



Inspección de los rodamientos esféricos del conjunto starflex de la cabeza del rotor principal del helicóptero Ecureuil/ AS 350 B3e, mediante la carta de trabajo 62-21-00,6-17 para los helicópteros pertenecientes a la 15 B.A.E “PAQUISHA”.

Sánchez Valencia, Edwin Rigoberto

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

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

Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián

11 de febrero 2022



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

Certificación

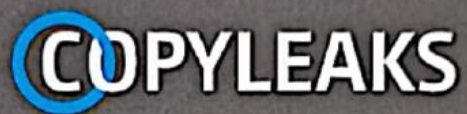
Certifico que la monografía, "**Inspección de los rodamientos esféricos del conjunto starflex de la cabeza del rotor principal del helicóptero Ecureuil/ AS 350 B3e, mediante la carta de trabajo 62-21-00,6-17 para los helicópteros pertenecientes a la 15 B.A.E "PAQUISHA"**", fue realizado por el señor **Sánchez Valencia, Edwin Rigoberto** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 11 de febrero del 2022

Ing. Inca Yajamin, Gabriel Sebastián

C. C.: 1722580329

Reporte de verificación de contenido



SANCHEZ VALENCIA EDWIN RIGOBERTO.pdf

Scanned on: 15:47 February 14, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	304
Words with Minor Changes	14
Paraphrased Words	72
Ommited Words	0

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Gabriel Inca".

Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián

C. C.: 1722580329



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

Autoría de responsabilidad

Yo, **Sánchez Valencia, Edwin Rigoberto**, con cédula de ciudadanía N° 1004023337, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **"Inspección de los rodamientos esféricos del conjunto starflex de la cabeza del rotor principal del helicóptero Ecureuil/ AS 350 B3e, mediante la carta de trabajo 62-21-00,6-17 para los helicópteros pertenecientes a la 15 B.A.E "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, 11 de febrero del 2022

.....
Sánchez Valencia, Edwin Rigoberto

C.C.: 1004023337



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

Autorización

Yo, **Sánchez Valencia, Edwin Rigoberto**, con cédula de ciudadanía N° 1004023337, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Inspección de los rodamientos esféricos del conjunto starflex de la cabeza del rotor principal del helicóptero Ecureuil/ AS 350 B3e, mediante la carta de trabajo 62-21-00,6-17 para los helicópteros pertenecientes a la 15 B.A.E “PAQUISHA”**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 11 de febrero del 2022

.....
Sánchez Valencia, Edwin Rigoberto

C.C.: 1004023337

Dedicatoria

La presente monografía quiero dedicarle a Dios por permitirme haber llegado a cumplir un objetivo más en mi vida, por brindarme sabiduría y fortaleza de salir adelante en momentos difíciles, y atravesar los obstáculos que se han presentado a lo largo de mis estudios.

A mi madre quien me ha enseñado a esforzarme cada día más, por demostrarme su cariño y apoyo incondicional en cada momento, también dedico a mi familia por estar acompañándome con su apoyo moral y consejos que han sido un pilar para salir adelante en mi carrera profesional.

SÁNCHEZ VALENCIA, EDWIN RIGOBERTO

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme su bendición a lo largo de este proceso educativo, a mi familia quienes me han ayudado incondicionalmente con su cariño y sus consejos que han sido de gran ayuda para culminar mis estudios esta prestigiosa universidad.

Finalmente quisiera expresar mi agradecimiento a mi tutor académico Ing. Inca Gabriel quien me ha guiado de la manera correcta para el desarrollo de esta monografía, que me ha impartido sus conocimientos para el mejoramiento de mi carrera profesional.

SÁNCHEZ VALENCIA, EDWIN RIGOBERTO

Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación	2
Reporte de verificación de contenido	3
Autoría de responsabilidad	4
Autorización	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Tabla de contenidos	8
Índice de figuras	11
Índice de tablas	13
Resumen	14
Abstract.....	15
Tema.....	16
Antecedentes	16
Planteamiento del problema	16
Justificación e importancia.....	17
Objetivos	19
<i>General</i>	19
<i>Específicos</i>	19
Alcance	20
Marco teórico	21
Brigada de Aviación del Ejército 15 “PAQUISHA”	21
<i>Reseña histórica de la Brigada de Aviación del Ejército 15 “PAQUISHA”</i>	21
<i>Aeronaves de la Brigada de Aviación del Ejército 15 “PAQUISHA”</i>	24
Helicóptero Ecureuil AS 350 B3e	25
<i>Generalidades del helicóptero Ecureuil AS 350 B3e</i>	27
<i>Características del helicóptero Ecureuil AS 350 B3e</i>	28

<i>Dimensiones de la aeronave</i>	29
<i>Características del motor Arriel 2D</i>	30
Sistema de rotores	31
<i>Tipos de rotores</i>	32
Rodamientos esféricos	35
Vibración	36
<i>Vibración simple</i>	37
<i>Vibración compuesta</i>	38
<i>Vibraciones en el helicóptero</i>	38
<i>Tipos de vibración en el helicóptero</i>	39
<i>Medición de vibraciones</i>	40
Inspecciones	40
<i>Inspecciones programadas</i>	41
<i>Inspecciones no programadas</i>	41
Tipos de mantenimiento aplicados al helicóptero Ecureuil	42
Equipos y herramientas especiales	44
<i>Aceptabilidad y conformidad</i>	44
<i>Herramienta especial soporte conjunto starflex</i>	45
Desarrollo del tema	47
Repotenciación de la herramienta soporte conjunto starflex	47
Materiales y herramientas utilizadas	47
Habilitación de la herramienta	48
<i>Ensamble de los componentes</i>	48
<i>Proceso de acabado de la herramienta</i>	49
<i>Herramienta con medidas de seguridad finalizada</i>	50
Información técnica para la tarea de mantenimiento	50
Preparativo para la tarea de mantenimiento	51
Ejecución de la tarea de mantenimiento	53

Análisis de Costos de los materiales	61
Conclusiones y Recomendaciones	64
Conclusiones	64
Recomendaciones.....	65
Glosario.....	66
Abreviaturas	68
Bibliografía	69
Anexos	71

Índice de figuras

Figura 1 <i>Hangares de manteniendo de la Brigada de Aviación del Ejército</i>	21
Figura 2 <i>Personal militar en la plataforma de la 15 B.A.E “PAQUISHA”</i>	24
Figura 3 <i>Helicóptero Ecureuil AS 350 B3e</i>	26
Figura 4 <i>Datos técnicos de la aeronave</i>	27
Figura 5 <i>Dimensiones de la aeronave</i>	29
Figura 6 <i>Dimensiones de Cabina</i>	30
Figura 7 <i>Motor ARRIEL 2D</i>	31
Figura 8 <i>Mandos de vuelo del helicóptero</i>	33
Figura 9 <i>Conjunto Starflex Ecureuil</i>	34
Figura 10 <i>Rotor de cola</i>	34
Figura 11 <i>Rodamiento esférico liso</i>	36
Figura 12 <i>Rodamiento esférico de rodillo</i>	36
Figura 13 <i>Vibración simple</i>	37
Figura 14 <i>Vibración compuesta</i>	38
Figura 15 <i>Vibraciones del helicóptero</i>	39
Figura 16 <i>Secuencia de inspecciones no programadas</i>	42
Figura 17 <i>Objetivos del programa de mantenimiento MSG 3</i>	43
Figura 18 <i>Criterios fundamentales del Programa de Mantenimiento</i>	43
Figura 19 <i>Proceso de validación de una herramienta</i>	45
Figura 20 <i>Soporte de conjunto starflex</i>	46
Figura 21 <i>Corte de los materiales</i>	48
Figura 22 <i>Proceso de soldadura</i>	49
Figura 23 <i>Pintado de la herramienta</i>	49
Figura 24 <i>Herramienta con medidas de seguridad</i>	50
Figura 25 <i>Manuales de Mantenimiento</i>	51
Figura 26 <i>Equipo de trabajo</i>	51
Figura 27 <i>Herramientas y Material fungible</i>	53

Figura 28 <i>Desmontaje de los carenajes</i>	53
Figura 29 <i>Sombrero chino</i>	54
Figura 30 <i>Desmontaje del conjunto starflex</i>	54
Figura 31 <i>Herramienta con el conjunto starflex</i>	55
Figura 32 <i>Señalización de los componentes</i>	55
Figura 33 <i>Desmontaje de los adaptadores de frecuencia</i>	56
Figura 34 <i>Desmontaje de los rodamientos esféricos</i>	56
Figura 35 <i>Inspección de los rodamientos esféricos</i>	57
Figura 36 <i>Estados de los rodamientos esféricos</i>	57
Figura 37 <i>Rodamientos esféricos nuevos</i>	58
Figura 38 <i>Instalación de los rodamientos esféricos</i>	58
Figura 39 <i>Instalación de los rodamientos esféricos</i>	59
Figura 40 <i>Ajuste de los componentes</i>	59
Figura 41 <i>Frenado de los pernos del conjunto starflex</i>	60
Figura 42 <i>Instalación del sombrero chino</i>	60
Figura 43 <i>Conjunto starflex instalado en el helicóptero</i>	61

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Aeronaves de la 15 B.A.E "PAQUISHA"</i>	25
Tabla 2 <i>Distribución de carga</i>	28
Tabla 3 <i>Pesos a usar en la aeronave</i>	28
Tabla 4 <i>Medidas principales del helicóptero</i>	30
Tabla 5 <i>Potencia de Motor ARRIEL 2D</i>	31
Tabla 6 <i>Tolerancia de vibraciones en el rotor principal del Ecureuil</i>	40
Tabla 7 <i>Tipo de inspecciones programadas</i>	41
Tabla 8 <i>Medidas de la herramienta</i>	46
Tabla 9 <i>Materiales y herramientas usadas</i>	47
Tabla 10 <i>Manuales de Mantenimiento</i>	50
Tabla 11 <i>Herramientas utilizadas en la tarea de mantenimiento</i>	52
Tabla 12 <i>Material fungible</i>	52
Tabla 13 <i>Costos primarios</i>	62
Tabla 14 <i>Costos secundarios</i>	62
Tabla 15 <i>Costos total del proyecto</i>	63

Resumen

La presente monografía describe los ítems de inspección del helicóptero Ecureuil/ AS 350 B3e de fabricación francesa de acuerdo a las descripciones del capítulo 62-21-00,6-17 que se encuentran detallados en el manual de mantenimiento emitido por la casa fabricante y siguiendo los procesos de seguridad de la 15 B.A.E – “PAQUISHA”. Para realizar la inspección se procedió a desmontar el conjunto starflex del rotor principal para verificar el estado y condición de los elementos de acuerdo a lo que indica el manual de mantenimiento, se inició realizando la marcación en los conjuntos, para el momento de ensamblar y realizar pruebas de corridos en tierra no varíe las vibraciones en el rotor principal, se verificó el juego axial de los rodamientos esféricos de acuerdo como indica el manual, y se detectó que el juego es superior a los límites permitidos, una vez realizada la inspección se procedió a instalar nuevos rodamientos esféricos, se debe mencionar que estos rodamientos esféricos ayudan a evitar una fricción entre la starflex y el adaptador de frecuencia lo cual permite realizar un mejor batimiento de las palas del rotor principal. La duplicación de la herramienta especial soporte del conjunto starflex, se realizó con la ayuda del personal técnico de los talleres de torno y suelda y se debe resaltar que la herramienta especial fue importante al momento de realizar la inspección del conjunto starflex ya que se pudo observar maniobrabilidad, comodidad y seguridad al personal técnico de la sección Ecureuil.

