18 de julio de 2023



Tlgo. Arévalo Rodríguez, Esteban Andrés

C. C.: 0604248062



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Erazo Armas, Christian Geovanny**, con cédula de ciudadanía n° 1003832464, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Inspección de 100 horas del motor Makila 1A, de acuerdo con la documentación técnica aplicable del manual de mantenimiento del helicóptero AS 332 SUPER PUMA, perteneciente a la Brigada de Aviación del Ejército N° 15 Paquisha”** 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, 18 de julio de 2023



Firmado electrónicamente por:
**CHRISTIAN
GEOVANNY ERAZO
ARMAS**

Erazo Armas, Christian Geovanny

C. C.: 1003832464



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Autorización de Publicación

Yo **Erazo Armas, Christian Geovanny**, con cédula de ciudadanía n° 1003832464, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Inspección de 100 horas del motor Makila 1A, de acuerdo con la documentación técnica aplicable del manual de mantenimiento del helicóptero AS 332 SUPER PUMA, perteneciente a la Brigada de Aviación del Ejército N° 15 Paquisha”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 18 de julio de 2023



Firmado electrónicamente por:
**CHRISTIAN
GEOVANNY ERAZO
ARMAS**

Erazo Armas, Christian Geovanny

C. C.: 1003832464

Dedicatoria

Me complace dedicar esta monografía a todos aquellos que han sido una fuente inagotable de apoyo, inspiración y aliento a lo largo de mi viaje académico. Su contribución ha sido invaluable y sin su presencia constante, este logro no habría sido posible.

En primer lugar, me gustaría dedicar este trabajo a mi familia. A mis padres, quienes siempre han estado a mi lado, brindándome su amor incondicional, su apoyo emocional y su confianza en mí. Gracias por alentarme a perseguir mis sueños y por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía para no temer a las adversidades. A mis hermanos, quienes han sido una fuente constante de alegría y motivación, su presencia en mi vida es un regalo invaluable.

A mis Abuelitos que me han sabido guiarme siempre por el camino correcto y en la toma de las mejores decisiones y a dos de ellos que desde lo más alto y agradecido con Dios por tenerlos junto a él, me han dado salud, fuerza y valor para la culminación de mi carrera.

Por último, pero no menos importante, quiero dedicar este trabajo a la Srta. Andrea Bedón, como un pequeño gesto de mi más profundo agradecimiento por todo lo que significa para mí y por ser mi compañera de vida en este viaje lleno de aprendizajes y desafíos. Espero que este logro sea un reflejo de nuestro amor y compromiso mutuo.

Agradecimiento

Hoy, con gran emoción y satisfacción, culmino la etapa final de mi monografía, un proyecto que representa el esfuerzo, la dedicación y el crecimiento que he experimentado a lo largo de estos años de estudio. Quisiera aprovechar esta oportunidad para expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que contribuyeron de manera significativa a la realización de este trabajo.

En primer lugar, deseo agradecer a mi asesor académico, Tlgo. Andrés Arévalo, por su orientación experta y su apoyo incondicional. Su experiencia y conocimientos fueron fundamentales para dar forma y desarrollar este proyecto. Agradezco sinceramente su paciencia, su disposición para responder mis preguntas y su dedicación para ayudarme a alcanzar mis metas académicas.

Mi profundo agradecimiento a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, donde realice mi formación profesional en la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica, a mis profesores por su paciencia, apoyo y sus valiosos conocimientos impartidos hacia mí.

Finalmente, agradezco sinceramente a mis amigos, compañeros de clase y trabajo por su apoyo durante este proceso. Sus palabras de aliento, sus ideas y su compañía hicieron que el camino fuera mucho más llevadero. A través de nuestras discusiones y debates, he adquirido nuevas perspectivas y enriquecido mis conocimientos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenido	8
Índice de figuras	12
Índice de tablas.....	14
Resumen.....	15
Abstract	16
Capítulo I: Introducción.....	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	22
Reseña Histórica de la Brigada de Aviación del Ejército N° 15 “PAQUISHA”	22
Helicóptero AS 332 “SUPER PUMA”	25
<i>Descripción general del helicóptero AS 332 “SUPER PUMA”</i>	26
<i>Características especiales del helicóptero AS 332 “SUPER PUMA”</i>	27

<i>Principales dimensiones</i>	28
<i>Principales sistemas</i>	29
Descripción del motor Makila 1A	32
<i>Elementos funcionales</i>	33
Identificación de placas del motor Makila 1A	35
<i>Módulo N° 1 - Carcasa de admisión</i>	36
<i>Módulo N° 2 - Compresor axial</i>	37
<i>Módulo N° 3-Generador de gas</i>	38
Compresor centrífugo	39
Cámara de combustión	39
Turbinas generadoras de gas	40
<i>Módulo N° 4 – Cojinete trasero</i>	40
<i>Módulo 5 - Turbina de potencia</i>	41
Sistema de aire del motor Makila 1A	42
<i>Descripción General</i>	42
Sistema de aceite del motor Makila 1A	44
<i>Descripción General</i>	44
Sistema de combustible del motor Makila 1A	46
<i>Descripción General</i>	46
Inspecciones para el Motor Makila 1A	47
<i>Frecuencia de inspecciones</i>	48
Tipos de limpieza para el motor Makila 1A	49
<i>Enjuague</i>	49
<i>Limpieza química</i>	49
<i>Protección interna y externa</i>	50
Productos de limpieza para el motor Makila 1A	50

	10
<i>Agua</i>	50
<i>Agua destilada</i>	50
<i>Agua desmineralizada</i>	50
Productos especiales.....	51
Capítulo III: Desarrollo del tema	54
Introducción.....	54
Seguridad para realizar un mantenimiento.....	54
Proceso de inspección programada por horas para el motor.....	55
Inspección de 100 Horas.....	55
<i>Control del tiempo de autorrotación del motor.</i>	56
<i>Verificar visualmente las palas del compresor axial 1ª etapa</i>	57
<i>Inspección visual del soporte de estrella</i>	58
<i>Limpieza del filtro de aire P2 de las válvulas de descarga</i>	63
<i>Verificación de los tapones magnéticos mecánicos. POST TU217</i>	64
Limpieza química del motor turboeje en posición de arranque.....	66
Implementación de la Herramienta.....	68
<i>Descripción general</i>	68
<i>Reservorios cilíndricos</i>	68
<i>Características de los reservorios cilíndricos construidos</i>	70
<i>Construcción de coche transportador</i>	70
<i>Pintado del coche transportador y del tablero de control</i>	71
<i>Análisis de elementos finitos</i>	72
<i>Selección del material</i>	73
<i>Procedimiento de mallado</i>	74
<i>Condiciones de frontera</i>	77
<i>Resultados</i>	78

Entrega de equipo	81
Capítulo IV: Conclusiones y recomendaciones	83
Conclusiones	83
Recomendaciones	84
Bibliografía	85
Anexos	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Helicóptero AS 332 B “SUPER PUMA”</i>	26
Figura 2 <i>Dimensiones de la aeronave</i>	28
Figura 3 <i>Dimensión frontal y del rotor de cola de la aeronave</i>	29
Figura 4 <i>Subconjuntos Funcionales del motor Makila 1A</i>	33
Figura 5 <i>Motor Makila 1A</i>	34
Figura 6 <i>Placa de Identificación de módulos del motor Makila</i>	35
Figura 7 <i>Módulo 01</i>	37
Figura 8 <i>Módulo 02</i>	38
Figura 9 <i>Módulo 03</i>	38
Figura 10 <i>Módulo 04</i>	41
Figura 11 <i>Módulo 05</i>	42
Figura 12 <i>Sistema de Aire del Motor Makila</i>	43
Figura 13 <i>Sistema de aceite del Motor Makila 1A</i>	45
Figura 14 <i>Sistema de combustible del motor Makila 1A</i>	47
Figura 15 <i>Panel de instrumentos de la aeronave</i>	57
Figura 16 <i>Módulo de turbina de potencia M05</i>	59
Figura 17 <i>Inspección con el conjunto de Boroscopio</i>	60
Figura 18 <i>Clasificación de los tipos de daño de los álabes de rueda axial de 1ª etapa</i>	62
Figura 19 <i>Ubicación del filtro de la válvula de purga</i>	64
Figura 20 <i>Ubicación de los tapones magnéticos mecánicos</i>	66
Figura 21 <i>Reservorio cilíndrico</i>	70
Figura 22 <i>Coche transportador</i>	71
Figura 23 <i>Geometría importada en formato. (.Step)</i>	73

Figura 24 <i>Selección de material</i>	74
Figura 25 <i>Estándares de confiabilidad</i>	75
Figura 26 <i>Procedimiento de mallado</i>	76
Figura 27 <i>Valor de calidad de mallado</i>	76
Figura 28 <i>Puntos fijos y cargas</i>	78
Figura 29 <i>Deformación en las bases del compresor</i>	79
Figura 30 <i>Tensión máxima en la estructura</i>	80
Figura 31 <i>Coefficiente de seguridad</i>	81
Figura 32 <i>Entrega del equipo especial</i>	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Datos principales de la Aeronave</i>	27
Tabla 2 <i>Principales sistemas del helicóptero AS 332 “SUPER PUMA”</i>	30
Tabla 3 <i>Características específicas del motor Makila 1A</i>	34
Tabla 4 <i>Referencia del P/N del modulo</i>	36
Tabla 5 <i>Productos especiales para limpieza del motor</i>	51
Tabla 6 <i>Proporción de mezcla para enjuague, limpieza</i>	52
Tabla 7 <i>Variantes de ADROX y sus características</i>	53
Tabla 8 <i>Criterios de aceptación para los álabes de rueda axial de 1ª etapa</i>	58
Tabla 9 <i>Tipos de daño en los álabes de rueda axial de 1ª etapa</i>	61

Resumen

Con el propósito de garantizar el funcionamiento adecuado del helicóptero AS 332 B SUPER PUMA, perteneciente a la Brigada de Aviación del Ejército Nro. 15 "PAQUISHA", se llevó a cabo una inspección de 100 horas en el motor MAKILA 1A. Esta inspección se realizó siguiendo el procedimiento indicado en el Manual de Mantenimiento del motor Safran Helicopter Engines. El motor Makila 1A consta de cinco módulos y la inspección por horas se lleva a cabo para mantener su funcionamiento óptimo. Además, esta inspección ayuda a detectar posibles fallas o anomalías, permitiendo tomar medidas correctivas para evitar incidentes. Como parte de esta tarea de mantenimiento, es necesario realizar el lavado de los compresores. Para llevar a cabo esta actividad, se utiliza una herramienta especial: un equipo generador de presión de flujo de agua. El lavado de compresores es una tarea derivada de una inspección no programada y tiene como objetivo prevenir la contaminación del motor. Esto puede ocurrir cuando la aeronave opera en lugares con una atmósfera contaminada o con alta salinidad. Para asegurar el correcto funcionamiento del motor, se realiza una limpieza química y enjuague utilizando una mezcla de agua y un producto especial. El equipo de lavado de compresores está compuesto por un tanque de acero, una bomba, cañerías, válvulas y las conexiones eléctricas correspondientes. El proceso detallado para el lavado de compresores se encuentra descrito en el manual de mantenimiento.

Palabras clave: Limpieza química, lavado de compresores, motor Makila 1A.

Abstract

In order to ensure the proper operation of the AS 332 B SUPER PUMA helicopter, belonging to the Army Aviation Brigade No. 15 "PAQUISHA", a 100-hour inspection was carried out on the MAKILA 1A engine. This inspection was carried out following the procedure indicated in the Safran Helicopter Engines Maintenance Manual. The Makila 1A engine consists of five modules and the hourly inspection is carried out to maintain its optimum performance. In addition, this inspection helps to detect possible failures or anomalies, allowing corrective action to be taken to avoid incidents. As part of this maintenance task, it is necessary to wash the compressors. To carry out this activity, a special tool is used: a water flow pressure generator equipment. Compressor flushing is a task derived from an unscheduled inspection and is intended to prevent engine contamination. This can occur when the aircraft operates in places with a polluted atmosphere or high salinity. To ensure proper engine operation, chemical cleaning and flushing is performed using a mixture of water and a special product. The compressor washing equipment consists of a steel tank, a pump, piping, valves and the corresponding electrical connections. The detailed process for compressor washing is described in the maintenance manual.

Key words: Chemical cleaning, washing of compressors, Makila 1A engine.

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

La Brigada de Aviación del Ejército Nro. 15 "PAQUISHA". Posee una flota de aeronaves, pilotos y técnicos aeronáuticos especializados para cumplir las diferentes misiones encomendadas por la constitución de la república del Ecuador, considerando que la seguridad de los vuelos depende del mantenimiento realizado en tierra.

La importancia de realizar un mantenimiento adecuado en la Brigada de Aviación del Ejército Nro. 15 "PAQUISHA", hace que los técnicos aeronáuticos pongan en práctica su destreza, preparación y experiencia en los helicópteros, ya que los técnicos aeronáuticos son capacitados en célula en los helicópteros AS 332 SUPER PUMA y también en motores MAKILA 1A, con instructores certificados por el fabricante.

El helicóptero Airbus AS 332 B SUPER PUMA, cuenta con dos motores MAKILA 1A, para los cuales se debe realizar un mantenimiento correcto y asegurar una constante limpieza externa e interna del motor, garantiza un correcto funcionamiento del helicóptero de acuerdo con los manuales aplicables al helicóptero AS 332 SUPER PUMA, del motor MAKILA 1A.

Por lo expuesto es fundamental y trascendente que la Brigada de Aviación del Ejército Nro. 15 "PAQUISHA" conjuntamente con el Centro de Mantenimiento de Aviación del Ejército "CEMAE" cuente con la unidad de limpieza del motor por ventilación para que el personal técnico pueda desarrollar adecuadamente las tareas de mantenimiento.

Planteamiento del problema

La Brigada de Aviación del Ejército Nro. 15 "PAQUISHA" y el Centro de Mantenimiento de Aviación del Ejército "CEMAE" son dos unidades fundamentales para el desarrollo de las operaciones aéreas y el mantenimiento de las aeronaves en el Ejército ecuatoriano. Entre sus responsabilidades se encuentra el mantenimiento de la aeronave AS 332 SUPER PUMA, un helicóptero crucial para las operaciones militares y el transporte de personal.

Para llevar a cabo el mantenimiento adecuado de la aeronave AS 332 SUPER PUMA, es esencial contar con el equipo de limpieza del motor por ventilación. Este equipo desempeña un papel crucial en el lavado de compresores del motor, lo que garantiza su correcto funcionamiento y prolonga su vida útil. Sin embargo, se ha identificado que actualmente existe una carencia de este equipo en buen estado en la Brigada de Aviación del Ejército Nro. 15 "PAQUISHA" y el Centro de Mantenimiento de Aviación del Ejército "CEMAE", particularmente en la sección de motores.

La falta de un equipo de limpieza del motor por ventilación en óptimas condiciones puede tener varias implicaciones negativas. En primer lugar, podría afectar el rendimiento y la eficiencia del motor de la aeronave AS 332 SUPER PUMA, lo que podría poner en riesgo las operaciones militares y la seguridad del personal. Además, la falta de un mantenimiento adecuado de los motores podría llevar a un mayor desgaste de las piezas y componentes, lo que a su vez generaría costos adicionales para su reparación o reemplazo.

Por lo tanto, es de vital importancia abordar esta problemática y asegurar que la Brigada de Aviación del Ejército Nro. 15 "PAQUISHA" y el Centro de Mantenimiento de Aviación del Ejército "CEMAE" cuenten con el equipo de limpieza del motor por ventilación en buen estado. Esto permitirá garantizar la adecuada operatividad y mantenimiento de la aeronave AS 332

SUPER PUMA, así como el cumplimiento efectivo de las misiones y responsabilidades asignadas al Ejército ecuatoriano en el ámbito aéreo. La adquisición o rehabilitación de este equipo se convierte en una necesidad apremiante para asegurar la eficiencia y la seguridad en las operaciones militares.

Justificación e importancia

En las regulaciones de aviación civil y militar se encuentran descritos todos los requisitos necesarios para llevar a cabo las actividades aéreas una de ellas es el mantenimiento de las aeronaves que operan en la brigada de aviación del Ejército Número 15 "PAQUISHA", conjuntamente con el Centro de Mantenimiento de Aviación del Ejército "CEMAE" para ello cuenta con la sección de motores en la cual se cumplen las actividades de mantenimiento del helicóptero AS 332 SUPER PUMA, de acuerdo al manual de mantenimiento de cada aeronave dispuesto por la casa fabricante para ello el centro de mantenimiento cuenta con el equipo de limpieza del motor por ventilación que permite al personal técnico el desarrollo de las actividades de servicio y mantenimiento.

Se beneficiarán del presente trabajo investigativo el personal técnico de la especialidad motores, del helicóptero AS 332 SUPER PUMA porque contarán con el equipo adecuado para realizar la limpieza del motor por ventilación en los trabajos de mantenimiento de la aeronave permitiendo de esta manera el correcto desarrollo de las prácticas de mantenimiento y servicio de esta.

Los resultados del trabajo investigativo permitirán a las autoridades de la Brigada de Aviación del Ejército juntamente con el Centro de Mantenimiento de Aviación del Ejército "CEMAE" pueda cumplir con las normativas de la dirección general de aviación civil y militar

cumpliendo con la normativa vigente y manteniendo de esta manera la operatividad de la aeronave insigne del ejército ecuatoriano.

Por lo que antecede anteriormente es necesario que la sección de motores cuente con un equipo de limpieza del motor por ventilación en buenas condiciones para el correcto desarrollo de las actividades de mantenimiento.

Objetivos

Objetivo General

Realizar la inspección de 100 horas del motor MAKILA 1A, de acuerdo con la documentación técnica aplicable del manual de mantenimiento del helicóptero AS 332 B SUPER PUMA, perteneciente a la Brigada de Aviación del Ejército N° 15 "PAQUISHA".

Objetivos Específicos

- Recopilar información necesaria previa a la inspección de 100 horas del motor MAKILA 1A de acuerdo con la tarea de mantenimiento que consta en el AMM.
- Adquirir herramientas y equipos necesarios para la limpieza del motor por ventilación, según la tarea de mantenimiento N.- 71-01-03-610-801-A01.
- Efectuar las pruebas de funcionamiento aplicables para el motor, mediante una corrida de motores en tierra, para verificar una correcta aeronavegabilidad de la aeronave.

Alcance

En esta investigación se aborda la introducción de un equipo de limpieza de motor por ventilación, el cual desempeñará un papel fundamental en las labores de mantenimiento y servicio, así como en el respaldo de las operaciones aéreas al mantener la aeronave en

funcionamiento. Además, esta investigación se convertirá en una valiosa fuente de información y referencia para todas aquellas personas vinculadas o interesadas en este tema en particular.

Capítulo II

Marco teórico

Reseña Histórica de la Brigada de Aviación del Ejército N° 15 “PAQUISHA”

Según (Dto. de Doctrina, 2011) La Brigada de Aviación del Ejército N° 15 "PAQUISHA" encarna el concepto central del proyecto conocido como "alas para la frontera", que se remonta a los inicios de la Aviación del Ejército ecuatoriano en 1954. Este proyecto fue impulsado por el Capitán de Infantería Colon Grijalva Herdoíza, quien, con un entusiasmo y determinación sin igual, presentó al Comando del Ejército de aquel entonces la innovadora idea de implementar apoyo aéreo para el personal militar que operaba en áreas a las que solo se podía acceder a través de largas caminatas por senderos abiertos en la densa vegetación del oriente ecuatoriano.

Gracias al respaldo brindado por las damas de la alta sociedad guayaquileña, este proyecto logró adquirir las primeras aeronaves de aviación menor monomotor a través de donaciones. De esta manera, se estableció el Servicio Aéreo del Ejército (SAE), el cual fue fortalecido con la incorporación de aviones PIPER Tripacer, Taylor Craft y Piper PA-18-150. Estas aeronaves fueron fundamentales para la creación del destacado servicio aéreo y marcaron el comienzo de la Aviación del Ejército Ecuatoriano.

En 1960 ya con el Servicio Aéreo del Ejército “SAE” estructurado para operar en las divisiones del ORO, GUAYAS y LOJA, observaron la necesidad de extender sus alas en operaciones aéreas para la región oriental, sin embargo, debido a las características geográficas se requería de dotarse con aeronaves capaces de atravesar la cordillera y se pretendía adquirir aeronaves tipo monomotor CESSNA L-19 versión militar, en este contexto el proyecto no llegó a concretarse y se adquirieron aeronaves PIPER, de los cuales uno era

bimotor AZTECA y cinco aeronaves tipo twin comanche bimotor con características de ser ala baja y con tren de aterrizaje retráctil. (Dto. de Doctrina, 2011)

Una vez presentados los informes técnicos y financieros, el Comando del Ejército autorizó el proceso de reentrenamiento del primer curso de pilotos en las aeronaves que habían sido asignadas a la fuerza. Se formó una escuadra de aviones con el objetivo de explorar y cubrir el territorio ecuatoriano. Finalmente, el 12 de febrero de 1961, el Servicio Aéreo del Ejército (SAE) realizó su primera operación en la zona oriental del país. Sin embargo, en ese mismo año, el 24 de septiembre, ocurrió un trágico accidente aéreo en Portoviejo, apenas cinco minutos después de despegar del aeropuerto, en el que perdió la vida el promotor de este sueño. Aunque su legado y los proyectos para el futuro quedaron inconclusos.

En aquel tiempo, la base Pastaza, como era conocida, continuaba realizando operaciones de vuelo para brindar apoyo a las unidades y destacamentos militares de la región. Sin embargo, en abril de 1962, una tragedia golpeó al Servicio Aéreo del Ejército (SAE), lo que llevó a la suspensión de las operaciones aéreas y a la entrega de los aviones tipo PIPER Comanche a la Fuerza Aérea, con la esperanza de replantear una nueva planificación que nunca llegó a concretarse.

Pasaron dos años hasta que, debido a la necesidad de contar con medios aéreos, el SAE fue reestructurado nuevamente. En diciembre de 1964, se retomó la atención a las unidades del ejército que llevaban a cabo sus misiones en la zona oriental mediante la adquisición de avionetas tipo CESSNA 185, las cuales tenían una mayor capacidad de pasajeros y carga. Para ello, fue necesario que los pilotos ecuatorianos, el Capitán Edison Torres y el Teniente Germán Apolo, viajarán a Kansas, Estados Unidos, para luego entrenar a

los pilotos del segundo curso de aviones y reiniciar las operaciones de vuelo en esta región de Ecuador.

Posteriormente la flota de aeronaves en esta región se fortaleció con la adquisición de aviones tipo Stall. En 1971, el Servicio Aéreo del Ejército (SAE) compró un avión turbohélice SKYVAN y dos aviones ligeros Heli-Porter, que desempeñaron un papel crucial en las operaciones de la región debido a su diseño adaptado a las pistas y condiciones características de la región amazónica. Estas adquisiciones fueron fundamentales para brindar un mayor respaldo a las unidades militares establecidas en esta área.

En 1972, se iniciaron las operaciones de helicópteros en el Ejército Ecuatoriano. Esto ocurrió debido a una necesidad del I.G.M. (Instituto Geográfico Militar) en sus trabajos topográficos de campo, aprovechando una invitación de la Aviación Ligera del Ejército Francés. Dos pilotos del Ejército asistieron al evento y continuaron los trabajos en colaboración con dicho instituto.

En 1975, el Servicio Aéreo del Ejército (SAE) adquirió aeronaves tipo ARAVA, equipadas con armamento. Estas aeronaves siguen en funcionamiento hasta el día de hoy y son consideradas emblemáticas y altamente operativas. Su diseño y configuración han contribuido significativamente a la región oriental, facilitando el transporte de personal y recursos logísticos no solo para las unidades en todo el país, sino también para brindar apoyo a las comunidades y participar en operaciones militares, incluyendo el lanzamiento de paracaidistas en operaciones de contrainsurgencia. (Dto. de Doctrina, 2011)

En 1975 el Servicio Aéreo del Ejército "SAE", adquirió aeronaves tipo ARAVA (con armamento), aeronaves que hasta el día de hoy cumplen con operaciones de vuelo, siendo la aeronave emblemática y de mayor referente operacional debido al diseño y configuración

aportaría significativamente a la región oriental para el transporte de personal y medios logísticos no solamente a las unidades de todo el país, sino también proporcionando apoyo a las comunidades y operaciones militares para el lanzamiento de paracaidistas en operaciones de contrainsurgencia. (Dto. de Doctrina, 2011)

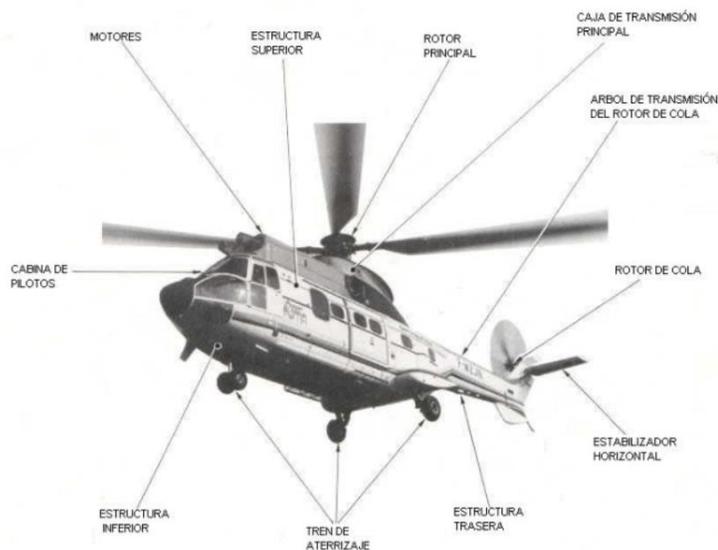
Con el transcurso del tiempo y debido a su eficacia en las operaciones, en 1984, por orden del comando, la Aviación del Ejército recibió el nombramiento de una unidad operativa con un nivel de organización equivalente a una brigada. Fue entonces cuando se le otorgó el nombre de Brigada de Aviación del Ejército "AMAZONAS". Gracias a sus destacados antecedentes, la 15 BAE logró alcanzar altos niveles de operatividad y eficiencia durante el conflicto del CENEPA, lo que la impulsó a convertirse, el 29 de febrero de 1996, en la nueva arma del Ejército Ecuatoriano según lo establecido en un Acuerdo Ministerial publicado en la Orden General. Este cambio en la organización y estructura fortaleció y propició el crecimiento de esta noble rama de la Fuerza Terrestre. (Dto. de Doctrina, 2011)

Helicóptero AS 332 “SUPER PUMA”

El helicóptero AS 332 “SUPER PUMA” de origen francés producido por la compañía Airbus Helicopters, es un helicóptero tecnológicamente avanzado de doble motor, el cual fue diseñado para transporte de pasajeros, servicio de transporte en el mar, carga externa, etc. En la Figura 1 se detalla las principales partes de la aeronave que constituyen al helicóptero Super Puma. (EUROCOPTER, 2015)

Figura 1

Helicóptero AS 332 B "SUPER PUMA"



Nota. El gráfico representa las partes del helicóptero Super Puma AS 332B. Tomado del Manual de Instrucción SUPER PUMA AS 332B (1.3) por Eurocopter.

Descripción general del helicóptero AS 332 "SUPER PUMA"

El helicóptero AS 332 "SUPER PUMA" está equipado con todos los componentes estructurales necesarios de acuerdo con las normas de aeronavegabilidad aplicables. Estos componentes incluyen el fuselaje, el tail boom, los estabilizadores horizontal y vertical, el tren de aterrizaje triciclo y retráctil, así como las cubiertas del motor y la transmisión. Además, cuenta con componentes rotatorios, como un sistema de rotor Starflex de cuatro palas en el rotor principal y un rotor de cola con cinco palas (Eurocopter, s.f.).

En cuanto a su propulsión, el helicóptero está equipado con dos motores turboshaft Safran MAKILA 1A, capaces de generar una potencia máxima de 1310kW. Estos motores destacan por su alto rendimiento y su diseño modular, lo que facilita su mantenimiento de forma sencilla. (Corporate Helicopters, s.f.).

Características especiales del helicóptero AS 332 “SUPER PUMA”

EL “SUPER PUMA” se fabrica en dos dimensiones de cabina de carga, cada aeronave es diferente todos sus componentes son aplicados de acuerdo con la operación en que se va a emplear es decir todo esto depende del fabricante, en la actualidad se puede encontrar con aeronaves del mismo modelo modernizadas para mejorar su autonomía de vuelo, capacidad de carga, capacidad de combustible, potencia de motores, techo máximo, etc. En la tabla 1, se detalla las principales características del helicóptero Super Puma. (EUROCOPTER, 2015)

Tabla 1

Datos principales de la Aeronave

DATOS PRINCIPALES	
Peso vacío, versión básica:	
▪ Versión corta	: 4264 kg (8390 lb) Máxima altitud: 20000 pies (6100 m)
▪ Versión alargada	: 4500 kg (9920 lb) Nunca exceda la velocidad (VNE):
	▪ 160 Nudos (310 km/h)
Peso máximo	: 8350 kg (18410 lb)
Número máximo de pasajeros:	Máxima potencia continua:
▪ Versión corta	: 22 ▪ 1130 KW por cada motor
▪ Versión alargada	: 24
Rango de temperatura de funcionamiento: -30 a + 50° C	Consumo de combustible – vel. crucero 140 Nudos (260 km/h):
	▪ 325 l/h (254 kg) (558,80 lb) por motor

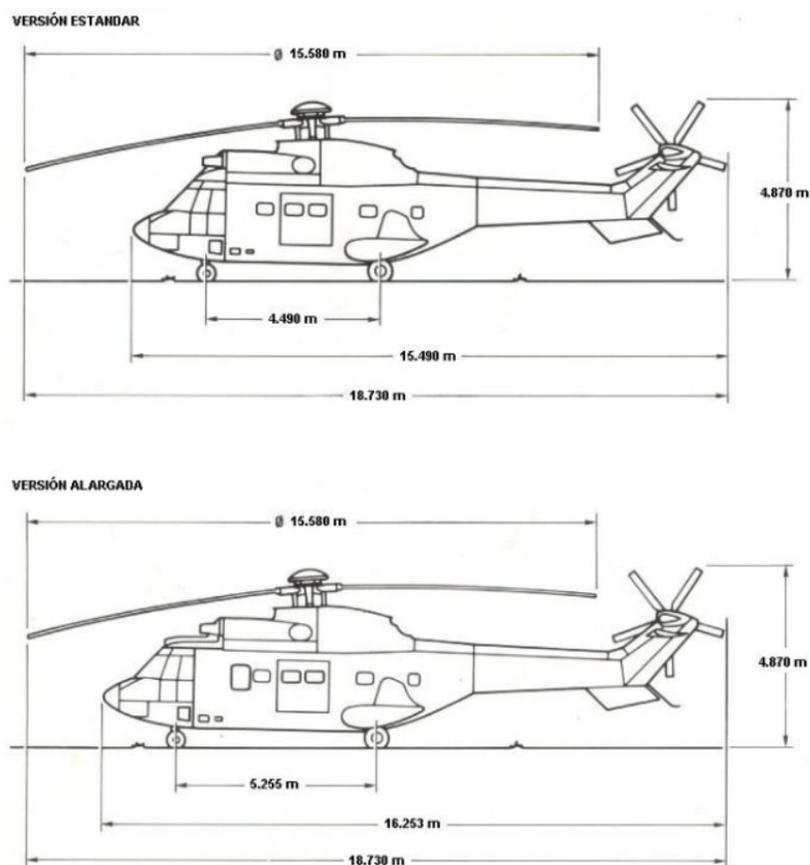
Nota. Recuperado del Manual de Instrucción del Super Puma AS -332. Los manuales de vuelo son específicos para cada versión de la aeronave permiten conocer las limitaciones de operación basados en datos técnicos emitidos por el fabricante.