Palabras Claves:

- **ECUREUIL**
- **CONJUNTO STARFLEX**
- **ROTOR PRICIPAL**

Abstract

This monograph describes the inspection items of the Ecureuil/ AS 350 B3e helicopter of French manufacture according to the descriptions of chapter 62-21-00,6-17 that are detailed in the maintenance manual issued by the manufacturer and following the safety processes of the 15 B.A.E - "PAQUISHA". To perform the inspection we proceeded to disassemble the starflex set of the main rotor to verify the state and condition of the elements according to what was indicated in the maintenance manual, we began by making the marking on the sets, for the time to assemble and perform tests on the ground not to vary the vibrations in the main rotor, The wear of the spherical bearings was verified according to the manual, and a failure outside the allowed limits was detected. Once the inspection was done, new spherical bearings were installed, it should be mentioned that these spherical bearings help to avoid friction between the starflex and the frequency adapter, which allows a better beating of the main rotor blades. The duplication of the special support tool for the starflex assembly was carried out with the help of the technical personnel of the lathe and welding workshops. It should be noted that the special tool was important at the time of inspecting the starflex assembly since it was possible to observe maneuverability, comfort and safety for the technical personnel of the Ecureuil section.

Key words:

- **ECUREUIL**
- **STARFLEX**
- **MAIN ROTOR**

Capítulo I

1. Tema

Inspección de los rodamientos esféricos del conjunto starflex de la cabeza del rotor principal del helicóptero Ecureuil / AS 350 B3e, mediante la carta de trabajo 62-21-00,6-17 para los helicópteros pertenecientes a la 15 B.A.E “PAQUISHA”.

1.1. Antecedentes

Las Fuerzas Armadas tiene como misión primordial mantener la seguridad de amenazas externas e internas del país, por lo que necesita transportar al personal militar por medios aérea para poder llegar a lugar de difícil determinado y de difícil acceso, por lo que la Fuerza Terrestre posee aeronaves de combate, apoyo de combate y transporte de logístico, con lo que puede cumplir las diferentes misiones encomendadas por el mando militar.

La Brigada de Aviación del Ejército N° 15 “PAQUISHA” posee aeronaves de ala rotativa que cumplen diferentes misiones en el país, una de la cuales es la aeronave Ecureuil/AS 350 B3e de fabricación francesa, monomotor modelo Arriel 2D, con una tripulación básica piloto y copiloto, y además 4 pasajeros, esta aeronave es capaz de alcanzar los 155 nudos como velocidad máxima y la velocidad de crucero es de 140 nudos.

El mantenimiento del helicóptero se ha sido llevado a cabo por el personal técnico de la sección Ecureuil que dispone la institución, con inconvenientes por la falta de herramientas especiales, por lo cual se ha visto la necesidad de transporta a la aeronave con el personal técnico a otras entidades de mantenimiento para poder realizar de una manera más segura y eficiente.

1.2. Planteamiento del problema

La Brigada de aviación del Ejército 15 - B.A.E “PAQUISHA” como unidad subordinada de la Fuerza Terrestre y encargada de las misiones aéreas de la misma, posee las instalaciones necesarias como hangares de mantenimiento,

talleres y almacenes de repuestos para desarrollar los trabajos técnicos de las aeronaves para mantenerlas operables, pero al no poseer las diferentes herramientas especiales para realizar las diferentes inspecciones programadas y no programadas, ha generado el problema de no poder cumplir con las diferentes misiones a tiempo ya que se ha visto la necesidad de posponer el mantenimiento de la aeronave.

La sección Ecureuil de la 15 - B.A.E "PAQUISHA" es parte fundamental para las operaciones aéreas y para el mantenimiento de las aeronaves por lo que requiere realizar inspecciones mayores de los componentes de la aeronave, con el uso de herramientas especiales para ejecutar con eficacia los trabajos técnicos emitidos por el fabricante mediante sus manuales de mantenimiento y sus boletines de servicio, pero al no contar con la herramienta especial en un estado operable la cual sirve como soporte del conjunto del rotor principal se ha visto la necesidad de pedir en calidad de préstamo o por renta a diferentes unidades de diversas ciudades del país lo que ha generado un incremento de tiempo en realizar las inspecciones, causando esto malestares al dueño de la herramienta ya que se puede presentar alguna anomalía no prevista y al tratar de solucionarlo si es una reparación en caso de que sea un daño o esperar la adquisición de los repuestos que sean necesarios, todo esto provoque aún más las inspecciones, o su vez de trasladar a la aeronave y al personal técnico a otra base donde dispongan de la herramienta especial necesaria para poder realizar las inspecciones requeridas todo esto ha sido motivo de pérdida de tiempo y de incomodidad a otras unidades de la aviación de la Fuerzas Armadas.

1.3. Justificación e importancia

Dentro de las misiones que tiene la 15 - B.A.E "PAQUISHA" es de mantener operables y aeronavegables a las aeronaves mediante las distintas inspecciones emitidas por las casas fabricantes, que se realizan con la mayor seguridad, calidad y

profesionalismo con el uso correcto de los manuales de mantenimiento y las distintas herramientas especiales.

La sección Ecureuil encargada del mantenimiento de las aeronaves Ecureuil / AS 350 B3e no dispone de una herramienta especial para la inspección de los rodamientos esféricos de la cabeza del rotor principal, por lo que se ha planteado implementar una herramienta especial soporte del conjunto del rotor principal que contribuye a cumplir con los mantenimientos programados y no programados, esencial para el uso en inspecciones menores y mayores de la aeronave y así poder tener más equipos disponibles.

El proyecto a realizar permitirá que el personal técnico no tenga inconvenientes al momento de realizar las inspecciones y realice de mejor manera un trabajo técnico, cumpliendo con las normas de seguridad y con los ítems de inspección emitidos por la casa fabricante, esto permitirá que se revise detalladamente el desgaste de los componentes, el juego axial de los rodamientos esféricos del conjunto starflex de la cabeza del rotor principal del helicóptero Ecureuil, como inspecciones en general de la cabeza del rotor principal del helicóptero y mejorar con los estándares de calidad de las inspecciones que se están realizando hasta el momento en la 15- B.A.E "PICHINCHA", esta herramienta ayuda a realizar un mantenimiento adecuado que facilite realizarlo en las instalaciones a la que pertenece la aeronave o su vez de transportar la herramienta especial en la aeronave y poder realizar un mantenimiento preventivo en otra base.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Inspeccionar los rodamientos esféricos del conjunto starflex de la cabeza del rotor principal del helicóptero Ecureuil / AS 350 B3e, mediante la restauración de la herramienta especial y la aplicación de la carta de trabajo 62-21-00,6-17, para los helicópteros pertenecientes a la 15 B.A.E “PAQUISHA”.

1.4.2. Específicos

- Establecer la información técnica necesaria de la herramienta especial base de sujeción del conjunto starflex, para inspeccionar los rodamientos esféricos de la cabeza del rotor principal del helicóptero Ecureuil / AS 350 B3e.
- Restaurar la herramienta especial de acuerdo a las especificaciones técnicas necesarias que emita el manual de mantenimiento del helicóptero Ecureuil/ AS 350 B3e.
- Comprobar la efectividad de la herramienta especial con la aplicación de las tareas de mantenimiento emitidas por el fabricante del helicóptero Ecureuil/ AS 350 B3e.

1.5. Alcance

Este proyecto técnico permite al personal técnico de la sección Ecureuil de la 15 – B.A.E “PAQUISHA”, cumplir con los procedimientos correspondientes emitidos por la casa fabricante del helicóptero Ecureuil / AS 350 B3e, realizar las inspecciones del conjunto starflex, facilitar realizar inspecciones mayores, desmontajes e instalaciones de la cabeza del rotor principal, brindando seguridad del personal ante posturas inadecuadas al momento de realizar las inspecciones, brindando seguridad en el soporte del conjunto del rotor principal y evitar daños materiales.

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Brigada de Aviación del Ejército 15 “PAQUISHA”

La Aviación del Ejército Ecuatoriano está representada por La Brigada de Aviación del Ejército No. 15 “PAQUISHA”, la cual está conformada por distintas unidades militares desplazadas a nivel nacional, que cumplen con las diferentes misiones aéreas y el mantenimiento de las aeronaves de ala fija (aviones) y de ala rotativa (helicópteros) que dispone para realizar las diferentes operaciones.

Figura 1

Hangares de mantenimiento de la Brigada de Aviación del Ejército



Nota. La figura muestra a los hangares de mantenimiento junto a la plataforma de vuelo pertenecientes a la 15 B.A.E “PAQUISHA”.

2.1.1. *Reseña histórica de la Brigada de Aviación del Ejército 15 “PAQUISHA”*

En 1954 el señor Capt. De I Colón Grijalva Herdoíza, culmina uno de sus sueños y anhelos de obtener su licencia de piloto, realizó las gestiones necesarias para poder adquirir unas aeronaves, que permitiría cumplir con diferentes misiones como el transporte de personal militar y el abastecimiento material bélico, víveres y demás suministros a personal que se encontraba en destacamentos y fronteras del país, y que para su acceso se debía realizar grandes caminatas por medio de caminos en mal estado, trochas y picas, esto ayudó a que el personal militar se

encontrará con un mejor estado de ánimo ya que se podía obtener una comunicación más directa y oportuna. (Rivadeneira, 2020)

Distinguidas mujeres de Guayaquil entregaron tres aeronaves (Piper Tripacer, Taylor Craft y Piper PA-18-150) como donación por parte del exterior hacia el país, para poder cumplir con el principal objetivo de poner en marcha el Programa Alas para la Frontera, emprendida por los soldados del aire conocida como Servicio Aéreo del Ejército (SAE). (Rivadeneira, 2020)

El sueño se ha cumplido el cielo azul se pintaban de esperanzas y deseos de cumplir con el propósito deseado de llegar a los puntos más inaccesibles de la nación con las aeronaves a una de ellas bautizada como La Guaricha en honor a mujeres valerosas que colaboraron en el conflicto del año 1941 con abastecimiento a las tropas ecuatorianas. (Rivadeneira, 2020)

El Comando General del Ejército dispone en el año de 1956 formar el primer curso de pilotos del Ejército con 10 oficiales bajo el mando del pionero de surcar el infinito cielo azul, los cuales terminaron con éxito el curso de pilotos, los cuales no pudieron cumplir con los objetivos esperados por falta de presupuesto, material disponible para el mantenimiento de las aeronaves, lo cual después de un tiempo fueron llamados para realizar un reentrenamiento de conocimientos y ya con el presupuesto, los oficiales pilotos deciden formar una escuadra de aviones para realizar la hazaña de cruzar las regiones del país. (Rivadeneira, 2020)

La Aviación del Ejército también ha pasado por momentos muy duros con la pérdida del pionero, del mentor de generar una nueva función, de poder volar, el Capt. De I Colón Grijalva Herdoíza, perdía la vida realizando una de sus pasiones al sufrir un accidente aéreo, y posterior a eso una aeronave sufría un accidente y con ello perdiendo la vida sus ocupantes. (Rivadeneira, 2020)

En año de 1972, se incorpora una aeronave de ala rotativa (helicópteros) para realizar trabajos topográficos de campo por necesidad del Instituto Geofísico Militar el cual era el encargado de realizar dichos trabajos topográficos. El Servicio

Aéreo del Ejército en 1978 deja de ser una dependencia del Departamento Logístico del Ejército a transformarse en Aviación del Ejército como unidad operativa, gracias a esto el comando de la fuerza designó personal y medios para poder desarrollar las operaciones aéreas designadas; al trabajar el Servicio Aéreo del Ejército y la Aviación del Ejército nace el mantenimiento de aeronaves paulatinamente y se incrementa el personal técnico, con lo que se crea el Centro de Mantenimiento de Aviación del Ejército (CEMAE), el cual puede realizar trabajos técnicos de I, II, III Escalón de hasta IV escalón autorizados y supervisados por la casa fabricante. (Rivadeneira, 2020)

Los trabajos técnicos de mantenimiento que realiza el CEMAE y se han ido complementando ha sido con el esfuerzo del personal técnico que ha se capacitado por diferentes medios y en distintas áreas, dentro los cuales están:

- Inspecciones mayores de Helicóptero Súper Puma, Puma, Gazelle Ecureuil, Lama y Fennec
- Mantenimiento profundo de motores Makila, Artouste, Astazou 14, Arriel 1B y 2D
- Mantenimiento estructural de helicópteros y aviones
- Reparaciones de conjuntos mecánicos
- Mantenimiento de sistemas hidráulicos
- Mantenimiento especializado en electrónica y aviónica.