Principales dimensiones

Existe una variedad de helicópteros Super Puma lo que la diferencia es sus dimensiones y capacidad de operación de acuerdo a sus modificaciones y accesorios emitidos por la casa fabricante. (EUROCOPTER, 2015). En la Figura 2 y 3, se puede apreciar las dimensiones del helicóptero Super Puma a su largo y ancho diseñadas por el fabricante.

Figura 2

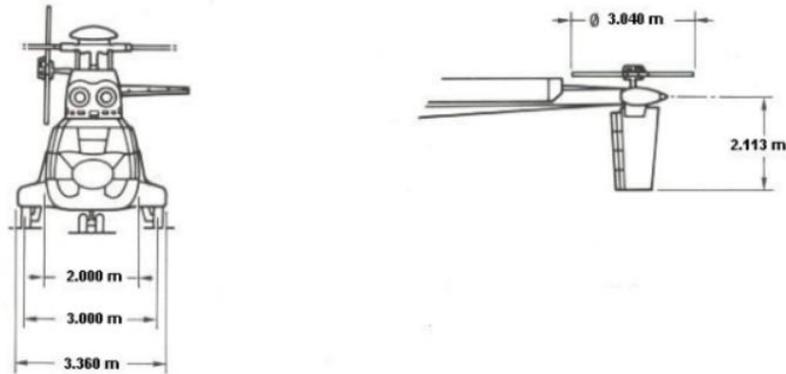
Dimensiones de la aeronave



Nota. El gráfico representa las dimensiones del helicóptero Super Puma AS 332 en sus diferentes versiones, desde la punta de la nariz hasta la cola. Tomado del Manual de Instrucción SUPER PUMA AS 332, por Eurocopter.

Figura 3

Dimensión frontal y del rotor de cola de la aeronave



Nota. El gráfico representa las dimensiones del helicóptero Super Puma AS 332B a lo ancho y las dimensiones del rotor de cola. Tomado del Manual de Instrucción SUPER PUMA AS 332, por Eurocopter.

Principales sistemas

El helicóptero Super Puma AS-332B está conformado por componentes principales y secundarios, mismos que son indispensables para su control y funcionamiento, cabe recalcar que la información correspondiente a cada aeronave es emitida por la casa fabricante con sus respectivas limitaciones y esfuerzos a las que pueden ser sometidas cada una de sus partes. En la Tabla 2, se especifica los principales componentes que constituyen los diferentes sistemas del helicóptero Super Puma.

Tabla 2*Principales sistemas del helicóptero AS 332 "SUPER PUMA"*

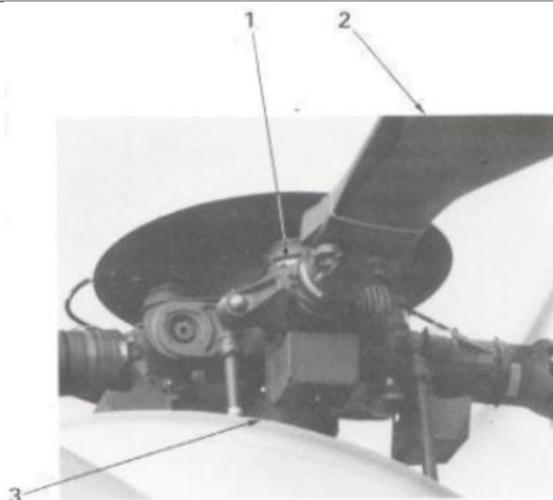
MOTORES

- 2 motores MAKILA 1A con eje de turbina libre.
- Diseño modular.
- Sistema de gobernación electrónica.
- 1310 KW a potencia máxima de emergencia.



ROTOR PRINCIPAL

- Está constituido por el mástil rotor (3), la cabeza del rotor (1) y 4 palas (2).
- Diámetro del rotor: 15580 m.
- Velocidad de rotación (régimen normal): 265 rpm.
- Dirección de rotación: horario (visto desde arriba).

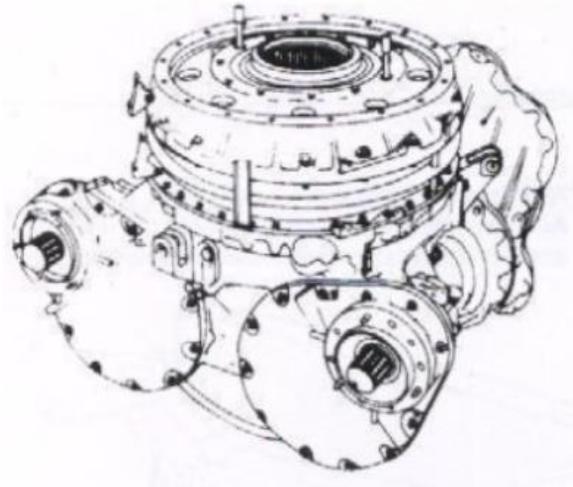


**CAJA DE TRANSMISIÓN PRINCIPAL
(BTP)**

- La BTP, transmite el movimiento desde los motores hacia los rotores,
-

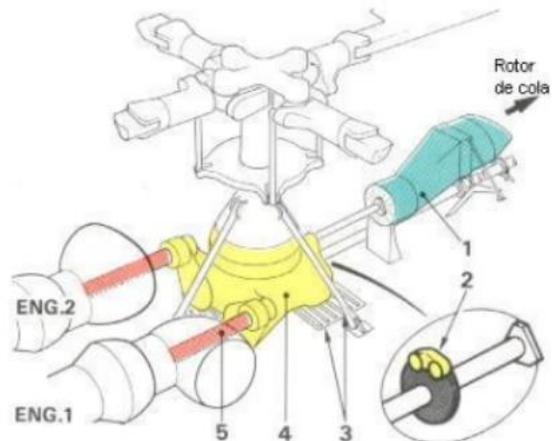
mientras reduce la velocidad de rotación.

- Así mismo, acciona dos bombas, que asegura la lubricación de esta y sus accesorios; dos alternadores, dos bombas hidráulicas, un ventilador que refrigera el aceite de lubricación.



TRANSMISIÓN PRINCIPAL

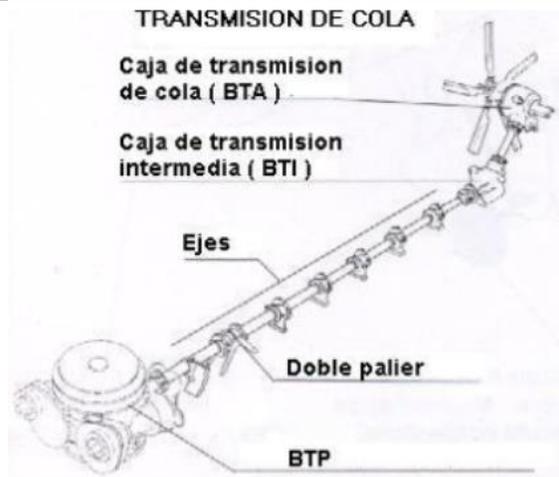
- La transmisión mecánica principal acciona desde los motores, el rotor principal y la transmisión mecánica trasera. Esto incluye:
- La unión, motor – caja de transmisión principal (5).
- La caja de transmisión principal (BTP) (4).
- El grupo de refrigeración de aceite que lubrica la BTP (1).
- El freno rotor (2).
- Los soportes de fijación y suspensión de la BTP (3).



TRANSMISIÓN DE COLA

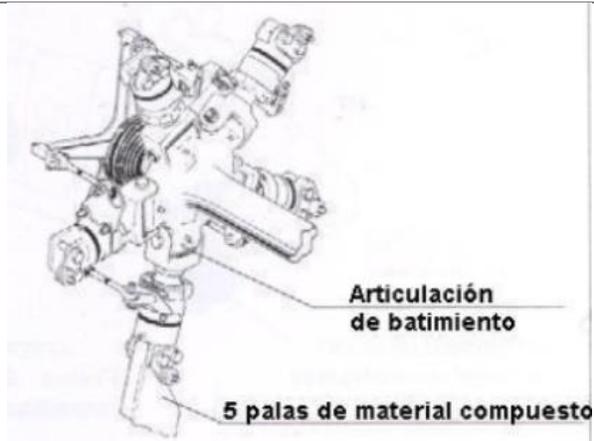
- Caja de transmisión de cola (BTA)

- Caja de transmisión intermedia (BTI)
- Ejes
- Doble palier
- BTP



ROTOR DE COLA

- Numero de palas: 5
- Dirección de rotación (visto de frente): sentido antihorario.
- Diámetro: 3040 m.
- Velocidad de rotación (régimen normal): 1279 rpm.



Nota. Recuperado del Manual de Instrucción del Super Puma AS-332.

Descripción del motor Makila 1A

El motor Makila 1A es diseñado para helicópteros bimotor, posee la capacidad de soportar una carga de 4500 kg. (AeromundoMagazine). El motor Makila 1A es un motor turbo eje, equipado en los helicópteros Super Puma AS-332B, se destaca por sus capacidades de rendimiento, eficiencia y potencia.

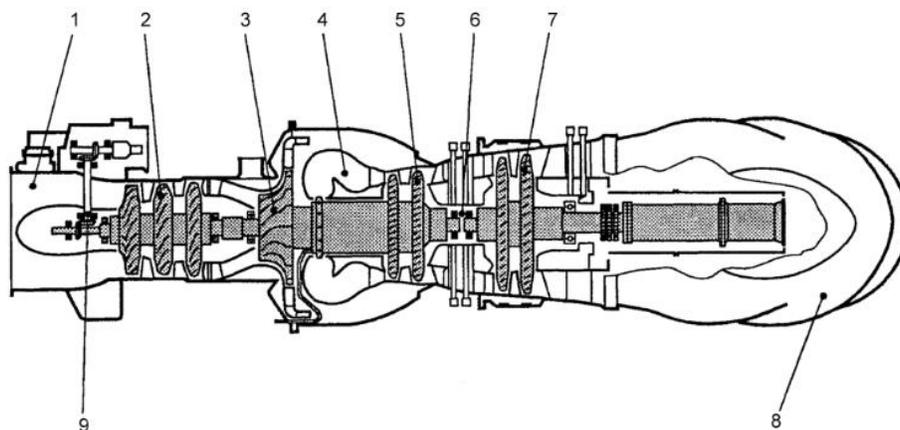
La descripción del motor turboeje trata de los elementos funcionales y la construcción en módulos y subconjuntos:

Elementos funcionales

1. Carcasa de entrada de aire, entrada de aire anular con depósito de aceite y caja de accesorios.
2. Compresor axial, de tres etapas.
3. Compresor centrífugo.
4. Cámara de combustión, anular con inyección de combustible rotativa.
5. Turbina generadora de gas, compuesta por dos etapas.
6. Conjunto de rodamiento trasero.
7. Turbina de potencia.
8. Tobera de escape.
9. Caja de accesorios.

Figura 4

Subconjuntos Funcionales del motor Makila 1A



Nota. La descripción del motor turboeje trata de los elementos funcionales y la construcción en subconjuntos, por Tools. Safran-Helicopter-Engines. (2022)

A continuación, se detalla las características generales del motor Makila 1A:

- Peso máximo: 278,9 kg
- Régimen máx. de emergencia: 1397 kW
- Régimen máx. de despegue: 1350 kW
- Régimen máx. continuo: 1192 kW

Tabla 3

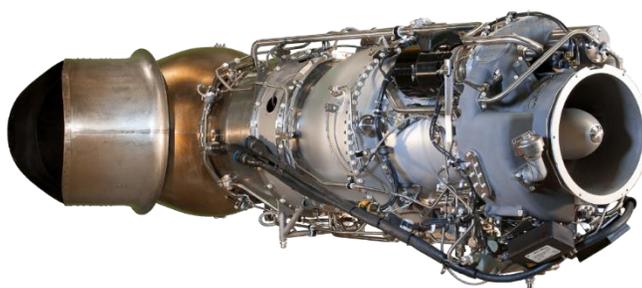
Características específicas del motor Makila 1A

Componente	Velocidad	% Actuación	Dirección
Generador de gas	33200 rpm	100 % N1	Antihorario
Turbina libre	22850 rpm	100 % N2	Horario
Eje de salida	5389 rpm	100 % N2	Horario

Nota. La tabla representa los datos más importantes acerca de la velocidad y dirección de los componentes principales del motor Makila 1A. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022)

Figura 5

Motor Makila 1A



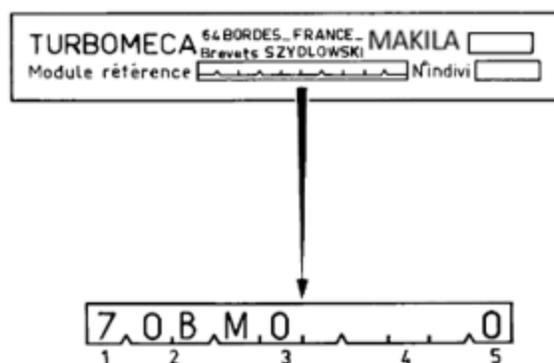
Nota. La imagen hace referencia al Motor Makila 1A. Tomado de (Safran-group).

Identificación de placas del motor Makila 1A

Cada uno de los módulos del motor cuenta con una placa de identificación individual, ubicada en las guías correspondientes a cada conjunto. Estas placas son reemplazables cuando se realiza una modificación importante. La placa de identificación de cada módulo contiene una ficha de matrícula, el nombre del fabricante del motor, el tipo y la versión del motor, así como el número de parte del módulo. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Figura 6

Placa de Identificación de módulos del motor Makila



Nota. Placa de identificación de los módulos del motor. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

La placa de identificación del motor está fijada en el módulo cárter de aspiración M01. Al cambiar este módulo se debe quitar la placa del módulo antiguo y colocarla en el nuevo.

Tabla 4*Referencia del P/N del modulo*

Datos de identificación	Significado
7	Conjunto de repuesto especial
0 B	Identificación del motor MAKILA 1A
M 0_	Identificación del módulo
— — —	Norma del módulo, puede cambiar cuando hay una modificación importante
0	Completa siempre con el número cero el código

Nota. La tabla representa el significado del número de parte de la placa de identificación de los módulos del motor MAKILA 1A. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

Módulo N° 1 - Carcasa de admisión

El módulo cárter de admisión M01 está montado en la parte delantera del motor y unido al módulo generador de HP M03 a través del cárter del compresor (1).

Contiene el sistema de engranajes que acciona los siguientes accesorios:

- En la cara anterior: la bomba de aceite (2).
- En la cara trasera: el motor de arranque y el conjunto FCU.

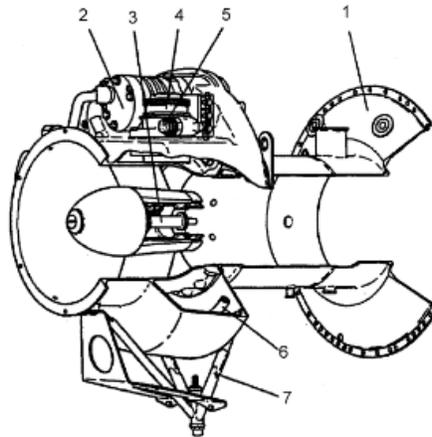
La caja de engranajes de accesorios es accionada por un eje (3) estriado al módulo del compresor axial M02.

Cerca de la bomba de aceite se encuentra el filtro de aceite (4) con el indicador visual de preobtención de aceite (5).

El módulo cárter de admisión M01 constituye también el depósito de aceite (6), en cuya parte inferior va fijado el caballete delantero (7).

Figura 7

Módulo 01



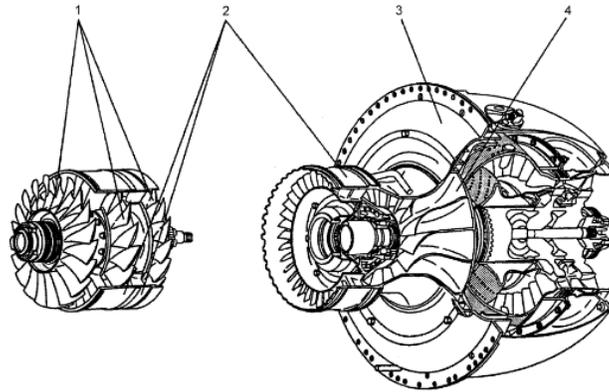
Nota. Descripción de la carcasa de admisión del motor Makila 1A. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

Módulo N° 2 - Compresor axial

El módulo tiene tres etapas axiales y una etapa centrífuga. Las etapas axiales están constituidas por tres ruedas (1) y tres estatores (2), el estator de la tercera etapa es un componente del módulo generador de gas M03.

La etapa centrífuga está constituida por la carcasa de aspiración (3) y el conjunto giratorio centrífugo (4) acoplado al eje de la turbina con acoplamiento curvic.

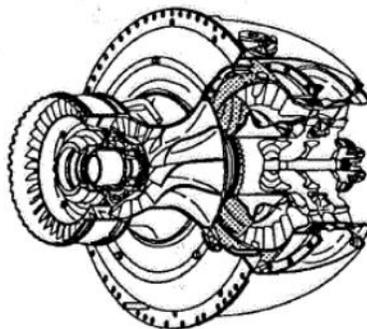
La unión del compresor axial al compresor centrífugo está asegurada por un tornillo y un manguito de acoplamiento. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Figura 8*Módulo 02*

Nota. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022)

Módulo N° 3-Generador de gas

Se conforma por el conjunto del generador del gas que almacena el compresor centrífugo, la cámara de combustión y la turbina de dos etapas generadoras de gas, que cumplen los ciclos de compresión, combustión y expansión (Safran Helicopter Engines, 2022).

Figura 9*Módulo 03*

Nota. Representa el conjunto del generador de gas. (Safran Helicopter Engines, 2022)

Compresor centrífugo

El compresor centrífugo se encuentra en la parte frontal del módulo 03 y está fabricado con material de titanio de corte sólido. Está compuesto por una rueda centrífuga como componente rotativo, así como difusores y su revestimiento como componentes estacionarios.

Su función principal es realizar la segunda etapa de compresión. El aire proveniente del compresor axial ingresa al compresor centrífugo a alta presión a través de las palas del compresor. Luego, pasa por los difusores, que constan de dos etapas. En la primera etapa, la velocidad del aire se transforma en presión y se convierte en un flujo axial. En la segunda etapa, el flujo de aire con alta presión se dirige hacia la cámara de combustión. (Safran Helicopter Engines, 2009)

Cámara de combustión

La cámara de combustión es de tipo anular, consta exteriormente con un plato de rotación exterior y una unidad mezcladora e interiormente con un plato de rotación posterior y un anillo sujetador, para la combustión cuenta con: un sistema de inyección, una rueda de inyección centrífuga, dos inyectores y dos bujías acoplados.

En la cámara de combustión es donde se produce la combustión, con la ayuda de la chispa que proviene de la bujía y el combustible que es inyectado por los inyectores, se da la mezcla de aire - combustible y es quemado de forma continua en el cuerpo de la cámara que se encuentra sellado. Consta de dos flujos el flujo primario que se encarga de la mezcla para la combustión y el flujo secundario que se encarga del enfriamiento de los gases (Safran Helicopter Engines, 2009)

Turbinas generadoras de gas

En el Motor MAKILA 1A se encuentran dos turbinas generadoras de gas, que constan de componentes rotatorios y estacionarios: ruedas, eje cojinetes, alabes guías de la tobera, escudo de protección y revestimiento de la turbina y de los difusores.

Para su operación la turbina de gas obtiene energía del flujo de gas que sale de la cámara de combustión, es así como acciona los compresores con sus accesorios, el gas quemado pasa por los alabes aumentando la velocidad, lo que provoca la rotación de la turbina de gas y el flujo continua hacia la turbina libre (Safran Helicopter Engines, 2009)

Módulo N° 4 – Cojinete trasero

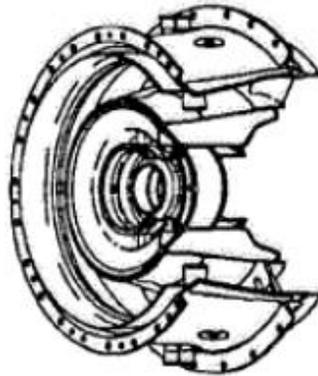
En este conjunto se encuentran los cojinetes de rodillos del cojinete trasero del generador de gas HP y el cojinete delantero de la turbina de potencia.

El cojinete trasero incluye el soporte del cojinete instalado en el interior de la paleta guía de la boquilla, que está fijada a la carcasa de la turbina. El conjunto de escudo térmico evita un calentamiento anormal del compartimiento del motor.

Cuatro conductos atornillados en el soporte aseguran:

- **En el extremo superior:** la lubricación y ventilación de los rodamientos.
- **En el extremo inferior:** el barrido de aceite y la presurización de laberintos.

(Safran Helicopter Engines, 2009).

Figura 10*Módulo 04*

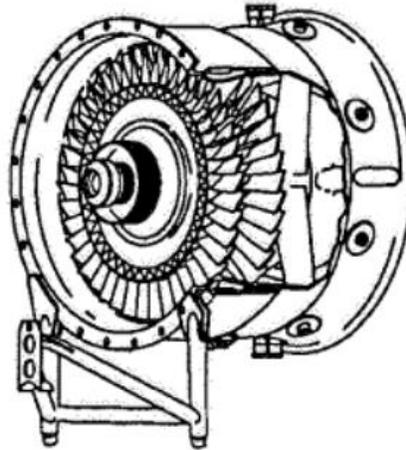
Nota. La imagen representa al cojinete trasero. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

Módulo 5 - Turbina de potencia

La turbina de potencia transforma la energía cinética de los gases entregados por el generador de gas HP en energía mecánica, para posterior entregar la energía mecánica a la caja de cambios principal del helicóptero. Se encuentra y se adjunta detrás del módulo generador HP módulo M03. La turbina comprende dos etapas. (Safran helicopter Engines, 2022)

El módulo de turbina de potencia M05 comprende:

- Conjunto giratorio
- Conjunto de rodamientos
- Álabes guía del difusor/tobera.

Figura 11*Módulo 05*

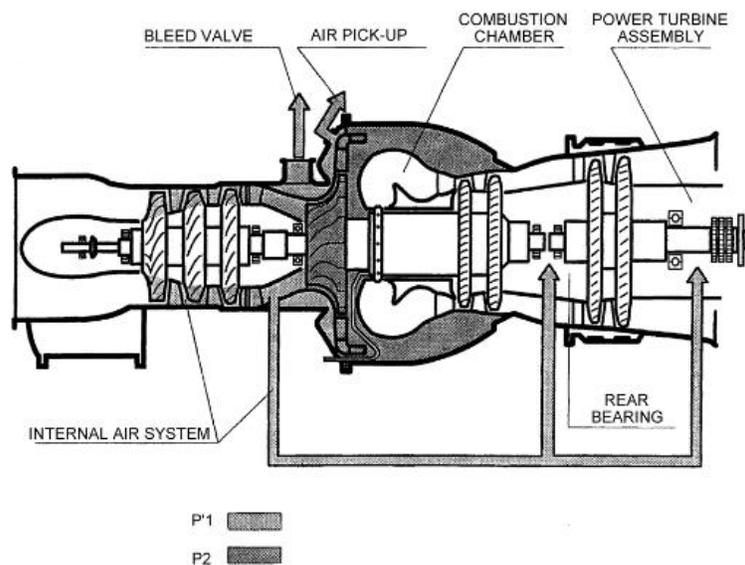
Nota. La imagen representa la turbina de potencia que conforma todo el módulo 05 del motor Makila 1A. Tomado de (Safran helicopter Engines, 2009)

Sistema de aire del motor Makila 1A***Descripción General***

Para su funcionamiento, la central utiliza aire a presión, recogido después del compresor axial (P'1) y aire a presión recogido después del compresor centrífugo (P2). Este aire también se utiliza para el servicio de aeronaves.

Figura 12

Sistema de Aire del Motor Makila



Nota. La imagen representa el conjunto del sistema de aire del motor Makila 1A. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

El sistema de aire interno, también conocido como sistema de aire secundario, se divide en tres sistemas que se distribuyen en diferentes partes del motor: la sección delantera del motor, el generador de gas de alta presión y la turbina de potencia. Este sistema está compuesto por tuberías internas, puertos calibrados y tuberías externas, cuya función es presurizar los sellos laberinto, enfriar las partes internas del motor y equilibrar las fuerzas en los conjuntos giratorios.

Por otro lado, el sistema de toma de aire está formado por la toma de aire y una tubería. Estos componentes tienen diversas funciones, como suministrar aire al sistema de la aeronave, ventilar los inyectores, controlar la válvula de purga y proporcionar aire a la unidad de control de combustible (FCU, por sus siglas en inglés). (Safran Helicopter Engines, 2022).

La válvula de purga, situada en la parte superior del motor entre el compresor axial y el compresor centrífugo, es de tipo neumático. Está compuesta por varios elementos, como un sistema de control, la propia válvula, un mecanismo y un tubo de salida de aire. La función principal del conjunto de la válvula de purga es prevenir una sobrecarga de aire al ingresar al compresor centrífugo. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Sistema de aceite del motor Makila 1A

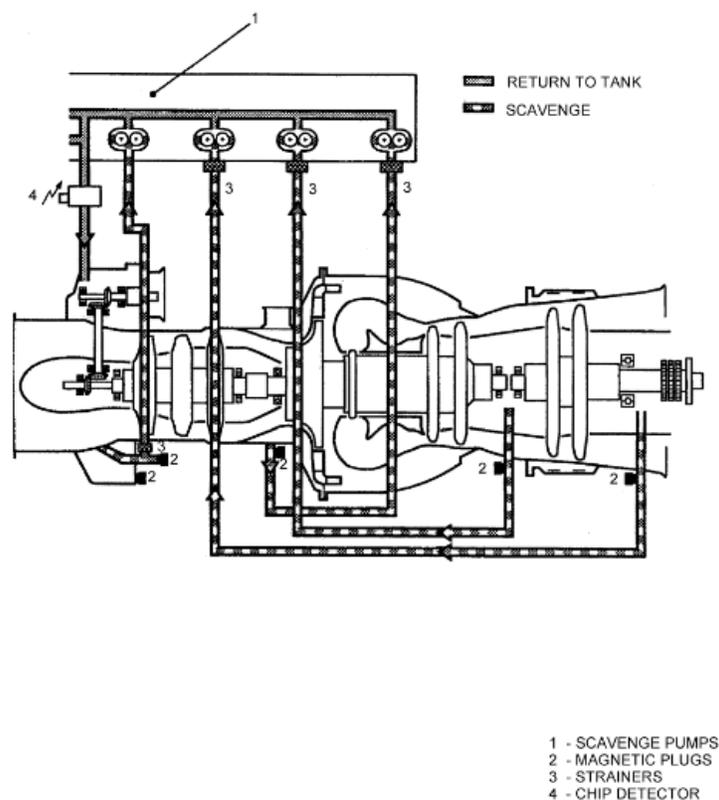
Descripción General

El sistema de aceite del motor es reconocido por su diseño de cárter seco, su capacidad de mantener una presión variable y su utilización de aceite sintético. Integrado al motor asegura el almacenamiento del volumen necesario a la lubricación del motor con una capacidad máxima de 16.5 l. Algunos de sus componentes, como las bombas de retención y barrido, los dispositivos de indicación y los filtros se encuentran ubicados dentro del motor.

Las funciones principales del sistema de aceite son proporcionar aceite a la aeronave, lubricar y enfriar el motor, así como también facilitar el retorno del aceite. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Figura 13

Sistema de aceite del Motor Makila 1A



Nota. Representa los componentes del sistema de aceite del motor Makila 1A. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

La función de lubricación se dirige a diversos componentes, incluyendo los cojinetes del generador de gas en su parte frontal y posterior, los cojinetes del compresor axial y centrífugo, el rodamiento del eje, la caja de accesorios y el reductor.

En cuanto al indicador de aceite, el sistema utiliza conectores magnéticos y un indicador de bloqueo de filtro, los cuales se encuentran ubicados en el motor. Estos elementos proporcionan información en el panel de la cabina de la aeronave sobre varios parámetros, como la presión mínima de aceite, la temperatura y el bloqueo del filtro. Para

retener el aceite, se emplea una bomba de retención que devuelve el aceite al depósito después de que cae por gravedad hacia los componentes. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Sistema de combustible del motor Makila 1A

Descripción General

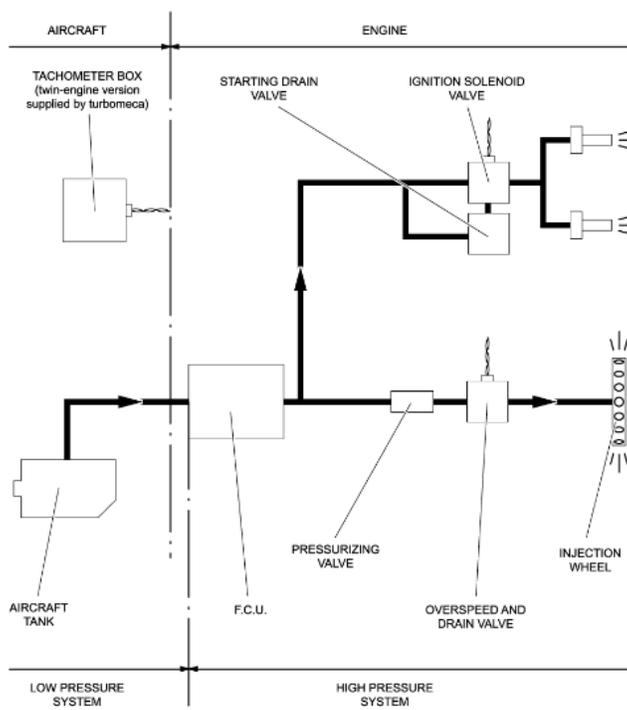
El sistema de combustible está compuesto por varios componentes esenciales tanto para el motor como para la aeronave. Estos componentes incluyen la Unidad de Control de Combustible (FCU), una bomba, un filtro, dispositivos de control de combustible, una válvula solenoide, una válvula de drenaje, una válvula de presurización y una rueda de inyección. El objetivo de este sistema es suministrar, distribuir, controlar, medir e inyectar combustible al motor. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Cuando el motor está apagado, el sistema carece de presión y las válvulas principales y auxiliares están cerradas. La bomba no está operativa y la válvula de drenaje se encuentra abierta. Las electroválvulas de encendido y de sobrevelocidad se cierran.

Durante la fase de arranque, al presionar el botón de arranque, el generador comienza a moverse y se activa el sistema de encendido. La electroválvula se activa y se drena el sistema de inyección a través de la válvula de drenaje. El combustible fluye hacia los inyectores mediante la rueda de inyección, se enciende y luego se desactiva el motor de arranque y la unidad de encendido. Los inyectores son ventilados mediante una presión P2.

En condiciones de operación normales, se suministra combustible a presión, el flujo de combustible se mide mediante el sistema de control y el combustible no utilizado se redirige a la entrada de la bomba mediante una válvula de alivio de presión.

Finalmente, durante la parada, el motor se apaga y no hay inyección de combustible. La válvula de drenaje de inyección se abre para extraer el combustible no consumido de la rueda de inyección. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Figura 14*Sistema de combustible del motor Makila 1A*

Nota. La imagen representa el diagrama de una descripción general del sistema de combustible. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

Inspecciones para el Motor Makila 1A

Las inspecciones del motor son llevadas a cabo por personal experto y capacitado con el objetivo de garantizar el funcionamiento adecuado del componente y asegurar su aptitud para el vuelo. Estas revisiones se realizan de acuerdo con las pautas establecidas en el Manual de Mantenimiento de Aeronaves (AMM) de Safran y su frecuencia depende de la cantidad de horas de vuelo acumuladas por el motor. Es importante llevar un registro detallado de todas las tareas de mantenimiento realizadas en el libro de registro del motor. De esta manera, se asegura un historial completo y actualizado de las intervenciones realizadas en el motor.