A lo largo del tiempo la Aviación del Ejército se ha ido complementando con personal idóneo, para realizar las operaciones aéreas y los trabajos técnicos de mantenimiento, con capacitaciones, especializaciones en diferentes partes del mundo con las casas fabricantes de las aeronaves adquiridas, por lo cual se ha podido observar el profesionalismo de cada uno de los miembros del personal de Aviación del Ejército en sus actividades diarias y en el cumplimiento de la misión encargada por el Comando de la Fuerza Terrestre. (Rivadeneira, 2020)

Figura 2

Personal militar en la plataforma de la 15 B.A.E “PAQUISHA”



Nota. La figura muestra a personal militar que conforma la 15 B.A.E “PAQUISHA” en la plataforma de vuelo.

2.1.2. Aeronaves de la Brigada de Aviación del Ejército 15 “PAQUISHA”

Las distintas misiones que dispone el Comando de la Fuerza a la Aviación del Ejército ha sido motivo de adquirir aeronaves de ala fija como aeronaves de ala rotativa, que se usan en distintos usos, como aeronaves de versión militar que ayudan a salvaguardar las fronteras y ser usadas en caso de existir un conflicto bélico (Gazelle y Fennec), aeronaves que pueden ser decolar y aterrizar en pistas (Cessna y M28) aeronaves que ayudan al salto de paracaidistas, transporte de personal, abastecimiento.

Las aeronaves de la Aviación del Ejército han sido fundamentales en los distintos eventos que ha tenido el Ecuador, como en desempeño la Guerra del Cenepa con una actuación memorable con un enfrentamiento aéreo con el enemigo, transporte y abastecimiento de personal militar a los puntos de conflicto, en el desastre natural del 16 de abril del 2016 en Pedernales, cumplió con horas de vuelo con el traslado de personal afectado por el terremoto, con la ayuda humanitaria de abastecer de víveres a las personas afectadas y de difícil acceso por medios terrestres

Las aeronaves que dispone en la actualidad la 15 B.A.E "PAQUISHA" para realizar las diferentes misiones son las que se detallan a continuación.

Tabla 1

Aeronaves de la 15 B.A.E "PAQUISHA"

Aeronaves de ala fija		Aeronaves de ala rotativa	
Beechcraft	1	Gazelle SA-342L	3
Cessna T206	1	Fennec AS-350C3 e	6
Cessna Citation-11550	1	Puma SA-330L	1
Cessna 172	1	Super Puma SA-332B	5
Casa CN-235-100	1	MI – 171	8
Casa CN-235-300	1	Ecureuil SA 350 B	2
Casa C-212-300	2	Ecureuil SA 350 B2	2
M28	1	Ecureuil AS 350 B3e	2
		Lama SA 315 B	2

Nota. Aeronaves disponibles para cumplir con las disposiciones del Comando de la Fuerza Terrestre.

2.2. Helicóptero Ecureuil AS 350 B3e

El helicóptero Ecureuil AS 350 B3e ahora denominado H125 es una aeronave que supera a todos los demás helicópteros monomotores en cuanto a rendimiento, versatilidad, bajo mantenimiento y bajos costes de adquisición, a la vez que sobresale en entornos altos, calurosos y extremos. Es miembro de la familia Ecureuil de Airbus, que ha acumulado más de 33 millones de horas de vuelo en todo el mundo. (Aeroexpo.online, 2017)

El Ecureuil AS 350 B3e es un miembro de la robusta y probada familia Ecureuil de Airbus. Unos 6.500 miembros de la familia Ecureuil (AS350, AS355, AS550, AS555, H125, H125M, EC130, H130) han sido entregados en casi 120 países para más de 1.900 operadores. Juntos, estos aviones han acumulado más de

33 millones de horas de vuelo. El H125 es el líder indiscutible de su clase desde hace 30 años. (Aeroexpo.online, 2017)

Actualmente hay en servicio en todo el mundo unos 900 aviones de la serie AS350 B3e, que se utilizan principalmente para misiones de alto rendimiento en condiciones altas y calurosas. (Aeroexpo.online, 2017)

Obtuvo récords mundiales a lo largo de su carrera. En 2005, el AS350 B3 batió el récord mundial de aterrizaje y despegue a mayor altitud, realizado en el Monte Everest a 8.848 metros (29.029 pies), un título que aún se mantiene hoy en día. El 19 de mayo de 2013, el AS350 B3 llevó a cabo la operación de rescate de larga distancia más alta del mundo en Lhotse, la cuarta montaña más alta del mundo, situada en el Himalaya, a 7.800 metros (25.590 pies). (Aeroexpo.online, 2017)

Está equipado con un motor de turbosje Safran Arriel 2D con una unidad de control de motor digital de autoridad completa (FADEC) de dos canales, además de un tercer canal de respaldo independiente y automático y un encendido automático. El motor está equipado con un registrador de datos del motor. (Aeroexpo.online, 2017)

Figura 3

Helicóptero Ecureuil AS 350 B3e



Nota. La figura muestra al helicóptero Ecureuil decolando de la plataforma de la Brigada Aérea.

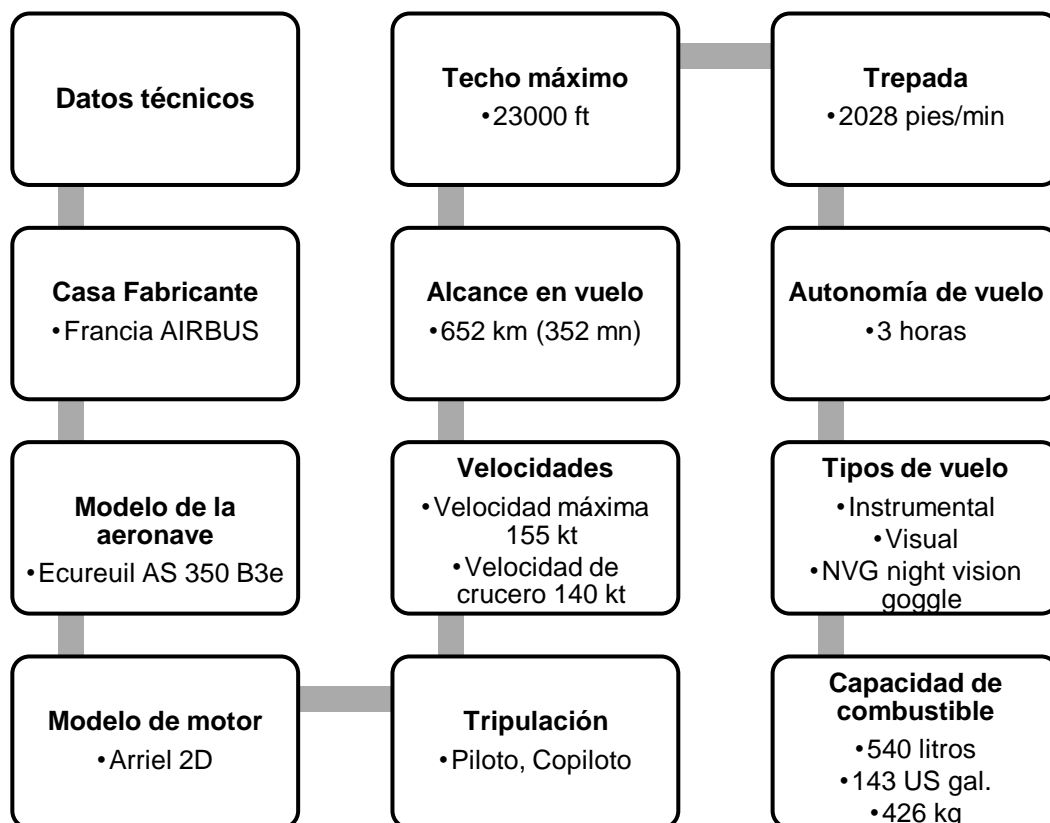
2.2.1. Generalidades del helicóptero Ecureuil AS 350 B3e

Esta aeronave cumple con la normativa FAR 27 para operaciones VFR diurnas y nocturnas, ofrece un peso bruto máximo interno de 2.370 kg / 5.225 lb y un peso máximo total de 2.800 kg / 6.172 lb en configuración de carga externa. Esto hace que el helicóptero sea perfectamente adecuado para:

- Trabajos aéreos,
- Lucha contra incendios,
- Vigilancia policial,
- Transporte de pasajeros,
- Operaciones de elevación.

Figura 4

Datos técnicos de la aeronave



Nota. La figura muestra los datos más relevantes de la aeronave. Tomada de (Airbus.com, 2021)

2.2.2. Características del helicóptero Ecureuil AS 350 B3e

El helicóptero es uno de los más vendidos gracias a sus características de transporte, su peso y su maniobrabilidad, en la siguiente tabla se observa las distintas distribuciones de peso de acuerdo a sus necesidades de uso.

Tabla 2

Distribución de carga

Transporte de pasajeros	
1 piloto	5 pasajeros
1 piloto	4 pasajeros en versión confort
1 piloto	1 paciente en camilla 2 médicos
1 piloto	3m ³ (105.9 ft ³) peso de carga en cabina

Nota. Distribución de la carga en la aeronave para sus diferentes usos. Tomada de (Airbus.com, 2021)

El helicóptero de acuerdo a su capacidad de potencia y de diferentes tipos de operación y de acuerdo a su posición altitudinal se puede operar con los diferentes pesos.