Frecuencia de inspecciones

Inspecciones programadas

Las inspecciones programadas deben llevarse a cabo de acuerdo con los intervalos de tiempo establecidos, ya sea en horas, días o años, según corresponda. Estas inspecciones están determinadas por las tareas de mantenimiento requeridas y pueden variar según el tipo de operación necesaria. El Manual de Mantenimiento de Aeronaves (AMM) de Safran, en su sección N.- X 292 G2 452 2, proporciona una lista detallada de las inspecciones programadas que deben realizarse:

- Inspecciones de mantenimiento.
- Inspecciones a las 25, 50, 100, 250, 500, 750, 1000, 1500, 2500, horas de vuelo.
- Enjuague y limpieza química del motor.

Inspecciones no programadas

Estas inspecciones no programadas se refieren al examen del motor en condiciones específicas. Según el Manual de Mantenimiento de Aeronaves (AMM) de Safran, en su sección N.- X 292 G2 452 2, se enumeran las inspecciones no programadas que pueden llevarse a cabo. Estas inspecciones se realizan en casos de tareas obligatorias de mantenimiento, cuando el motor ha operado más allá de los límites establecidos, después del uso de extintores, después de incidentes durante y fuera de las operaciones, cuando el motor ha operado en una atmósfera particular, en presencia de contaminación de combustible y después de procedimientos de mantenimiento específicos. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Tipos de limpieza para el motor Makila 1A

Enjuague

Se hace la limpieza del motor por enjuague para ayudar a eliminar de forma inmediata las partículas corrosivas que se encuentran en el motor que ha operado en atmosferas contaminadas de ambiente corrosivo, salino o arenoso (Safran Helicopter Engines, 2022).

Durante arranque del motor.

Este proceso de limpieza se lleva a cabo durante el arranque del motor utilizando una herramienta especial que genera presión de agua. Se deben tener en cuenta diversas especificaciones, como una mezcla homogénea adecuada, temperatura controlada, caudal de líquido que entra en el motor y la presión de aire utilizada. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Durante puesta en marcha del motor.

Para llevar a cabo este procedimiento, se utiliza una herramienta especial y es importante considerar algunas especificaciones previas. Se debe verificar que las tomas de aire estén cerradas y que el caudal utilizado se encuentre dentro del rango establecido. Es fundamental seguir adecuadamente el procedimiento recomendado en el AMM para lograr un enjuague efectivo y evitar posibles daños en los componentes giratorios del motor. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Limpieza química

Esta forma de limpieza implica la eliminación de suciedad, insectos y contaminación de aceite utilizando productos desengrasantes especiales. Solo se puede llevar a cabo durante el arranque del motor, utilizando una herramienta especial en un área bien ventilada. Se deben seguir especificaciones precisas en cuanto al caudal, presión, temperatura y tiempo de limpieza, seguido de un proceso de enjuague y secado. Es importante tomar precauciones utilizando equipo de protección personal (EPP) para evitar daños en la piel, ya que el contacto

con los productos químicos utilizados en la limpieza puede ser perjudicial para la salud. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Protección interna y externa

Realizar una limpieza interna y externa del motor es importante para proteger las superficies internas, como los compresores y las entradas de aire. Este proceso se lleva a cabo utilizando productos especiales diseñados para prevenir la corrosión, y se requiere el uso de una herramienta especial. Es fundamental tener en cuenta el uso del equipo de protección personal (EPP) y seguir las especificaciones proporcionadas en el Manual de Mantenimiento del Motor (AMM). De esta manera, se garantiza una limpieza efectiva y segura. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Productos de limpieza para el motor Makila 1A

Agua

Para llevar a cabo la limpieza, se requiere utilizar una pequeña cantidad de agua destilada o desmineralizada. En caso de no contar con este tipo de agua, el agua utilizada debe cumplir con ciertas características, como tener un aspecto claro e incoloro, y estar libre de impurezas. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Agua destilada

Debe estar en un estado limpio, sin impurezas e incolora, con una resistencia de 25°C, una conductividad de 5 micro Siemens/centímetro $\mu\text{S}/\text{cm}$, un pH de 5 a 7,5 y un máximo de 2mg/l.

Agua desmineralizada

Debe estar en un estado limpio, sin impurezas e incolora, con una resistencia de 25°C, una conductividad de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, un pH de 5 a 7,5 y un máximo de 10mg/l (Safran Helicopter Engines, 2022).

Productos especiales.

La limpieza del motor se realiza utilizando una variedad de productos especiales recomendados por Safran Helicopter Engines. Se emplean diferentes métodos de limpieza, como el enjuague, la limpieza química y la protección tanto interna como externa del motor. Estos procedimientos pueden llevarse a cabo durante la puesta en marcha o el arranque del motor. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Tabla 5

Productos especiales para limpieza del motor

Productos especiales	Durante el Arranque	Durante puesta en Marcha	Protección interna y externa
ARDROX 6367 (Turboclean 2)	X	X	
ARDROX 6368 (Turboclean 2 RTU)	X		
RMC-G21	X	X	
TURCOJET WASH K3	X	X	
ZOK 27	X	X	
ZOK MX			
ARDROX 3965 – 3698			X
RUSTILO DW 377			X
TURCO 5442 WD EXTRA			X
TURBO PROTEC SC			X

Nota. La tabla representa varios de los productos como ADROX, TURCOJET, ZOK, RMC, son los que autoriza el manual del fabricante utilizarlos para realizar una buena tarea de limpieza del motor. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

Varios de estos productos antes de su utilización de acuerdo con la tarea que se vaya a realizar deben pasar por un proceso de descalcificación. Además, para conseguir un mayor beneficio en la limpieza y enjuague se debe perfeccionar la mezcla con una temperatura máxima de 60° (Safran Helicopter Engines, 2022).

El volumen sobre volumen en porcentaje (%v/v) recomendado, según la temperatura que se indica en la (Tabla 6).

Tabla 6

Proporción de mezcla para enjuague, limpieza

Temperatura T0	Producto de limpieza	Agua
$T0 \geq 5^{\circ}\text{C}$	20	80
$5^{\circ}\text{C} > T0 > -8^{\circ}\text{C}$	20	65
$-8^{\circ}\text{C} \geq T0 \geq -24^{\circ}\text{C}$	20	50

Nota. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

La siguiente tabla representa las variantes del producto de limpieza Adrox:

Tabla 7*Variantes de ADROX y sus características*

VARIANTE	DESCRIPCIÓN
ADROX 3702	Autorizado para inhibir la corrosión en una concentración de 8 a 10% a una temperatura de 65+-10°C
ADROX 3705	Inhibe la corrosión en una concentración de 5G/L a una temperatura de 65+-05°C
ADROX396/ 1E8	Aprobado para su corta duración sin necesidad de retirarlo.
ADROX 3702	25% de volumen según la temperatura ambiente.

Nota. La tabla representa las características importantes de las variantes del producto Adrox según el AMM Safran, Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

Capítulo III

Desarrollo del tema

Introducción

En este capítulo se proporciona información detallada sobre el proceso llevado a cabo para realizar una Inspección de 100 horas en el motor MAKILA 1A del helicóptero AS 332 B SUPER PUMA perteneciente a la Brigada de Aviación del Ejército Nro. 15 PAQUISHA. Según el AMM Safran Helicopter Engines y la tarea de mantenimiento N.- 71-01-03-610-801-A01, se requiere utilizar una herramienta especial para llevar a cabo el lavado de los compresores como parte de los pasos finales y correctos de esta inspección programada. Antes de realizar las pruebas de vuelo del helicóptero, es necesario realizar la limpieza química y el enjuague del motor, lo que implica lavar los compresores. Esta tarea se menciona en una inspección no programada descrita en la carta de mantenimiento N.- 71-01-03-610-801-A01. Por lo tanto, se detalla la implementación y el proceso de funcionamiento de una herramienta de presión de flujo de agua.

Seguridad para realizar un mantenimiento

Es importante considerar medidas de seguridad para prevenir incidentes o accidentes tanto para el personal como para el equipo involucrado en el proceso. Además, es fundamental tener en cuenta las notas de advertencia y precaución detalladas en la tarea de mantenimiento que se llevará a cabo.

Algunas de las precauciones a tomar antes de realizar una tarea de mantenimiento son:

- El personal debe utilizar equipo de protección personal.
- La utilización e interpretación del manual debe ser correcta por parte del técnico.
- La documentación y AMM se encuentren actualizados

- El lugar de trabajo para realizar el mantenimiento debe ser adecuado y mantenerse limpio.
- La manipulación correcta de las herramientas

Proceso de inspección programada por horas para el motor.

La realización de inspecciones de mantenimiento en el motor es de vital importancia para garantizar su estado aeronavegable y asegurar su correcto funcionamiento. Estas inspecciones se basan en las tareas de mantenimiento establecidas en el AMM Safran Helicopter Engines, las cuales están numeradas para facilitar la identificación de la descripción de cada tarea relacionada con los componentes del motor. La numeración de estas tareas se divide en seis grupos: los primeros tres grupos corresponden al sistema ATA, que permite identificar el capítulo, la sección y el tema relacionados; el grupo 4 indica la operación de inspección que se llevará a cabo; el grupo 5 se refiere al número de serie de las tareas o subtareas; y finalmente, el grupo 6 se utiliza para identificar las modificaciones de configuración de los componentes. (Safran Helicopter Engines, 2009)

Inspección de 100 Horas

Antes de comenzar la inspección de 100 horas del motor, es importante seguir las medidas de seguridad mencionadas anteriormente para proteger al personal involucrado. Como primer paso, se procedió a limpiar el hangar donde se llevó a cabo el mantenimiento. Luego, se retiraron los protectores de la toma de aire del motor y de la salida de la turbina de potencia para llevar a cabo un lavado completo de la aeronave. Posteriormente, se quitaron los carenados del motor y se comenzó la inspección siguiendo la tarea de mantenimiento N.-05-20-10-201-820 del AMM Safran Helicopter Engines, como se indica en el Anexo A.

Control del tiempo de autorrotación del motor.

Procedimiento

Al realizar el control del tiempo de autorrotación del motor primero se tomó en cuenta que las temperaturas se establezcan en el valor N1 correspondiente al paso bajo completo en tierra:

- 1 minuto si la temperatura ambiente es superior a -10 °C (14 °F),
- 2 minutos si la temperatura ambiente es inferior a -10 °C (14 °F).

Retrase el acelerador, vaya más allá de la muesca de arranque y coloque el acelerador en la muesca de "SHUTDOWN" y observe:

- El encendido de la luz del indicador de sobre velocidad "OVSP" al 25 % de N2 (5.700 rpm).
- Los diferentes parámetros.
- El tiempo de parada.

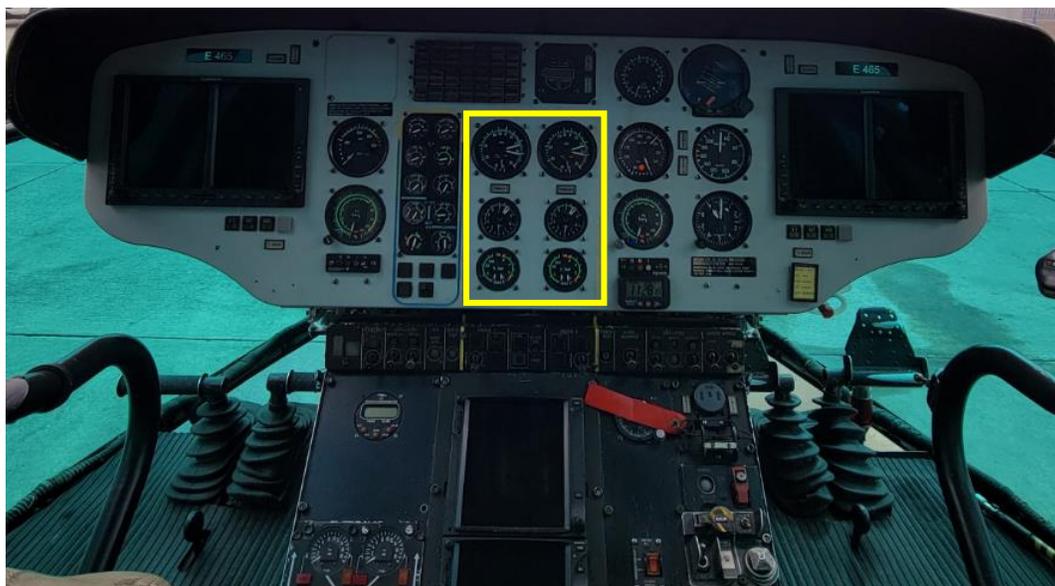
Durante la parada del motor, registre el tiempo de parada entre N1 = 50 % (16.600 rpm) y N1 = 0 %. El tiempo de parada debe ser superior a 105 s; proporciona información sobre el correcto estado mecánico del motor.

El tiempo de parada se mide normalmente con el indicador de régimen del motor N1. Si el tiempo de parada es inferior o igual a 105 s o si se escucha algún ruido anormal, realice una medición visual del tiempo de parada del conjunto giratorio del motor.

Si la medición visual del tiempo de parada del conjunto giratorio del motor es inferior o igual a 105 s (Consulte la Tarea TSB 71-00-06-815-801). (Tools Safran Helicopter Engines, 2022)

Figura 15

Panel de instrumentos de la aeronave



Nota. Representa los valores N1 correspondiente a los dos motores de la aeronave.

Verificar visualmente las palas del compresor axial 1ª etapa.

Procedimiento de inspección.

Examine visualmente los álabes de las ruedas axiales de la 1ª etapa.

Realice una inspección con baroscopio de las ruedas axiales de la 2ª y 3ª etapa si la rueda axial de la 1ª etapa muestra signos de impacto.

Criterios de aceptación para los álabes de rueda axial de 1ª etapa:

Tabla 8

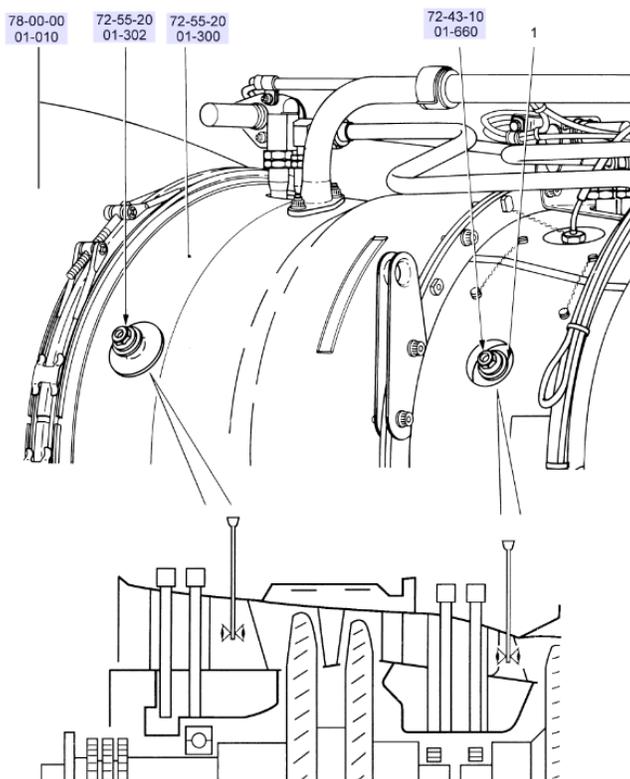
Criterios de aceptación para los álabes de rueda axial de 1ª etapa

RECOMENDACIONES	CRITERIOS
Grietas.	No permitidas.
Impactos en el borde de ataque.	Se admiten impactos en las palas de la primera etapa. Remodelar las palas de la primera etapa (Referirse a la Tarea 72-32-00-280-801).
Rozamiento de las palas.	No permitido.

Nota. La tabla representa los criterios de aceptación para los alabes de la rueda axial de la 1ª etapa según el AMM Safran. Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

Inspección visual del soporte de estrella.

El módulo de turbina de potencia M05 requiere una inspección boroscópica para asegurar su funcionamiento adecuado y detectar posibles daños o problemas. Esta inspección se lleva a cabo utilizando un conjunto de baroscopio y siguiendo ciertos procedimientos. La Figura 16 proporciona una referencia visual para llevar a cabo la inspección correctamente.