Tabla 3

Pesos a usar en la aeronave

	Pesos	
	Kg	Lb
Peso en vacío, avión de referencia 1	1240	2736
Carga útil	1009	2224
Peso máximo total	2250	4960
Carga máxima en configuración de carga externa	1400	3086
Peso máximo total en configuración de carga externa	2800	6172

Nota. Precisión del peso en vacío: dentro del ± 2 %. Tomada de (Airbus.com, 2021)

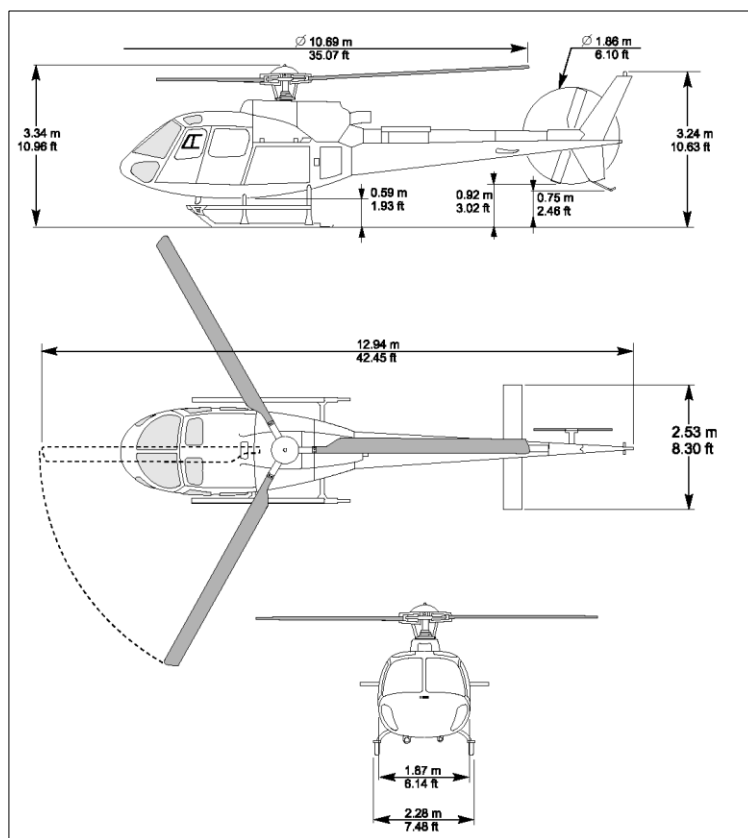
2.2.3. Dimensiones de la aeronave

Las dimensiones del helicóptero Ecureuil AS 350 B3e son apropiadas para poder realizar los diferentes tipos de operaciones, donde puede operar gracias a su tamaño por lo que se considera a la aeronave multipropósito.

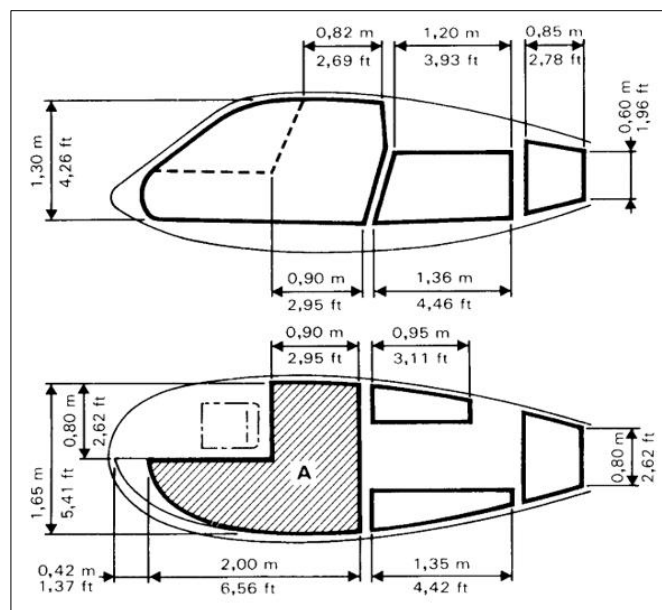
Las superficies internas son apropiadas para las misiones de carga y de transporte de personal de acuerdo a las necesidades de las operaciones, como en casos de emergencia el transporte de personal herido en camillas como funcionando como ambulancias aéreas, en las imágenes de a continuación se observa las dimensiones externas e internas de la aeronave.

Figura 5

Dimensiones de la aeronave



Nota. La figura indica las dimensiones de lado lateral, superior y de frente. Tomada de (Airbus.com, 2021)

Figura 6*Dimensiones de Cabina*

Nota. La figura indica las dimensiones internas de la cabina tanto lateral como superior. Tomada de (Airbus.com, 2021)

Tabla 4*Medidas principales del helicóptero*

Detalles	Medida
Longitud	12.94 m
Diámetro de Rotor Principal	10.69 m
Altura	3.14 m

Nota. En la tabla se observa las principales medidas de la aeronave en metros.

Tomada de (Airbus.com, 2021)

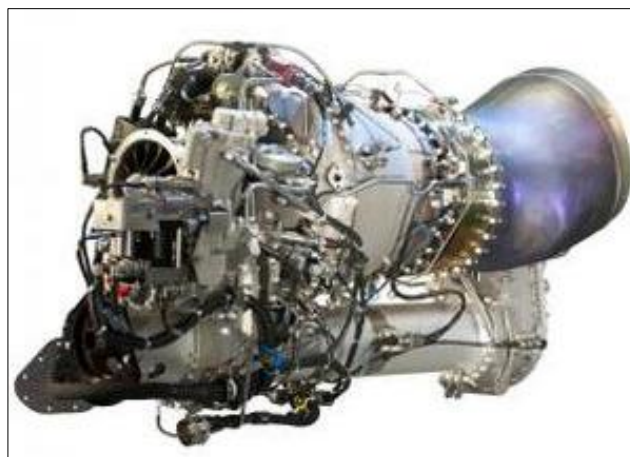
2.2.4. Características del motor Arriel 2D

El helicóptero Ecureuil AS 350 B3e cuenta con un motor ZAFRAN ARRIEL 2D que se encuentra equipado con un sistema FADEC (Full Authority Digital Engine Control) de doble canal, este sistema consta de una computadora interna que es digital, se la denomina como ECU con sus siglas en inglés (Engine Control Unit) y en

español Unidad de Control del Motor, esto ayuda a controlar los aspectos de funcionamiento y de rendimiento del motor de la aeronave. (Airbus.com, 2021)

Figura 7

Motor ARRIEL 2D



Nota. La figura muestra al motor ARRIEL 2D de fabricación francesa el cual esta implementado en los helicópteros Ecureuil. Tomada de (Safran, 2021)

Tabla 5

Potencia de Motor ARRIEL 2D

Valores nominales del motor			
	Kw	Ch	Shp
Potencia de despegue	632	860	847
Potencia máxima continua	543	739	728

Nota. La tabla indica la potencia termodinámica, en atmósfera estándar, a nivel del mar. Tomada de (Airbus.com, 2021)

2.3. Sistema de rotores

Es un sistema rotativo que permite obtener la sustentación aerodinámica, como el empuje de la aeronave y los diferentes movimientos de la aeronave por medio de su sistema.

2.3.1. Tipos de rotores

En los diferentes tipos de helicópteros que existen hay variantes sobre el tipo de rotores de acuerdo a la época en que los fabricaron para sus diferentes tipos de uso en las operaciones aéreas, como el tipo de material que fueron construidos, estos rotores se pueden clasificar en un rotor principal y un rotor secundario para hacer un contra torque, los movimientos que generan los rotores a su vez provocan vibraciones, que se las puede minimizar con un peso equitativo de las palas.

- **Rotor principal**

El sistema de rotor principal radica en generar la sustentación de la aeronave, este rotor está montado sobre un mástil vertical que sale de la caja de transmisión principal. El helicóptero mediante este sistema obtiene los tres movimientos principales:

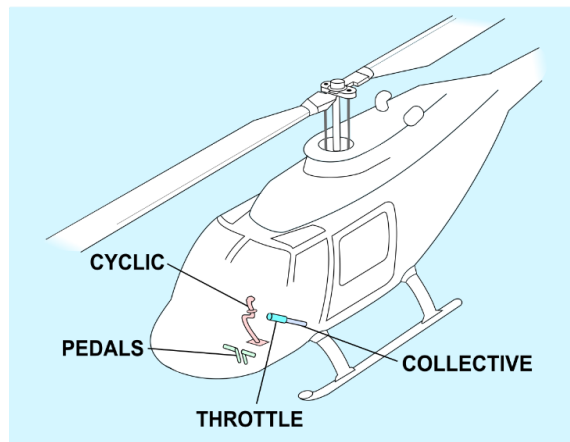
- Batimiento
- Retroceso
- Cabeceo

Estos movimientos se los puede realizar mediante los mandos de vuelo que tiene el helicóptero como son:

- Cíclico
- Colectivo
- Pedales
- Acelerador

Figura 8

Mandos de vuelo del helicóptero

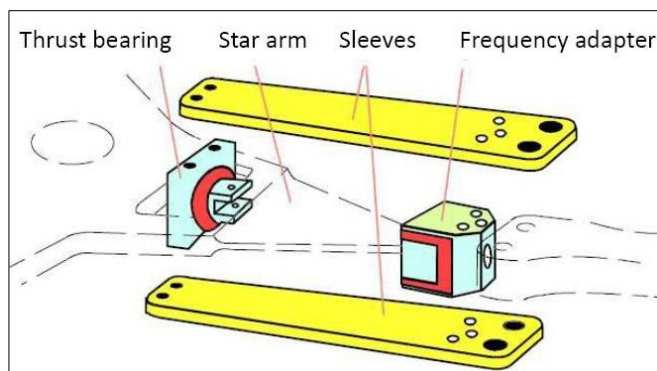


Nota. La figura muestra a los mandos de vuelo del helicóptero y al acelerador en el cíclico. Tomada de (Hmong.es, 2021)

El helicóptero Ecureuil AS 350 B3e contiene un rotor compuesto sin bisagras, (starflex) es el componente básico con 3 brazos hechos de un laminado de resina de vidrio y flexible en la dirección de aleteo. En el buje del rotor Starflex, unos cojinetes rígidos unen las palas a los brazos de la estrella, de modo que el buje permite el aleteo de las palas, el avance/desaceleración y el cambio de paso sin cojinetes ni bisagras. Los cojinetes también transmiten las cargas centrífugas de las palas a la parte central rígida de la estrella. Por esta razón, se instalan acoplamientos flexibles entre los cojinetes y el brazo de la estrella. Los extremos interiores de los cojinetes se fijan a la estrella mediante un tope esférico laminado (también llamado cojinete de empuje) que es flexible a la torsión, al aleteo y al arrastre, pero rígido a la compresión. El extremo de la pala contiene bloques elastómeros llamados adaptadores de frecuencia que proporcionan rigidez y amortiguación, pero pueden moverse en dirección de cizallamiento. Este diseño del buje del rotor permite todo el movimiento necesario de las palas mediante la flexión y torsión de los materiales compuestos o elastómeros.

Figura 9

Conjunto Starflex Ecureuil



Nota. La figura muestra todos los componentes que conforman el conjunto Starflex.

Tomada de (McAdams, 2021)

- **Rotor de cola.**

El rotor de cola permite controlar el helicóptero sobre su eje de guiñada. Las fuerzas que actúan son la contraparte del rotor principal del rotor principal, y el empuje del rotor de cola con un movimiento anti par.

El rotor de cola es de tipo balancín flexible, principalmente de materiales compuestos con sólo unas pocas piezas de conexión metálicas. Se han eliminado las bisagras convencionales de cabeceo y aleteo, con ello los cojinetes, el control del rotor de cola es graduable mediante los pedales en cabina, esto hace rotar al helicóptero el eje vertical, que proporciona el control de la dirección.

Figura 10

Rotor de cola



Nota. La figura muestra el rotor del helicóptero Ecureuil tipo tradicional.

2.4. Rodamientos esféricos

La principal función de los rodamientos dentro de una aeronave y motor es de reducir el rozamiento producido por los ejes y elementos sobre las que giran los ejes para un mejor funcionamiento de los rodamientos se suministra una fina capa de lubricación para realizar una mejor fricción y evitar corrosión y mal funcionamiento.

Los rodamientos esféricos son usados en la aviación para diversos sistemas que requieren de su funcionalidad, ya que existen diferentes tipos de rodamientos y se puede utilizar de acuerdo a los sistemas que sea necesario como en los motores en soportes de eje principal y cajas de accesorios o transmisión, en los helicópteros se utiliza en los rotores (mástil rotor, plato cíclico y terminales de palas) y en los aviones se utiliza en los mandos de vuelo, cajas de accesorios, trenes de aterrizajes ruedas de aviones etc., estos rodamientos pueden evitar agrietamientos en puntos estratégicos de los sistemas de amortiguación o de flexión gracias a su funcionalidad

Los rodamientos son mecanismos tribológicos que contienen una carga mientras están en relación con otra y se mueven en relación con otra parte, el movimiento puede ser deslizante o giratorio.