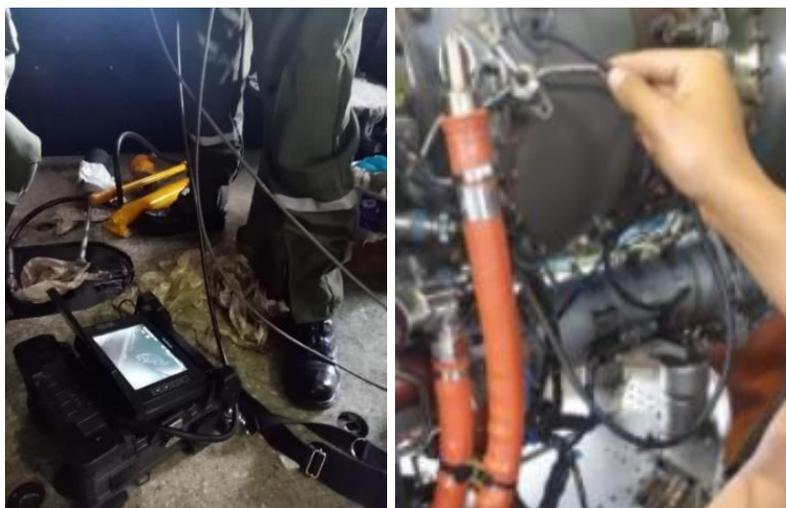
Figura 16*Módulo de turbina de potencia M05*

Nota. Inspección visual del soporte estrella (78-00-00-01-010) desde el interior del conjunto del tubo de escape.

Procedimiento

En primer lugar, es necesario desbloquear y retirar los tapones ubicados en los lados derecho e izquierdo de las paletas guía de la boquilla (1) y el conjunto del difusor de escape (72-55-20-01-300). Estos tapones se identifican como (72-43-10-01-660) y (72-55-20-01-302).

Luego, utilizando el conjunto de boroscopio, se debe inspeccionar el interior del módulo de turbina de potencia M05 a través de los orificios designados.

Figura 17*Inspección con el conjunto de Boroscopio*

Nota. Inspección con el conjunto de Boroscopio del interior del módulo de turbina de potencia M05 a través de los orificios designados.

Para inspeccionar visualmente la 2ª etapa de la turbina de potencia, se deben considerar los siguientes criterios:

1. En caso de rozaduras en la parte inferior de la carcasa de la 2ª etapa, se permite este daño siempre y cuando no exceda las 50 horas de funcionamiento. Durante este período, se debe evitar arrancar o girar manualmente el rotor de la aeronave cuando el motor esté caliente.
2. Si se observan otros daños diferentes a los mencionados anteriormente, se debe contactar con la red TURBOMECA para recibir orientación adicional.

Además, se debe inspeccionar visualmente el soporte estrella desde el interior del conjunto del tubo de escape (78-00-00-01-010). En esta inspección, se deben buscar grietas de tipo B y C según lo especificado en la Tabla 08. Para examinar los puntales desde el interior, se recomienda utilizar un conjunto de generador de luz y un espejo.

Tabla 9

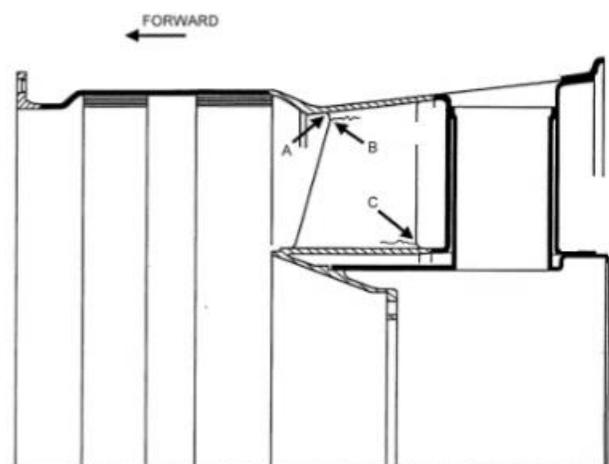
Tipos de daño en los álabes de rueda axial de 1ª etapa

Tipo de daño	Descripción y ubicación del daño	Criterios de aceptación (longitud en mm)
A	Grieta interna/externa en la unión entre puntal y envoltura externa.	Máx. longitud: 65 mm en cada punto de unión (cuatro puntos de unión).
B	Grieta axial en el extremo del puntal en el lado de la punta, borde de ataque o borde de salida.	Máx. longitud: 25mm Solo se acepta una fisura tipo B o C por par de puntales (Figura 18).
C	Grieta axial en el extremo del puntal en el lado de la raíz, borde de ataque o borde de salida.	Solo se acepta una fisura tipo B o C por par de puntales (Figura 18). Máximo de dos grietas aceptables (1 por puntal en 2 puntales separados): <ul style="list-style-type: none"> • Si una grieta en un solo puntal: longitud ilimitada siempre que no sea una grieta de un extremo al otro del puntal (el puntal no debe separarse). • Si dos fisuras (una por biela en dos bielas no adyacentes): una de las dos fisuras no debe exceder los 30 mm de longitud, la longitud de la otra fisura puede ser ilimitada siempre que no sea una fisura transversal desde un extremo del puntal al otro (el puntal no debe separarse).

Nota. La tabla representa las características importantes de las variantes del producto Adrox según el AMM Safran, Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

Figura 18

Clasificación de los tipos de daño de los álabes de rueda axial de 1ª etapa



Nota. La tabla representa las características importantes de las variantes del producto Adrox según el AMM Safran, Tomado de (Safran Helicopter Engines, 2022).

Finalmente instalar los tapones mencionados utilizando grasa VANAL para asegurar un sellado adecuado. Los tapones deben ser enroscados en los lugares correspondientes en el módulo de turbina de potencia M05.

Una vez que los tapones estén correctamente enroscados, se debe aplicar un torque de apriete de 20 Nm (177,015 lbf.in) para asegurar que estén bien sujetos. Se recomienda utilizar una herramienta de torque adecuada para lograr este nivel de apriete.

Además, para garantizar una sujeción adicional y prevenir el aflojamiento de los tapones, se debe utilizar alambre de seguridad de acero inoxidable con un diámetro de 0,5 mm. Con la instalación adecuada de los tapones y el cumplimiento de las especificaciones de apriete y el uso del alambre de seguridad, se asegura que los tapones permanezcan en su lugar de manera segura y se evita cualquier posible aflojamiento que pueda comprometer el funcionamiento del módulo de turbina de potencia M05.

Limpieza del filtro de aire P2 de las válvulas de descarga

Procedimiento

Desmontaje del filtro de la válvula de purga

En esta sección, se proporcionan instrucciones para retirar el filtro de la válvula de purga. A continuación, se detallan los pasos a seguir:

1. Desbloquee y retire el tapón (02-010) de la tapa (02-180).
2. Retire y deseche el sello (02-030).
3. Utilizando una varilla roscada M3x0,50. Retire el resorte (02-020) y el filtro (02-040).

Examen del filtro de la válvula de purga

En esta sección, se describe cómo examinar el filtro de la válvula de purga. Siga estos pasos:

4. Examine el filtro (02-040).
5. Si el filtro (02-040) está sucio, sumérgalo en alcohol isopropílico y luego realice una operación de secado a contracorriente con aire comprimido seco.

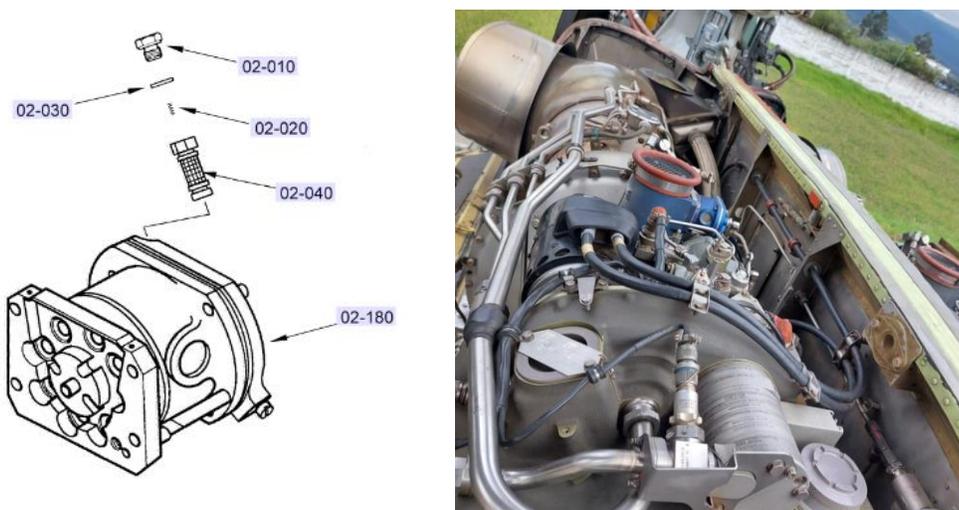
Instalación del filtro de la válvula de purga

En esta sección, se indican los pasos para instalar el filtro en la válvula de purga. A continuación, se detallan los pasos a seguir:

6. Instale el filtro (02-040) con el resorte (02-020).
7. Instale el tapón (02-010) con un nuevo sello (02-030).
8. Apriete el tapón (02-010) al par ($5 \pm 0,5$ Nm, $44,25 \pm 4,425$ lbf.in).
9. Bloquee los diferentes sujetadores con alambre de bloqueo de acero inoxidable de 0,5 mm de diámetro.

Figura 19

Ubicación del filtro de la válvula de purga



Nota. La imagen representa la ubicación de la válvula de purga en el motor y la ubicación exacta del filtro de aire P2. (Safran Helicopter Engines, 2022).

Verificación de los tapones magnéticos mecánicos. POST TU217.

Durante la inspección y limpieza, es importante seguir las instrucciones dispuestas por el fabricante.

Si la cantidad de depósitos es pequeña, déjelos en el cabezal magnético (01-012) o (01-102). Sin embargo, si hay una gran cantidad de depósitos, también inspeccione el filtro).

Primero, desengrase el cabezal magnético (01-012) o (01-102) utilizando alcohol isopropílico. A continuación, recoja los depósitos frotando el cabezal magnético (01-012) o (01-102) sobre papel adhesivo. Luego, analice visualmente los depósitos, se recomienda usar una lupa con una potencia de aumento de x6 para una mayor precisión en la observación.

A continuación, se detalla las partículas que en una inspección visual pueden ser encontradas en los tapones magnéticos mecánicos, para así determinar los pasos a seguir en función de los resultados de la inspección. (Ver Anexo B).

Tipos de partículas:

- Hilos: mechones largos y delgados de tipo cabello
- Virutas de mecanizado: piezas de material eliminadas con una herramienta de corte.
- Polvo: partículas muy finas, en forma de polvo. Puede ver estas partículas a simple vista (granulometría de partículas de más de 50 μm).
- Partículas de aceite quemado: partículas a base de carbono. El carbono es un elemento no metálico. Aquí el carbón, asociado o no asociado con la plata, generalmente fue causado por la coquización del aceite.

Copos, astillas:

- Copos: lengüetas delgadas que se separan de la superficie de una pieza
- Astillas: fragmentos separados de un cuerpo duro.
- Fragmentos de la jaula de separación del rodamiento: piezas de material de 2 mm de largo y 1 mm de ancho.
- Partículas no magnéticas: Hylomar o partículas de plata, u otras partículas antimagnéticas.

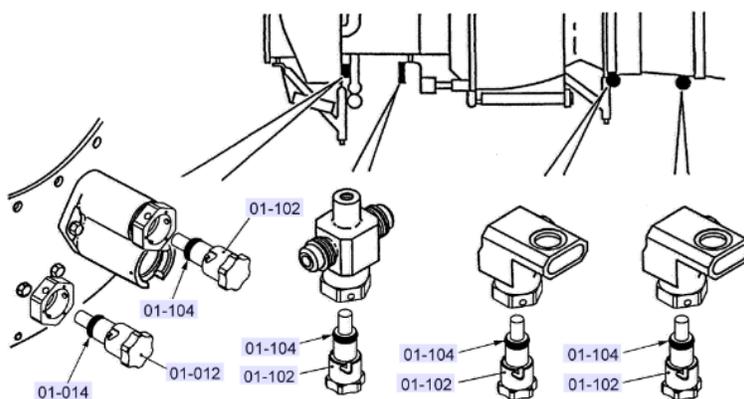
Realice la prueba de magnetismo del cabezal magnético para verificar su funcionamiento adecuado.

Asegúrese de que todos los conjuntos de soporte del enchufe magnético estén en buenas condiciones, y en caso de encontrar daños, reemplace el o los ensamblajes del soporte del enchufe magnético

Finalmente, compruebe las juntas tóricas (01-014) o (01-104) y reemplácelas si es necesario para garantizar un sellado adecuado.

Figura 20

Ubicación de los tapones magnéticos mecánicos



Nota. Representa la ubicación de los diferentes tapones mecánicos que existen en el motor.

Limpieza química del motor turboeje en posición de arranque.

Después de completar el diseño de la herramienta, se llevó a cabo la limpieza del compresor. Es crucial tomar precauciones al manipular estos productos, como el uso del Equipo de Protección Personal (EPP), ya que el contacto prolongado con la piel puede ocasionar daños como quemaduras. Esto se debe a que estos productos contienen sustancias químicas peligrosas con fuertes propiedades alcalinas.

Para llevar a cabo esta tarea, siga los siguientes pasos:

- 1) Hay que asegurar que el equipo generador de presión de flujo de agua esté configurado correctamente para su uso.
- 2) Prepare una mezcla de limpieza química de 4 litros en el tanque del generador de presión. Asegúrese de homogeneizar la mezcla antes de usarla. Se recomienda utilizar preferentemente el producto de limpieza ZOK 27 o ZOK MX.
- 3) Verifique que las purgas de aire recomendadas por el fabricante de la aeronave estén cerradas.

- 4) Ajuste el flujo de inyección del depósito generador de presión, para obtener un caudal de inyección entre 7 y 8 l/min. Si es posible, puede utilizar una herramienta generadora de presión distinta al generador de presión siempre que pueda conectarla al dispositivo de pulverización y cumpla con los volúmenes y flujos especificados.
- 5) Conecte el tubo del tanque del generador de presión al racor de lavado del helicóptero (consulte la documentación del fabricante de la aeronave) o al dispositivo de pulverización.

Asegúrese de tener en cuenta las siguientes precauciones:

- a) Asegúrese de que el tiempo de suministro del arranque-generador cumpla con los criterios del manual de vuelo de la aeronave.
 - b) Siga el procedimiento de arranque descrito en el manual de vuelo de la aeronave.
- 6) Inyecte toda la mezcla de limpieza química durante varios arranques. Permita que la mezcla de limpieza química penetre en la vía de aire durante 5 a 20 minutos entre cada arranque. Evite que la mezcla de limpieza química se seque en la vía de aire. Tenga en cuenta que el tiempo acumulado que la mezcla de limpieza química permanece en la vía de aire es importante para la eficiencia de la limpieza.

Tenga en cuenta las siguientes notas adicionales:

- a) Inicie la inyección cuando el motor turboeje esté al 10% de N1.
 - b) Continúe la inyección después de que el motor de arranque se apague hasta el 10% de N1.
- 7) Realice un enjuague de la ruta de aire girando.
 - 8) Retire las herramientas utilizadas.
 - 9) Restablezca la válvula de purga a su configuración inicial.

10) Repita el mismo procedimiento en el otro motor turboeje.

Finalmente, se desconectó el equipo y se limpió la bandeja de la sección del motor, ya que suele haber agua que cae en ella durante este procedimiento.

Como advertencia no respirar los vapores de los productos anticongelantes y de limpieza, trabaje en un área bien ventilada. No permita que estos productos estén en contacto con la piel, use guantes de caucho sintético y gafas de seguridad o pantalla facial. los productos anticongelantes pueden ser venenosos.

Recuerde seguir las instrucciones específicas del fabricante de la aeronave y consultar el manual de vuelo correspondiente para conocer cualquier limitación o recomendación adicional.

Implementación de la Herramienta.

Descripción general

La incorporación de esta herramienta en la Brigada de Aviación del Ejército Nro. 15 "PAQUISHA" traerá beneficios significativos para realizar tareas de mantenimiento en los distintos helicópteros de su flota. Esta herramienta cuenta con una bomba que genera la presión y el flujo necesarios para llevar a cabo la limpieza de los compresores de los helicópteros. Además, se dispone de un medidor de flujo ubicado en la salida de la bomba, que permite controlar el flujo de manera precisa.