Existen dos tipos principales de rodamientos:

- los rodamientos lisos
- los rodamientos de rodillos

Otros tipos incluyen los cojinetes de fluidos que soportan sus cargas sobre una fina capa de gas o líquido; los cojinetes magnéticos que utilizan campos magnéticos para llevar sus cargas; los cojinetes de flexión tipo bisagra en los que la carga es soportada por un elemento de flexión.

Figura 11*Rodamiento esférico liso*

Nota. Rodamientos esféricos lisos que están diseñados para ejecutar movimientos deslizantes, oscilantes, rotatorios o recíprocos. Tomada de (Es.mklbearing.com, s.f.)

Figura 12*Rodamiento esférico de rodillo*

Nota. La figura indica un rodamiento esférico de rodillos los cuales son ideales para altas cargas radiales y altas velocidades. Tomada de (Diseñ & Studio, 2021)

2.5. Vibración

Se puede definir de una manera simple como un movimiento de una pequeña amplitud en forma oscilatoria, todas las máquinas presentan señales de vibraciones y en cada una de ellas se puede encontrar la información de sus componentes, se

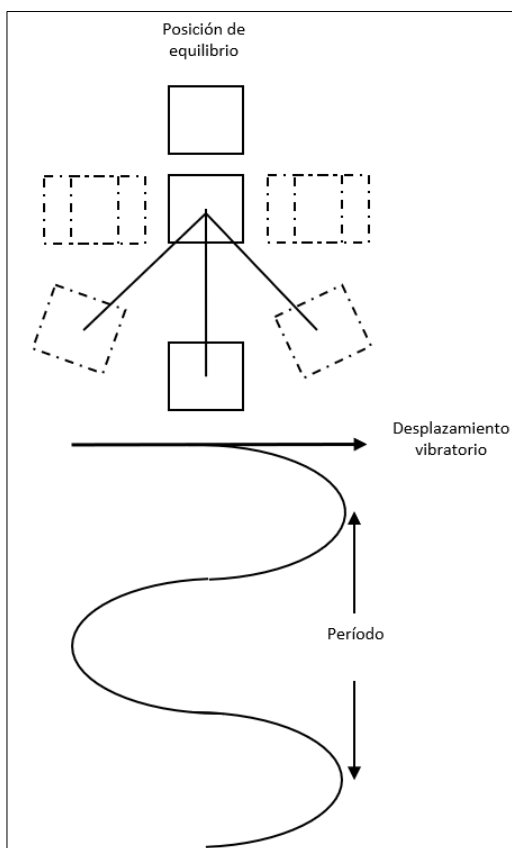
puede decir que la vibración obtenida mediante equipos especiales es la suma vectorial de las vibraciones de sus componentes.

2.5.1. Vibración simple

Es el movimiento más simple de vibración, una de las formas de interpretar una vibración simple es con el movimiento armónico, se puede ver de las oscilaciones de la cuerda de un piano, de la membrana de unos altavoces o cuando se hace vibrar un resorte o un péndulo de una manera libre, con movimientos u ondas senoidales. Se puede observar con el movimiento de un péndulo.

Figura 13

Vibración simple



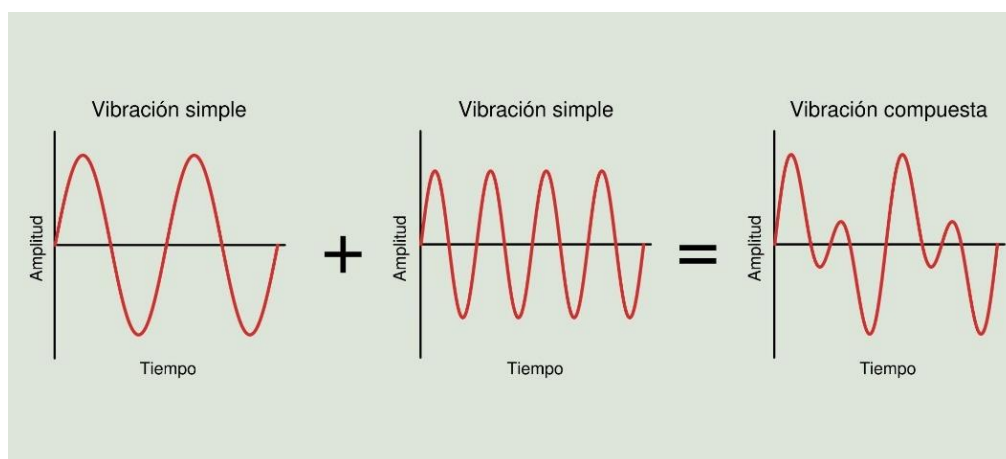
Nota. La figura indica la onda vibratoria que se produce por el movimiento del péndulo.

2.5.2. Vibración compuesta

Una vibración compuesta es una señal de una sumatoria de distintas ondas sinusoidales simples que conforman cada uno de los componentes que están dentro de la máquina, y se le suma todos los golpes y vibraciones aleatorias, esto se debe tener en cuenta que la forma de la onda de la vibración compuesta no va hacer de una forma sinusoidal y puede llegar hacer algo compleja, como se puede observar en la figura que se encuentra a continuación.

Figura 14

Vibración compuesta



Nota. La figura indica la sumatoria de dos ondas simples en el dominio del tiempo.

Tomada de (Power-MI, 2012)

2.5.3. Vibraciones en el helicóptero

En los helicópteros por medio de los rotores y su movimiento genera una ruido y vibración, estas vibraciones son provocadas por desequilibrios de pesos, por problemas de alineaciones de elementos, mal acoplamiento, falla de rodamientos e instalaciones defectuosas, esto fundamental se desarrolla en los sistemas de rotores, sea principal o de cola, estas vibraciones pueden ser medibles gracias a equipos especiales que ayudan a verificar la cantidad de vibraciones mediante lecturas por medio de los captadores magnéticos y acelerómetros que se instala en la aeronave, también existen componentes que ayudan a reducir las vibraciones

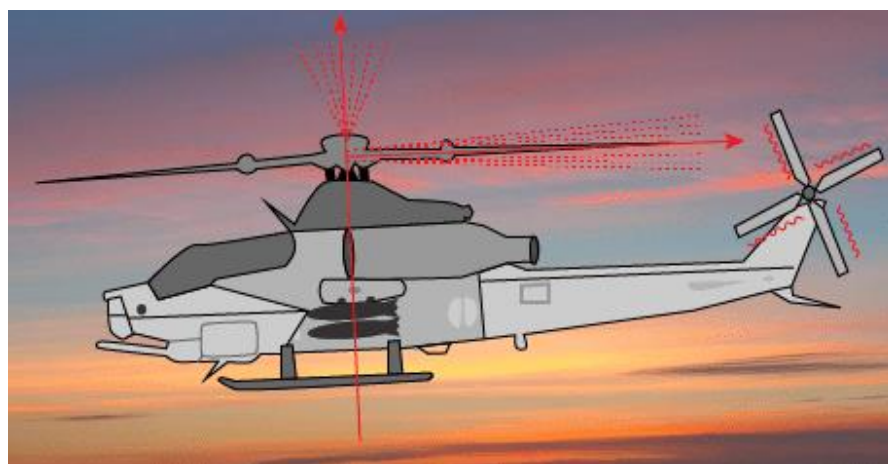
como el anti vibrador que ayudan a reducir las vibraciones que pueden afectar a la tripulación de vuelo en su salud y hacer que el helicóptero tenga las condiciones operables establecidas ya puede provocar algún accidente y el reducción tiempo del potencial de los elementos del conjunto del rotor principal.

2.5.4. Tipos de vibración en el helicóptero

Dentro de las vibraciones se puede encontrar a la vibración vertical que se producen cuando no se producen la misma sustentación por medio de las palas del rotor, esta vibración se muestra como golpeteos de arriba hacia abajo o zumbidos, en cambio la vibración lateral se produce por un desequilibrio de la distribución de la masa o una mala alineación del sistema de rotor las palas, que se tiene a moverse lateralmente, esta vibración se puede corregir con pesos en los bulones de acuerdo como la lectura el equipo especial de corrección de vibraciones (vibres 2000, micro bit, etc.), estas vibraciones siempre van a existir no se puede reducir a 0 pero tienen un rango aceptable por el fabricante.

Figura 15

Vibraciones del helicóptero



Nota. La figura indica las vibraciones que se producen tanto el rotor principal como el rotor de cola en vertical y lateral. Tomada de (Sistemas ACES, 2020)

Tabla 6*Tolerancia de vibraciones en el rotor principal del Ecureuil*

En vertical y lateral	Menor o igual
En tierra	0.2 PSI
En estacionario efecto suelo	0.2 PSI
Vuelo nivelado estabilizado a la máxima potencia	0.2 PSI

Nota. La tabla indica los niveles de tolerancia de vibraciones en el rotor principal en vertical del helicóptero Ecureuil AS 350 B3e.

2.5.5. Medición de vibraciones

Las vibraciones se pueden medir mediante un mecanismo que proporciona los valores pico, a pico en revoluciones que emite una señal vibratoria general, el medidor tiene filtros de paso alto y paso bajo con el propósito de disminuir las posibilidades de interferencias provenientes de ruidos de altas frecuencias y ruidos de bajas de frecuencias, esto hace que llegue la señal al sensor y si está compuesto también con velocímetro puede entregar el valor de la medición de la velocidad y el desplazamiento.

2.6. Inspecciones

De acuerdo a las RDAC el concepto de inspección “Es el acto de examinar una aeronave o componente de aeronave para establecer la conformidad con un dato de mantenimiento”.

Tiene como objetivo en verificar que cumpla con los estándares de calidad y garantice la aeronavegabilidad en el transporte aéreo que son exigidas por los entes reguladores de la aviación civil y militar, este proceso se realiza de una manera ordena, cumpliendo con los ítems emitidos por las casas fabricantes y regularizados

por los entes reguladores antes mencionados, estas inspecciones se pueden clasificar como inspecciones programadas e inspecciones no programadas.

2.6.1. Inspecciones programadas

Este tipo de inspección es el que se ejecuta sobre un plan o un programa de mantenimiento establecido por la casa fabricante o el operador, en el caso de Airbus para el helicóptero Ecureuil, tiene establecido un programa de mantenimiento entre inspecciones periódicas e inspecciones complementarias las cuales se detallan a continuación en la tabla.

Tabla 7

Tipo de inspecciones programadas

Inspecciones complementarias	Inspecciones periódicas
Inspecciones diarias (Pre flight)	Inspección de 600 horas o cada 2 años
Inspección de 30 horas	Inspección de 1200 horas
Inspección de 100 horas	
Inspección de 150 horas	
Inspección de 300 horas	

Nota. La tabla indica el tipo de cada inspección con el intervalo de horas de vuelo necesarias para realizar la inspección.