Reservorios cilíndricos

Los depósitos cilíndricos ya disponibles se construyeron utilizando una lámina de acero con un espesor de 2.5 mm. Se tomaron las medidas de 250 mm x 370 mm y se marcaron en la lámina para su posterior corte mediante oxicorte. Se verificaron las medidas y luego las láminas se introdujeron en una roladora para darles forma cilíndrica. Posteriormente, se soldaron utilizando soldadura eléctrica con electrodo E60-10, tanto en la parte exterior como en la interior.

Luego, se realizaron soldaduras con soldadura MIG y alambre de 0.9 mm, sin pulir la soldadura.

Además, se cortaron cuatro partes redondas con un diámetro de 250 mm que se utilizaron para construir las tapas torisféricas. Una vez construidas, se perforaron orificios para la entrada y salida del líquido, así como para la entrada de aire y para conectar un manómetro. El orificio de entrada del líquido se cortó mediante oxicorte con un diámetro total de 2" y se ubicó en el centro de la tapa. El orificio para la entrada de aire y presurización del cilindro se situó a 170 mm de distancia desde el centro de la tapa. El último orificio se ubicó en el centro de la tapa en la parte inferior, por donde saldrá el líquido ya presurizado. Para la construcción de estos orificios, se realizaron perforaciones guía con brocas de 3/16" y luego se perforaron con brocas de 1/4" y 1/2" respectivamente. Posteriormente, se soldó un tubo de 1/2" con una longitud de 50 mm y un extremo roscado en la unión de los tubos y las tapas, utilizando soldadura con electrodo E60-10 tanto en la parte interior como en la exterior.

El orificio para la conexión del manómetro se ubicó en el centro del cilindro, a una altura de 95 mm desde la parte superior. Se perforó utilizando brocas de 3/16", 1/4" y 1/2", y luego se soldó una pieza de 1". Para el acabado de las soldaduras, se utilizó soldadura MIG con alambre de 0.9 mm. El ensamblaje completo de los cilindros se realizó utilizando soldadura eléctrica con electrodo E60-10, tanto en la parte interior como en la exterior. Finalmente, se aplicó un último cordón de soldadura utilizando soldadura MIG con alambre de 0.9 mm, sin pulir la soldadura.

Figura 21*Reservorio cilíndrico*

Nota. Representa el diseño disponible del reservorio cilíndrico.

Características de los reservorios cilíndricos construidos

DIÁMETRO: 280mm.

ALTURA: 800mm.

EJE: Vertical.

CAPACIDAD NOMINAL: 5 galones.

PRESIÓN MÁXIMA: 150 psi. (10.34 bares)

MATERIAL: Plancha de Tol e= 2.5mm.

ACOPLES: Los requeridos.

ACABADOS: Soldaduras pasivas no pulidas.

Construcción de coche transportador

El coche transportador se construyó utilizando un tubo cuadrado de 1 pulgada y 2 mm de grosor, con una longitud total de 600 mm. Este tubo fue dividido en cuatro secciones de 600 mm, utilizando una sierra manual. Luego, se cortaron dos pedazos adicionales de 87 mm donde se ubicarían los reservorios cilíndricos. (Ver Anexo D)

El ensamblaje de las secciones cortadas del tubo permitió dar forma al coche para transportar los tanques. Posteriormente, se soldó toda la estructura utilizando soldadura eléctrica y electrodo E60-11. Inmediatamente después de la soldadura, se fijaron las ruedas al coche. Además, se realizó un corte adicional de 883 mm que se utilizó para crear la manija del equipo.

Por último, se perforaron seis agujeros con una broca de 1/8 de pulgada y un agujero adicional con una broca de 1/4 de pulgada. Estas perforaciones se utilizaron para sujetar los reservorios cilíndricos al coche transportador. (Ver Anexo C)

Pintado del coche transportador y del tablero de control

Una vez finalizado el ensamblaje de todas las secciones que componen el coche transportador, se llevó a cabo el proceso de pintura del equipo. Para este fin, se utilizó pintura electrostática debido a su resistencia tanto a la corrosión como a los impactos.

Figura 22

Coche transportador



Nota. Pintado del coche transportador.

Análisis de elementos finitos

En este caso, el proceso comienza con la creación de la estructura en el software Inventor. Se utiliza Inventor para diseñar y modelar la estructura en un entorno tridimensional. Una vez que se completa el diseño en Inventor, se puede exportar el modelo en un formato compatible con ANSYS Workbench.

ANSYS Workbench es un entorno de simulación de ingeniería que permite realizar análisis estructurales, térmicos, fluidos y electromagnéticos, entre otros. Una vez que el modelo de la estructura se importa en ANSYS Workbench, se pueden realizar diversas simulaciones y análisis para evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones.

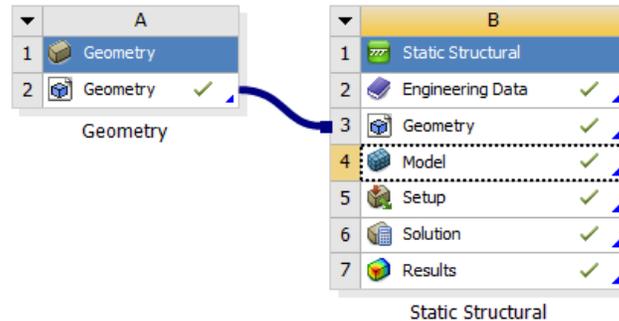
El proceso de importación del modelo desde Inventor a ANSYS Workbench puede variar dependiendo de las versiones específicas de los programas que se estén utilizando. En general, se puede utilizar el formato estándar de intercambio de archivos CAD, como STEP o IGES, para transferir el modelo de Inventor a ANSYS Workbench.

Una vez que el modelo se importa correctamente en ANSYS Workbench, se pueden definir las propiedades del material, las condiciones de carga y las restricciones necesarias para la simulación. A continuación, se procede a ejecutar el análisis y se obtienen los resultados correspondientes.

En resumen, el proceso implica dibujar y diseñar la estructura en Inventor, exportar el modelo en un formato compatible y luego importarlo en ANSYS Workbench para realizar análisis y simulaciones más detalladas. Esta integración entre ambos programas permite aprovechar las capacidades de diseño y modelado de Inventor y las capacidades de simulación y análisis de ANSYS Workbench para obtener resultados precisos y evaluar el rendimiento de la estructura de manera eficiente.

Figura 23

Geometría importada en formato. (.Step)



Nota. Previamente se dibujó la estructura en Inventor y se procede a importar la figura al programa ANSYS Workbench.

Selección del material

En este caso, se ha seleccionado el acero estructural A36 con un límite elástico de 250 MPa como el material para la estructura. El acero estructural A36 es un tipo de acero comúnmente utilizado en aplicaciones de construcción y estructurales debido a su buena ductilidad y resistencia.

El límite elástico de 250 MPa indica la máxima tensión que el acero puede soportar antes de sufrir deformaciones permanentes. Este valor proporciona una medida de la resistencia del material y se utiliza para evaluar su capacidad de carga y comportamiento bajo diferentes condiciones de carga.

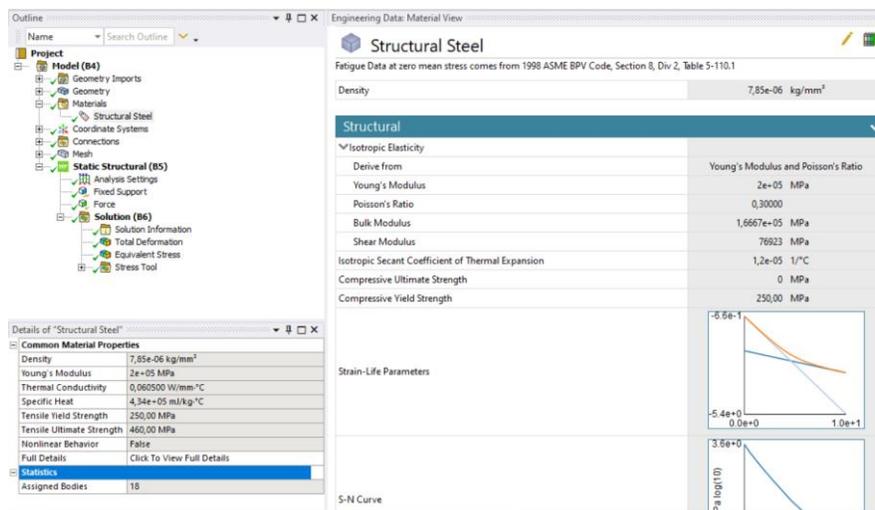
Al utilizar el acero estructural A36 en el análisis de la estructura en ANSYS Workbench, se pueden asignar las propiedades del material correspondientes, como el módulo de elasticidad, la densidad y el límite elástico. Estos parámetros son fundamentales para obtener resultados precisos y realistas en las simulaciones de comportamiento estructural.

Es importante destacar que la elección del material adecuado depende de los requisitos específicos del proyecto y las cargas esperadas. El acero estructural A36 es solo uno de los muchos materiales disponibles y su selección debe basarse en consideraciones de diseño y criterios de ingeniería adecuados.

En resumen, el material seleccionado para la estructura es el acero estructural A36 con un límite elástico de 250 MPa. Este material ofrece una combinación de resistencia y ductilidad adecuada para aplicaciones estructurales. Al asignar las propiedades del material en ANSYS Workbench, se pueden realizar análisis y simulaciones precisas para evaluar el rendimiento de la estructura bajo diferentes condiciones de carga.

Figura 24

Selección de material



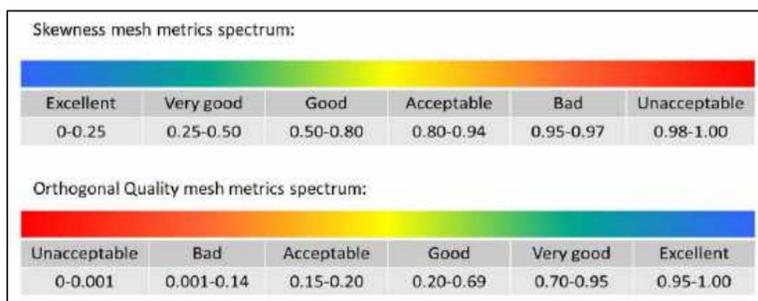
Nota. El material seleccionado es el acero estructural A36 de límite elástico 250 MPa.

Procedimiento de mallado

Para un análisis Confiable de elementos finitos es importante evaluar la calidad de mallado, la calidad de malla ortogonal se evalúa de 0 a 1, dónde 0 es mala y 1 es buena calidad como se observa en la siguiente figura.

Figura 25

Estándares de confiabilidad



Nota. En la siguiente figura se puede observar los valores en una escala de excelente a inaceptable.

En la Figura 26 se muestra la estructura correctamente mallada. La malla se refiere a la discretización de la estructura en elementos más pequeños, lo que permite realizar cálculos y análisis más detallados en ANSYS Workbench.

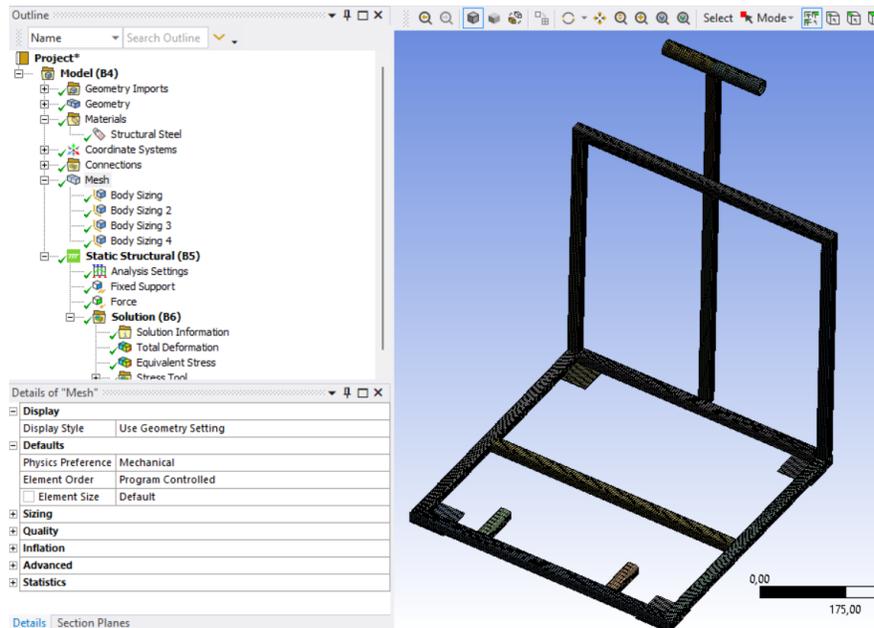
La estructura mallada correctamente es importante para obtener resultados precisos en las simulaciones. Una malla adecuada debe capturar de manera efectiva las características y detalles importantes de la geometría de la estructura, asegurando una representación fiel de la misma.

En ANSYS Workbench, existen diferentes métodos y herramientas disponibles para generar y refinar la malla de la estructura. Estas herramientas permiten ajustar la densidad de la malla en áreas críticas, donde se esperan mayores concentraciones de tensiones o deformaciones.

Al observar la estructura mallada correctamente, se puede inferir que se ha realizado un proceso de generación de malla exitoso y que se ha logrado una discretización adecuada de la geometría de la estructura en ANSYS Workbench. Esto proporcionará una base sólida para llevar a cabo análisis y simulaciones más precisas del comportamiento estructural.

Figura 26

Procedimiento de mallado

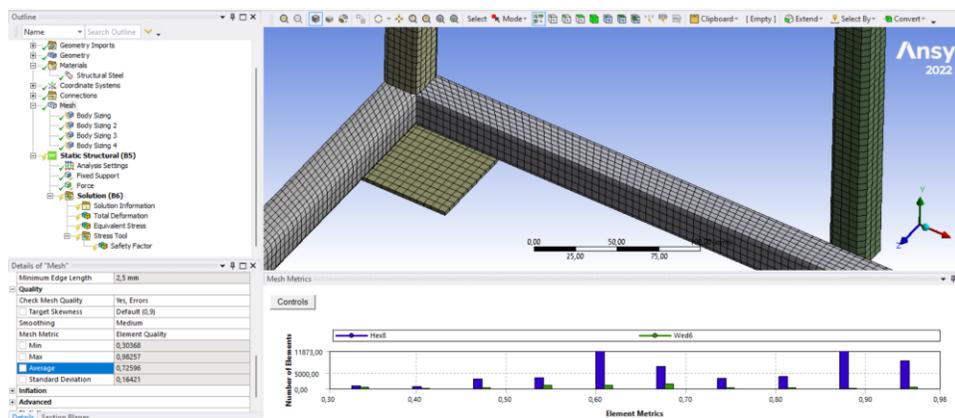


Nota. En la siguiente figura se puede observar la estructura mallada correctamente.

El valor obtenido en la calidad de mallado es de 0.72 equivalente a muy buena.

Figura 27

Valor de calidad de mallado



Nota. Mallado de 0.72 equivalente a muy buena.

Condiciones de frontera

En esta etapa, se realiza la selección de los puntos fijos de la estructura y se definen las cargas que ésta va a soportar.