2.6.2. Inspecciones no programadas

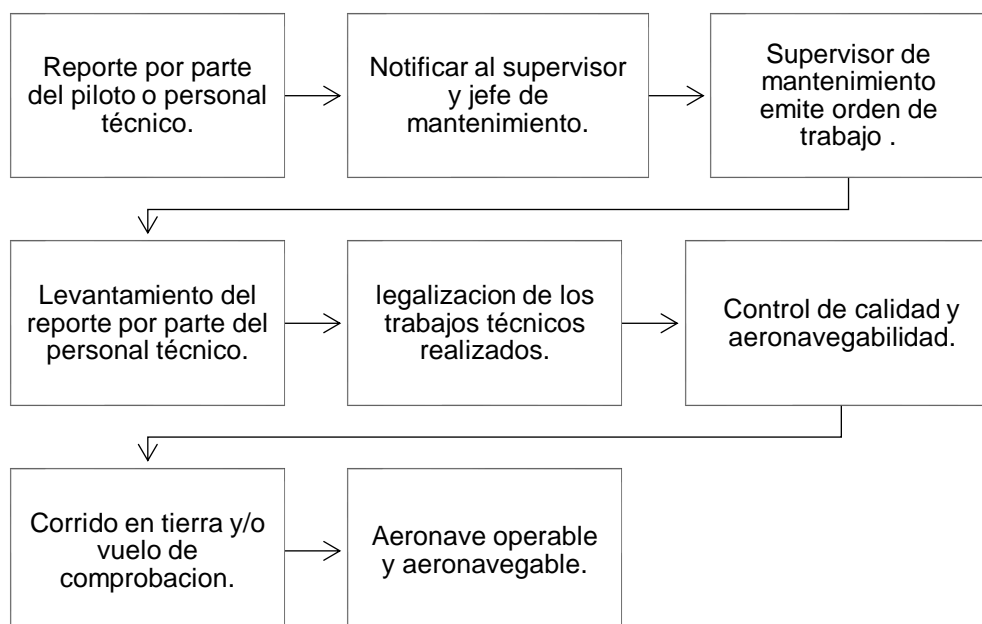
Las inspecciones no programadas se las conoce también como eventuales ya que estas inspecciones se las realiza cuando existe algún fallo o se detecta una anomalía extraña en el funcionamiento de la aeronave, reportados por el piloto o por el área de mantenimiento en una inspección diaria, estas inspecciones de igual manera se realizan en caso de que la aeronave haya tenido una sobre revolución o un aterrizaje de emergencia y forzoso.

Para realizar una inspección no programada del helicóptero Ecureuil AS 350 B3e en las instalaciones de la 15 B.A.E "PICHINCHA", se rige al programa de

mantenimiento que tiene como operador y de la aeronave en la cual detalla las correcciones a seguir de acuerdo a la falla; en donde el personal de mantenimiento, espera una orden de trabajo emitida por el Jefe de Mantenimiento quien da la autorización para realizar el levantamiento de del reporte o anomalía existente, el levantamiento de los reportes realizados por la parte técnica son aprobados y legalizados por el supervisor de mantenimiento, el inspector de aeronavegabilidad y el jefe de mantenimiento de la 15 B.A.E.

Figura 16

Secuencia de inspecciones no programadas



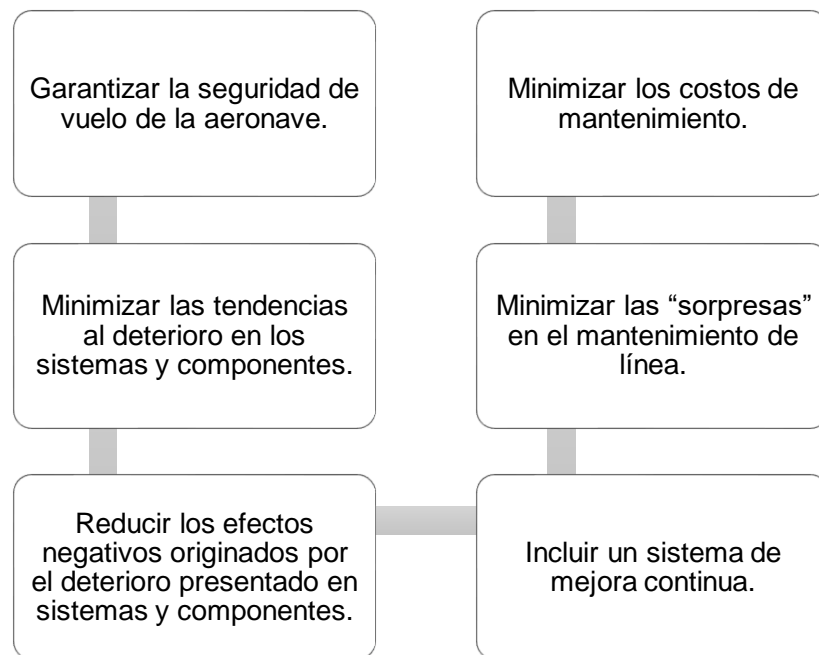
Nota. La figura indica la secuencia que tiene la 15 B.A.E “PAQUISHA” para realizar el proceso de una inspección no programada.

2.7. Tipos de mantenimiento aplicados al helicóptero Ecureuil

El helicóptero Ecureuil utiliza el mantenimiento MSG-3 que en sus siglas en inglés significa (Maintenance Steering Group), el cual se trata de establecer un Programa de Mantenimiento para la aeronave que contiene un mantenimiento englobado, esto quiere decir, los sistemas, elementos, motores y estructura general, en la siguiente figura se observa los objetivos que tiene el programa de mantenimiento.

Figura 17

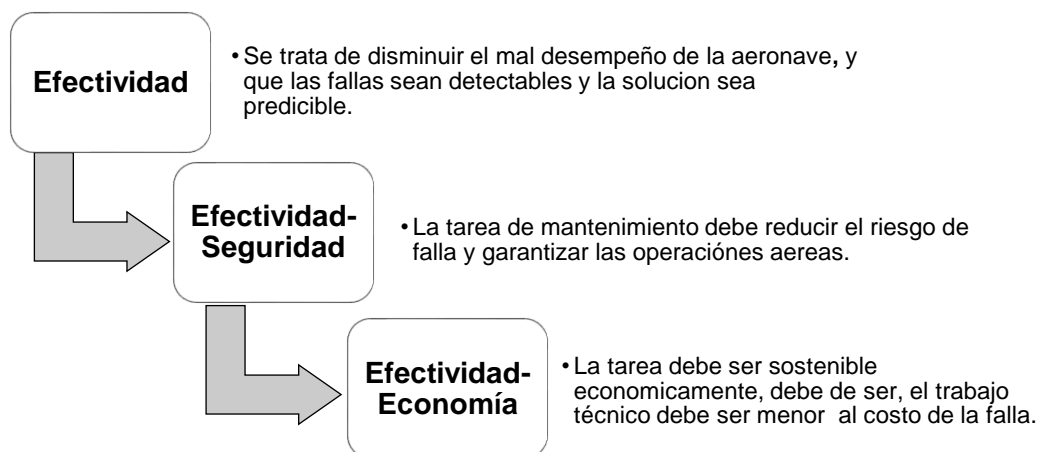
Objetivos del programa de mantenimiento MSG 3



Nota. La tabla indica los niveles de tolerancia de vibraciones en el rotor principal en vertical del helicóptero Ecureuil AS 350 B3e.

Figura 18

Criterios fundamentales del Programa de Mantenimiento



Nota. La figura indica que es necesario cumplir con 3 criterios para la aplicación correcta del programa de mantenimiento.

2.8. Equipos y herramientas especiales

Las herramientas especiales usadas en el mantenimiento de aeronaves son fundamentales ya que determinan la eficacia de un trabajo técnico, ayudando a eliminar los retrasos relacionados con el mantenimiento de aeronaves para los operadores.

Estas herramientas no se encuentran normalmente en el equipo de herramientas de un técnico de mantenimiento, pero su uso es esencial para realizar el mantenimiento aeronáutico, esto se pueden ver como soportes, bases, extractores especiales, etc., muchas de estas herramientas contienen un número de parte que se puede encontrar el catálogo de herramientas especiales de la aeronave para tener un control de su uso y de su almacenamiento o simplemente no contienen un número de parte ya que no existen equivalencias entre herramientas de una misma aeronave.

2.8.1. Aceptabilidad y conformidad

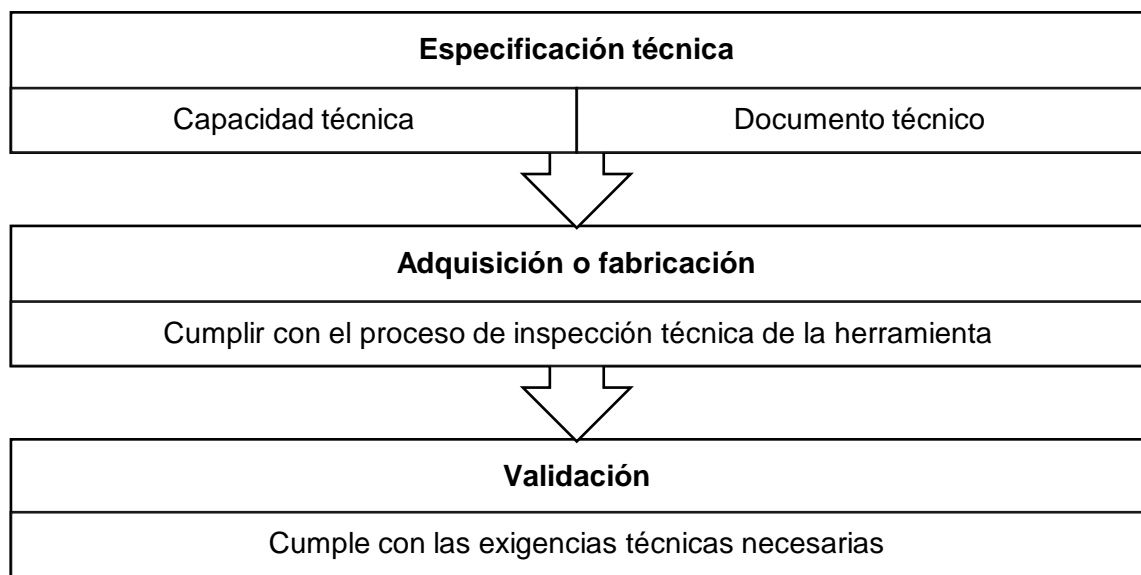
La especificación técnica que debe tener la herramienta a fabricar o adquirir debe estar orientada en una capacidad técnica o documento que establezca, las dimensiones, material de fabricación, función principal y su exactitud en terminados, que demuestre que es contiene los datos técnicos necesarios para desarrollar el mantenimiento.

Para adquirir o fabricar una herramienta especial ya sea de la casa fabricante de la aeronave o un ente externo, debe cumplir con el proceso de inspección y debe cumplir con las exigencias técnicas necesarias de acuerdo a la necesidad de uso de la herramienta.

En la validación debe ser en forma práctica verificando su función de que la herramienta es capaz de cumplir con las exigencias técnicas correspondientes en el procedimiento de mantenimiento al que corresponde.

Figura 19

Proceso de validación de una herramienta

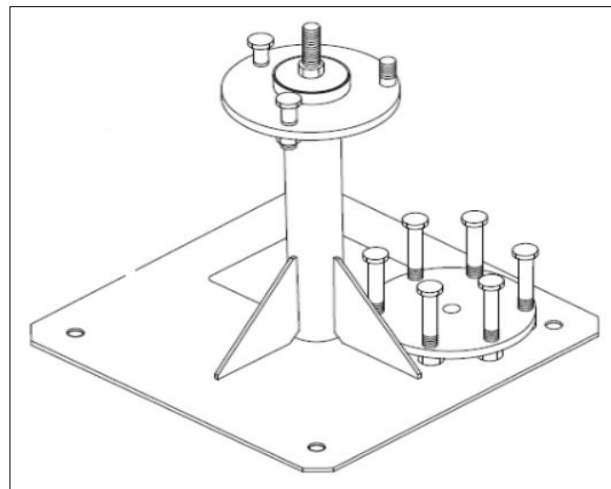


Nota. La figura indica los pasos que se hace para obtener una herramienta validada técnicamente.

2.8.2. Herramienta especial soporte conjunto starflex

La herramienta soporte del conjunto starflex es una herramienta especial fabricado por Eurocopter (Fabricante de la aeronave hasta el año 2014), la cual permite realizar tareas de mantenimiento, que se realizan al helicóptero Ecureuil AS 350 B3e dentro de inspecciones programadas y no programadas, se debe recalcar que esta herramienta es de uso exclusivo de las aeronaves Ecureuil.

Esta herramienta permite asentar el conjunto del rotor principal del helicóptero Ecureuil AS 350 b3e, es una base de hierro donde que está conformada por un eje central sostenida por cuatro esquinas diagonales, en la parte superior está compuesta por un perno central y dos platos extraíbles donde se puede asentar el conjunto starflex del helicóptero y permite realizar las tareas de mantenimiento de una manera adecuada y segura.

Figura 20*Soporte de conjunto starflex*

Nota. La figura indica la herramienta especial donde asienta el conjunto starflex con su plato superior desmontable para una mejor sujeción del componente.

Tabla 8*Medidas de la herramienta*

Descripción	Medida
Altura	0.38 m
Ancho	0.4 m
Área de base	0.16 m ²
Peso	25 lb
Peso máximo de soporte	65 kg

Nota. La tabla indica las especificaciones técnicas que tiene la herramienta especial.

Capítulo III

3. Desarrollo del tema

3.1. Repotenciación de la herramienta soporte conjunto starflex

En base a la inspección que realizó el personal de la sección Ecureuil y al informe (ANEXO A) emitido de la inspección sobre el soporte del conjunto starflex se detalla que la herramienta no se encuentra en condiciones operables para ser usada en el mantenimiento programado de los helicópteros Ecureuil H 125 B3e por lo que se desarrolló una duplicación de la herramienta con la ayuda del personal de la sección de suelda, torno y pintura de la Brigada Aérea.

3.2. Materiales y herramientas utilizadas

Los materiales y herramientas que se usaron en la repotenciación de la herramienta especial se detallan a continuación:

Tabla 9

Materiales y herramientas usadas

Ítems	Descripción	Cantidad
01	Plancha de hierro	01
02	Tubo de hierro	01
04	Pintura	01
05	Compresor	01
06	Suelda	01
07	Electrodos	10
08	Lija	02
09	Torno	01
10	Amoladora	01
11	Disco de corte	01

Nota. La tabla indica las especificaciones técnicas que tiene la herramienta especial.

3.3. Habilitación de la herramienta

Con los materiales detallados y herramientas a ser utilizadas se procede su adquisición con la calidad y características correspondientes, se realizó un análisis estructural con el personal técnico y el supervisor del taller de soldas se decide realizar una nueva herramienta debido a que la herramienta se encuentra en mal estado detallado en el Anexo A.

3.3.1. *Ensamble de los componentes*

Con los materiales detallados se procedió a tomar medidas de acuerdo al anexo B, para posterior cortar el material, se debe indicar que la herramienta no es de forma simétrica.

Figura 21

Corte de los materiales



Nota. Corte de los materiales con el equipo de protección personal.

En la base de la herramienta se procede a ensamblar el tubo central con ángulos de refuerzo en los cuatro extremos del tubo que ayudaran a soportar el peso del conjunto starflex, se verificó los puntos de suelda que se encuentren uniformes, para poder evitar fisuras y daños de la herramienta.

Figura 22

Proceso de soldadura



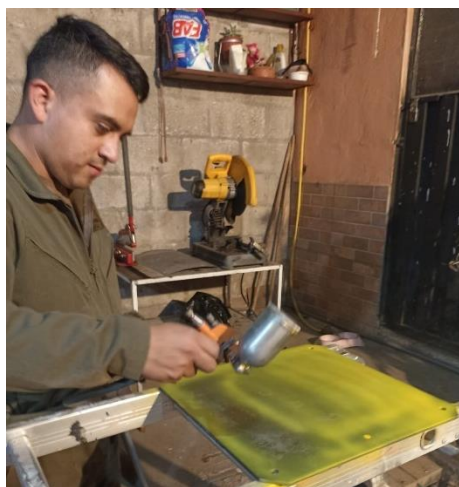
Nota. Ensamble de la herramienta por medio de suelda.

3.3.2. Proceso de acabado de la herramienta

Con el soporte armado se realizó el alisamiento de los bordes de la herramienta con una lija, para posterior poder realizar una limpieza de la misma y aplicarle una base de fondo como protección del material. Una vez terminado el proceso de protección se procedió a realizar el acabado final con la pintada de la herramienta de color amarillo.

Figura 23

Pintado de la herramienta



Nota. Proceso de acabado de la herramienta por medio del pintado.

3.3.3. Herramienta con medidas de seguridad finalizada

Para la finalización de la herramienta se procede a colocar adhesivos con el número de parte que corresponde, el cual permitirá almacenarla y encontrarla de una manera fácil y ordenada, también se colocó medidas de seguridad que indica el equipo de protección que se debe usar para evitar incidentes.

Figura 24

Herramienta con medidas de seguridad



Nota. La figura muestra la herramienta terminada con las medidas de seguridad.

3.4. Información técnica para la tarea de mantenimiento

En el mantenimiento de una aeronave es primordial verificar la información técnica de los manuales de mantenimiento que son emitidos por la casa fabricante, donde indica las cartas de trabajos que se debe realizar de una manera correcta.

Tabla 10

Manuales de Mantenimiento

Siglas	Nombre	Aeronave
AMM	Manual de Mantenimiento	Ecureuil AS 350 B3e
IPC	Catálogo Ilustrado de Partes	Ecureuil AS 350 B3e
SRM	Manual de Reparación Estructural	Ecureuil AS 350 B3e

Nota. La tabla indica los manuales de mantenimiento de la aeronave.

Figura 25*Manuales de Mantenimiento*

Nota. La figura muestra los manuales de mantenimiento que se utilizaron para la tarea de mantenimiento.

3.5. Preparativo para la tarea de mantenimiento

Para poder realizar la tarea de mantenimiento se procedió a conformar el equipo de trabajo con el personal de la sección Ecureuil, se preparó los manuales técnicos a utilizar, las herramientas de trabajo y el material desechable con el cual se desarrollaría la tarea de mantenimiento.

Figura 26*Equipo de trabajo*

Nota. Conformación del equipo de trabajo con el personal técnico de la sección.

Tabla 11*Herramientas utilizadas en la tarea de mantenimiento*

Ítems	Descripción
01	Herramienta especial soporte conjunto starfex
02	Torquímetro
03	Juego de llaves
04	Juego de destornilladores
05	Racha
06	Encorchador
07	Cortador
08	Juego de copas

Nota. La tabla detalla las herramientas que se utilizaron en la tarea de mantenimiento junto a la herramienta especial.

Tabla 12*Material fungible*

Ítems	Descripción
01	WD - 40
02	Tela pañal
03	Brochas
05	Grasa Def- stan 91-54
06	Lubriplate No. 130-AA
07	Agente anticorrosivo CM 518
08	Cinta adhesiva de colores
09	Compuesto de bloqueo CM 683

Nota. La tabla detalla las herramientas que se utilizaron en la tarea de mantenimiento junto a la herramienta especial.

Figura 27*Herramientas y Material fungible*

Nota. La figura indica las herramientas y material fungible utilizadas en la inspección.

3.6. Ejecución de la tarea de mantenimiento

Con el equipo técnico de la sección Ecureuil, los manuales de mantenimiento y las herramientas se dio inicio a la inspección, con el desmontaje de los bujes de sujeción de las palas del rotor principal y los carenajes que cubren y protegen a la caja principal del rotor.

Figura 28*Desmontaje de los carenajes*

Nota. La figura indica el desmontaje de los carenados de la aeronave.

Se desatornilla los pernos que se encuentran asegurando al sombrero chino para luego instalar un tecele mecánico y de esta manera realizar el desmontaje del sombrero chino del rotor principal, cumpliendo las instrucciones de seguridad para no dañar los conjuntos mecánicos.

Figura 29

Sombrero chino



Nota. La figura indica al personal técnico con el sombrero chino desmontado.

Posterior a eso se procedió a desatornillar los 12 pernos que sujetan al conjunto starflex y con la ayuda de un tecele mecánico se realizó el desmontaje del conjunto starflex del rotor principal, se debe asegurar que no ingrese material no deseado en el eje del mástil rotor durante la operación.

Figura 30

Desmontaje del conjunto starflex



Nota. La figura indica al personal técnico desmontando el conjunto starflex.

Se procedió a acentuar el conjunto starflex del rotor principal en la herramienta especial soporte del conjunto starflex, donde se aseguró con pernos para ejercer mayor fuerza al momento de desmontar sus componentes.

Figura 31

Herramienta con el conjunto starflex



Nota. La figura muestra al conjunto starflex asentada y asegurada a la herramienta especial.

Con el conjunto starflex asentado en la herramienta especial y asegurada se realizó una identificación y se marcó las piezas con el color del brazo correspondiente de la estrella ya que esto asegura que los elementos sean instalados en el brazo correcto de la starflex.

Figura 32

Señalización de los componentes



Nota. La figura muestra la señalización los componentes para tener

Con los componentes identificados y etiquetados se realiza el desmontaje de los pernos que sujetan a las mangas del rotor con el adaptador de frecuencia, se retiran los pasadores y se los desecha, se verifica si existe algún tipo de corrosión en los pernos y se asegura que el perno no gire con la tuerca, para evitar roturas del perno, y se procede a separar el adaptador de frecuencia que contiene el rodamiento esférico de la starflex.

Figura 33

Desmontaje de los adaptadores de frecuencia



Nota. La figura indica la separación del adaptador de frecuencia de la starflex.

Para realizar el desmontaje de los rodamientos esféricos del adaptador de frecuencia se retiró el perno y arandela que lo sujeta, se extrae el anillo de ventilación y el rodamiento esférico del adaptador de frecuencia de los tres brazos de la starflex.

Figura 34

Desmontaje de los rodamientos esféricos



Nota. Rodamiento esférico, anillo de ventilación del adaptador de frecuencia.

Con el rodamiento esférico desmontando del conjunto starflex, se procedió a realizar la inspección de los mismos como indica en el Anexo D, se realizó una limpieza general y se verificó que no se encuentre corrosión, que el juego axial de los rodamientos no sea mayor o igual 0.2mm en la zona A.

Figura 35

Inspección de los rodamientos esféricos

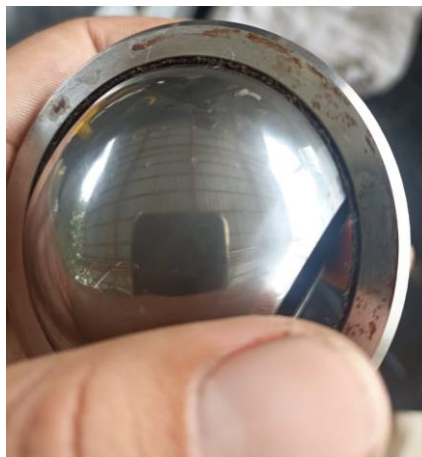


Nota. Verificación del juego axial de los rodamientos esféricos

Una vez realizada la inspección de los rodamientos esféricos se verificó, que se encuentran con corrosión en la zona A y sin auto lubricante, por lo que se determinó deben ser reemplazados por rodamientos nuevos ya que la tarea de mantenimiento indica a reemplazarlos si sobrepasa los límites permitidos.