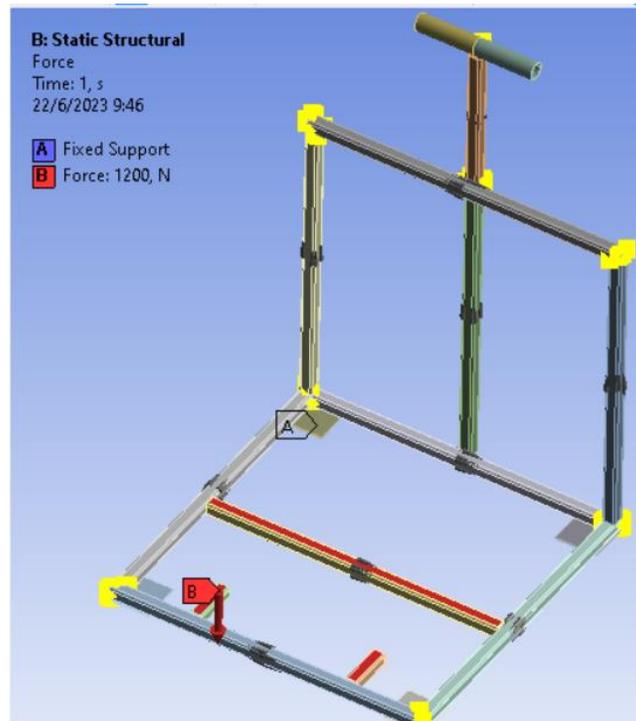
Los puntos fijos son aquellos que se consideran inmóviles o restringidos en su movimiento, lo que significa que no podrán desplazarse ni girar en respuesta a las cargas aplicadas. Estos puntos fijos pueden ser determinados por las condiciones de apoyo físicas de la estructura o por la necesidad de simular restricciones específicas en el análisis.

Por otro lado, las cargas pueden incluir fuerzas, momentos, presiones, temperaturas u otras acciones externas que actúan sobre la estructura y generan solicitaciones. Estas cargas pueden provenir de diversas fuentes, como la gravedad, el viento, las cargas sísmicas o las fuerzas aplicadas por componentes conectados a la estructura.

En resumen, en esta etapa se realiza la selección de los puntos fijos de la estructura, donde se restringe su movimiento, y se definen las cargas que la estructura va a soportar. Esto se logra mediante el uso de herramientas disponibles en ANSYS Workbench, que permiten asignar las condiciones de apoyo y aplicar las cargas correspondientes. Estas etapas son fundamentales para llevar a cabo un análisis preciso del comportamiento estructural.

Figura 28

Puntos fijos y cargas



Nota. En este paso se procede a seleccionar todos los puntos fijos de la estructura y las cargas que va a soportar la misma.

Resultados

En este caso, se ha determinado que existe una deformación máxima de 0.6 mm en una de las bases del compresor. Sin embargo, se concluye que esta deformación no afecta el funcionamiento de la estructura.

La deformación es el cambio en la forma o dimensiones de un objeto como respuesta a las cargas aplicadas. En este caso, la deformación máxima de 0.6 mm se refiere al desplazamiento o cambio en la posición de la base del compresor.

Después de realizar un análisis en ANSYS Workbench, se ha llegado a la conclusión de que esta deformación no tiene un impacto significativo en el funcionamiento de la

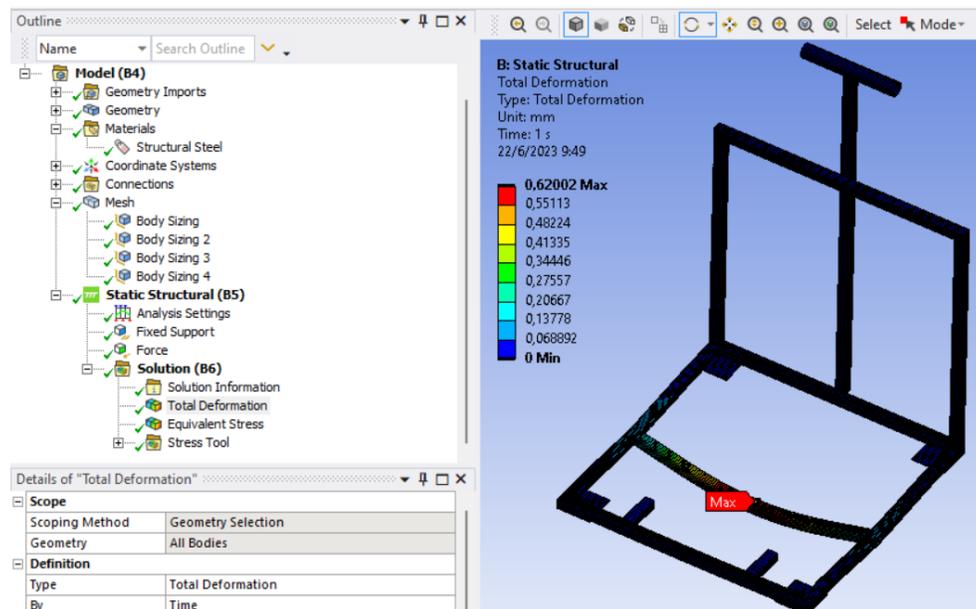
estructura. Esto implica que la estructura es capaz de soportar y absorber dicha deformación sin comprometer su integridad y estabilidad.

Es importante tener en cuenta que el criterio de aceptación de la deformación puede variar según las especificaciones del proyecto y los estándares de diseño aplicables. En este caso particular, se ha determinado que una deformación máxima de 0.6 mm es tolerable y no afecta negativamente el rendimiento de la estructura.

En resumen, se ha observado una deformación máxima de 0.6 mm en una de las bases del compresor, pero se ha concluido que esta deformación no afecta el funcionamiento de la estructura. Esto indica que la estructura es capaz de soportar y adaptarse a dicha deformación sin comprometer su rendimiento.

Figura 29

Deformación en las bases del compresor

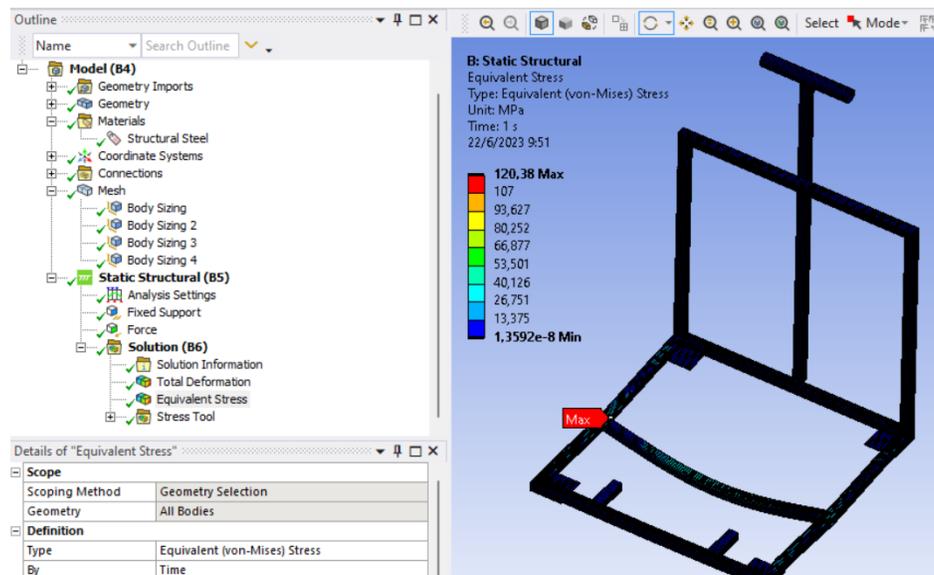


Nota. Se determino que existe una deformación máxima de 0.6 mm en una de las bases del compresor misma que no afecta el funcionamiento de la estructura.

Se ha determinado que la tensión máxima en la estructura es de 120 MPa, un valor inferior al límite elástico del material de 250 MPa. Esto indica que la estructura está dentro de los límites seguros de carga y es capaz de soportar las tensiones sin sufrir deformaciones permanentes.

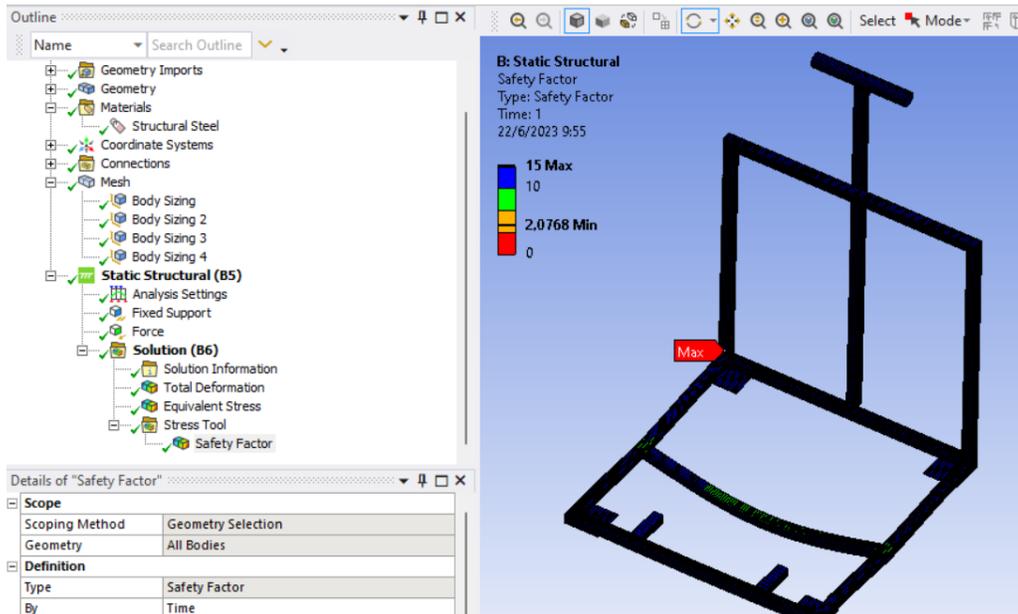
Figura 30

Tensión máxima en la estructura



Nota. Se determino que existe una tensión máxima en la estructura igual a 120 MPa valor que es menor a los 250 Mpa que soporta el material.

Finalmente se ha determinado que el coeficiente de seguridad de la estructura es de 2.07, lo que indica que la resistencia de la estructura es aproximadamente 2.07 veces mayor que la carga máxima esperada o la tensión máxima calculada. Esto proporciona un margen de seguridad adicional y asegura que la estructura pueda soportar las cargas previstas con confianza.

Figura 31*Coeficiente de seguridad*

Nota. En la siguiente figura se puede observar el coeficiente de seguridad de 2.07.

Entrega de equipo

En resumen, se entregó la herramienta implementada a la Brigada de Aviación del Ejército Nro. 15 "PAQUISHA" en su taller de motores. Esto se puede observar en una Figura 30, que muestra el entorno de entrega de la herramienta. La brigada es una unidad militar especializada en operaciones aéreas y mantenimiento de aeronaves y la herramienta será utilizada específicamente en el contexto de mantenimiento de motores. Esta entrega representa la puesta en práctica de la herramienta y su utilidad en el entorno operativo de la Brigada. (Ver Anexo E)

Figura 32

Entrega del equipo especial



Nota. Representa la entrega y revisión de la herramienta generador de presión de flujo de agua, para la Brigada de Aviación del Ejército Nro. 15 "PAQUISHA".

Capítulo IV

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- Al realizar esta recopilación de información previa, el equipo de mantenimiento o el técnico responsable de la inspección podrán familiarizarse con los pasos a seguir, comprender los criterios de aceptación y rechazo, y asegurarse de tener a disposición todas las herramientas y los materiales necesarios. Esto permitirá llevar a cabo la inspección de manera eficiente, minimizando el tiempo de inactividad del motor y garantizando la seguridad y el rendimiento óptimo de la aeronave.
- La limpieza regular del motor por ventilación es crucial para mantener su rendimiento óptimo y prevenir el deterioro causado por la acumulación de suciedad y contaminantes. Al adquirir las herramientas y equipos necesarios, se asegura que el mantenimiento se realice de manera adecuada, prolongando la vida útil del motor y manteniendo la eficiencia de la aeronave.
- El arranque de motores en tierra permite evaluar el funcionamiento del motor en condiciones controladas antes del vuelo. Esto incluye comprobar la potencia, la respuesta al acelerador y la estabilidad del motor. Al llevar a cabo estas pruebas, se garantiza que el motor esté funcionando correctamente después de la inspección programada del motor y cumpla con los estándares de rendimiento esperados.

Recomendaciones

- Contar con la herramienta y equipo necesario para facilitar el trabajo de mantenimiento, más aún cuando del motor depende la operatividad de la aeronave y de su correcta operación.
- Seguir cada uno de los pasos que menciona el manual de mantenimiento referente a las inspecciones programadas y no programadas del motor, para obtener un resultado favorable. Además de Cumplir con todas las indicaciones descritas en el manual de mantenimiento y seguir cada uno de los procedimientos acorde al mismo.
- Para efectuar inspecciones del motor MAKILA 1A, se debe tomar en cuenta la información técnica de los manuales de mantenimiento del motor y del catálogo de herramientas especiales de mantenimiento, para garantizar que el trabajo de mantenimiento sea el adecuado.

Bibliografía

- ALEX, O. (2011). *Construccion el soporte del motor ARRIEL 1D1*. Latacunga.
- ATS, A. (2019). *Aircraft Tool Supply*.
- Civil, D. G. (2021). *Regulaciones Tecnicas*. quito.
- Concepto definicion. (2019). *Concepto definicion*. Obtenido de <https://concepto definicion.de/educacion-superior/>
- Diaz, I. (18 de junio de 2019). *Mundo Motor*. Obtenido de <https://www.mundodelmotor.net/sistema-de-lubricacion/#carter>
- ecured. (02 de Diciembre de 2018). *ecured*. Obtenido de https://www.ecured.cu/index.php?title=EcuRed:Enciclopedia_cubana&action=info
- Edison, D. (2014). *implementacion de herramienta especial para el desarrollo del mantenimiento de motores*. Latacunga.
- GUIMARAY, G. G. (2016). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO ELECTROHIDRÁULICO PARA MEJORAR PRUEBAS EN EL AVIÓN MIG-29 GRUPO AÉREO*. CHICLAYO.
- HELICOPTERS, A. (s.f.). *MANUAL GENERAL DE MANTENIMIENTO*. FRANCIA: AIRBUS HELICOPTERS.
- Hooft, G. (2018). *Cuentos Cuánticos*. Córdoba.
- ICAO. (2018). *ICAO*. Obtenido de <https://www.icao.int/publications/DOC8643/Pages/default.aspx>
- Idolohov, C. (2020). *Monografías.com S.A*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos97/tipos-almacenes-y-zonas-mas-comunes-almacen/tipos-almacenes-y-zonas-mas-comunes-almacen.shtml>
- Leonardo, D. (18 de junio de 2019). *Mundo Motor*. Obtenido de <https://www.mundodelmotor.net/sistema-de-lubricacion/#carter>
- Lexico. (2008). *Lexico*. Obtenido de <https://www.lexico.com/es/definicion/practica>
- Lux, M. A. (2010). *Mantenimiento predictivo para motores alternativos de aeronaves basado en el análisis de aceite usado*. Guatemala.
- MANUAL GENERAL DE MANTENIMIENTO DE LA 15 BAE PAQUISHA. (2012). En B. AÉREA, *MANUAL GENERAL DE MANTENIMIENTO* . RUMIÑAHUI.

MILITARY, A. (s.f.). MANUAL GENERAL DE MANTENIMIENTO. ESPAÑA: AIRBUS MILITARY.

Moreno, E. G. (1999). *Automatización de procesos industriales*. Chile: Centro de formación de postgrado -CFP CERES UPV.

Motorgiga. (1998). *Motorgiga*. Obtenido de <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/carter-del-aceite-definicion-significado/gmx-niv15-con193446.htm>

Oñate, A. (2019). CONOCIMIENTOS DEL AVIÓN. PILOTOS Y TÉCNICOS DE MANTENIMIENTO. En A. Oñate. Madrid: amv ediciones.

Pulupa, D. I. (2013). *Rehabilitación del sistema de inyección de combustible para el correcto desempeño del motor Continental*. Latacunga.

Singal, R. (2012). motores de combustion interna. En R. Singal. USA: Katson Books.

Tema Fantástico S.A. (Junio de 2014). *Blogger- Técnico en mantenimiento aeronáutico*. Obtenido de <http://aeroguanaco503.blogspot.com/2014/06/que-herramientas-utilizan-los.html>

unter. (2019). *unter*. Obtenido de <http://www.unter.org.ar/imagenes/10061>.

Walter. (2020). *WALTER- HERRAMIENTAS*. Obtenido de https://www.walter-tools.com/es-es/tools/special_products/pages/default.aspx

ANEXOS