Figura 36

Estados de los rodamientos esféricos



Nota. La figura muestra al rodamiento esférico con corrosión.

Para realizar el cambio de los rodamientos se verificó en el Catálogo Ilustrado de Partes (IPC) el número de parte, para su retiro del almacén de repuestos aeronáuticos de la Brigada Aérea con su respectiva documentación.

Figura 37

Rodamientos esféricos nuevos



Nota. La figura muestra los rodamientos nuevos con la hoja de trazabilidad.

Con los rodamientos esféricos nuevos de número de parte 11 7775P se colocó un recubriendo con una fina capa protectora de anticorrosivo en el rodamiento esférico como en el anillo de ventilación en los pernos de sujeción se aplicó compuesto de bloqueo CM 683 en las roscas de los tornillos

Figura 38

Instalación de los rodamientos esféricos



Nota. La figura muestra la colocación de anticorrosivo en los rodamientos esféricos.

Una vez aplicado los recubrimientos de anticorrosivos indicados en el manual de mantenimiento, se procedió a instalar en el adaptador de frecuencia con el torque que indica en el manual de mantenimiento.

Figura 39

Instalación de los rodamientos esféricos



Nota. Aplicación del torque a los pernos que sujetan los rodamientos esféricos rodamientos.

Con los componentes ensamblados se realizó el ajuste correspondiente de los pernos con el torque adecuado indicado en el manual de mantenimiento y se aseguró con los pasadores.

Figura 40

Ajuste de los componentes



Nota. La figura muestra el ajuste de los pernos del adaptador de frecuencia con un torquímetro.

Con el conjunto starflex inspeccionado y con la ayuda del tecele mecánico se realizó la instalación en la aeronave, sujetando con los 12 pernos y ajustando con el torque indicado, además se realizó un frenado en la cabeza de los pernos para evitar que se afloje por medio de las vibraciones.

Figura 41

Frenado de los pernos del conjunto starflex



Nota. La figura muestra el frenado de los pernos del conjunto starflex.

Se realizó la instalación del sombrero chino con torque recomendado, y se procedió a poner líneas de fe en los pernos del conjunto starflex para un mejor control y verificación de su estado y ajuste.

Figura 42

Instalación del sombrero chino



Nota. La figura indica instalado y asegurado el sombrero chino en la aeronave.

Cumpliendo con los ítems que indica la tarea de mantenimiento y los estándares de aeronavegabilidad se procedió a realizar un corrido en tierra para verificar si existía algún tipo de vibración, el cual fue mínimo y se realizó la corrección correspondiente, se debe recalcar que la herramienta especial soporte del conjunto starflex fue de gran importancia al momento de realizar el desmontaje, inspección y ensamble del conjunto starflex, ya que permitió una gran maniobrabilidad y seguridad al personal técnico.

Se debe mencionar que la aeronave no necesito de una reparación estructural, por lo cual no se utilizó el Manual de Reparaciones Estructurales (SRM).

Figura 43

Conjunto starflex instalado en el helicóptero



Nota. La figura indica instalado el conjunto starflex en la aeronave.

3.7. Análisis de Costos de los materiales

El detalle de los costos primarios y secundarios para la realización de la tarea de mantenimiento 62-21-00,6-17, se detalla a continuación.

Tabla 13*Costos primarios*

Ord.	Descripción	Cantidad	Precio U.	Total
01	Plancha	01	90,00	90,00
02	Ángulos	04	05,00	20,00
03	Disco plástico	01	12,00	12,00
04	Tubo de 2"	01	20,00	20,00
05	Medidas de seguridad	01	10,00	10,00
06	Perno	01	05,00	05,00
07	Pernos de sujeción	03	03,00	09,00
08	Pintura	01	20,00	20,00
09	Electrodos	10	00,50	05,00
10	Lijas	03	00,50	01,50
SUB-TOTAL				169.40
I.V.A (12%)				23,10
TOTAL				192,50

Nota. La tabla indica los materiales con los respectivos valores que fueron utilizados para realizar el proyecto.

Tabla 14*Costos secundarios*

Ord.	Descripción	Cantidad	Precio U.	Total
01	Transporte		60,00	60,00
02	Gastos varios		30,00	30,00
SUB-TOTAL				79.20
I.V.A (12%)				10,80
TOTAL				90,00

Nota. La tabla indica los gastos adicionales que se realizaron en la elaboración de este proyecto.

Tabla 15*Costos total del proyecto*

Ord.	Descripción	Total
01	Total gastos primarios	192,50
02	Total gastos secundarios	70,00
TOTAL		262,50

Nota. La tabla indica el gasto total que se utilizó en el desarrollo del proyecto técnico.

Capítulo IV

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

- La información requerida se recopiló de los manuales de mantenimiento de la aeronave, emitidos por la casa fabricante los cuales ayudaron a verificar el juego axial de los rodamientos esféricos a que no esté fuera de los límites permitidos por el manual, dichos rodamientos se encontraban con un juego axial superior al permitido, por lo que se realizó la instalación de nuevos rodamientos esféricos.
- Se implementó la herramienta especial para el soporte del conjunto starflex, con los materiales y herramientas adecuadas, con el cual se logró reposar y asegurar el conjunto starflex del rotor principal del helicóptero AS 350 B3e, para poder realizar el desmontaje de los componentes y realizar la inspección de los rodamientos del conjunto starflex.
- Se logró comprobar la herramienta especial, con la ejecución de la tarea de mantenimiento 62-21-00,6-17, inspección del juego axial de los rodamientos esféricos del conjunto starflex del helicóptero AS 350 B3e de acuerdo al manual de mantenimiento de la aeronave, con la herramienta especial se logró realizar el desmontaje, inspección ensamble y ajuste de los componentes de manera que brindo facilidad, comodidad y seguridad con los componentes del sistema y del personal técnico de la sección.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda el uso de los manuales de mantenimiento con las actualizaciones correspondientes siguiendo cada uno de los pasos indicados, y tomando atención a las precauciones y notas que indica el manual técnico del helicóptero AS 350 B3e.
- Asegurarse de realizar un mantenimiento en la herramienta especial soporte del conjunto starflex, y al momento de hacer uso de la misma usar el equipo de protección personal para evitar alguna lesión y tener cuidado en el uso para evitar fisuras en la herramienta.
- Leer de manera cautelosa las indicaciones de la herramienta especial en el manual, para lograr un buen manejo y uso de la misma, al momento de realizar inspecciones o los debidos mantenimientos en el helicóptero y usar la herramienta solo con el sistema del conjunto starflex.

Glosario

A

Aeronavegabilidad: Certificado técnico de una aeronave, el cual permite operar en condiciones seguras y es emitido por la autoridad de aviación competente.

Ala fija: Nombre técnico para todos los aviones.

Ala rotativa: Nombre técnico para los helicópteros por el movimiento de sus palas.

C

Cabeceo: Movimiento de la aeronave en el eje lateral.

Carenaje: Estructura desmontable del fuselaje externo de la aeronave.

Componente: Artículo o pieza que conforma parte de una aeronave o un sistema de la aeronave.

E

Ecureuil: Helicóptero ligero monomotor de fabricación francesa.

Ensamble: Unión, fusión o acoplamiento de componentes de una aeronave.

H

Helicóptero: Aeronave que está conformada por sistema de rotores que permite mover sus palas para generar la sustentación.

Herramienta especial: Instrumento técnico que permite o facilita realizar una inspección en la aeronave.

I

Inspección: Acción de verificar el estado de una aeronave o componentes, para mantener la aeronavegabilidad y cumplir con las normativas de mantenimiento.

M

Mantenimiento: Tareas a realizar en las aeronaves, siguiendo las instrucciones de un manual técnico, para asegurar la aeronavegabilidad.

Manual técnico: Documento que engloba la información detallada y necesaria sobre distintas características físicas y técnicas de distintos elementos.

R

Repotenciación: Mejoramiento de algún componente, siendo este reemplazado por algún equipo de mayor potencia para lograr la optimización de actividades mecánicas.

Rodamiento: Pieza mecánica, útil para la minimización de fricciones entre el eje y las piezas.

Rotor: Elemento de las aeronaves, cuyo propósito es generar sustentación aerodinámica, permitiendo la estabilidad en vuelo.

S

Starflex: Estrella flexible que permite el balanceo del rotor principal que está compuesto de fibra de vidrio.

T

Tecle mecánico: Equipo que tiene la finalidad de levantar o trasladar de manera ágil, rápida y sencilla distintos tipos de cargas pesadas.

V

Vibración: Movimientos emitidos a la aeronave, provenientes de estructuras mecánicas, las cuales producen efectos de riesgo.

Abreviaturas**A**

A.E: Aviación del Ejército.

B

B.A.E: Brigada de Aviación del Ejército.

C

CAPT: Capitán.

I

I: Infantería.

K

KG: Kilogramos.

R

RDAC: Regulaciones de Dirección de la Aviación Civil

V

VFR: Reglas de Vuelo Visual

Bibliografía

Aeroexpo.online. (28 de Abril de 2017). 23 de Noviembre de 2021, from Airbus

Helicopters: <https://www.aeroexpo.online/es/prod/airbus-helicopters/product-173989-337.html>

Airbus. (25 de Noviembre de 2021).

Airbus.com. (14 de Noviembre de 2021). <https://www.airbus.com/en/products-services/helicopters/civil-helicopters/h125/h125-missions>

Diseño, & Studio, o. y. (02 de Diciembre de 2021). *Rodamientos de rodillos*

esféricos - Productos - Tecmar. Retrieved 05 de Enero de 2022, from

Tecmar-rodamientos.com.ar: [http://www.tecmar-](http://www.tecmar-rodamientos.com.ar/productos/rodamiento-de-rodillos-esfericos)

[rodamientos.com.ar/productos/rodamiento-de-rodillos-esfericos](http://www.tecmar-rodamientos.com.ar/productos/rodamiento-de-rodillos-esfericos)

Es.mklbearing.com. (s.f.). *rodamientos de bolas, rodamientos de rodillos, fabricante*

de rodamientos de china | mklbearing. [https://es.mklbearing.com/ge20c-](https://es.mklbearing.com/ge20c-radial-spherical-plain-bearings_p663.html)

[radial-spherical-plain-bearings_p663.html](https://es.mklbearing.com/ge20c-radial-spherical-plain-bearings_p663.html)

G., D. P. (s.f.). Análisis de vibraciones de máquinas Categoría I - ISO 18436-2. En U.

d. Concepción, *Bases de mantenimiento predictivo y de diagnóstico de fallas en máquinas*.

Hmong.es. (29 de Noviembre de 2021). Controles de vuelo en helicóptero:

https://hmong.es/wiki/Helicopter_flight_controls

McAdams, T. (25 de Abril de 2021). *Blog.aopa.org*. Retrieved 10 de Diciembre de

2021, from Rotor Starflex |: [https://blog.aopa.org/aopa/2011/05/25/starflex-](https://blog.aopa.org/aopa/2011/05/25/starflex-rotor/)

[rotor/](https://blog.aopa.org/aopa/2011/05/25/starflex-rotor/)

Power-MI. (29 de Agosto de 2012). *Power-MI*. Retrieved 19 de Noviembre de 2021,

from Vibración en maquinaria industrial: [https://power-](https://power-mi.com/es/content/vibraci%C3%B3n-en-maquinaria-)

[mi.com/es/content/vibraci%C3%B3n-en-maquinaria-](https://power-mi.com/es/content/vibraci%C3%B3n-en-maquinaria-)

Anexos