



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“Chequeo del balance estático del rotor de cola, acorde a las especificaciones del manual de mantenimiento capítulo 30, del helicóptero Robinson R44 perteneciente a la Empresa HELIMANTA.”

Suarez Macías, Erick Ignacio

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

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

Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián

26 de enero del 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

Reporte de verificación de contenido

Document Information

Analyzed document	MONOGRAFIA ERICK SUAREZ.docx (D172050319)
Submitted	7/13/2023 3:19:00 PM
Submitted by	Juan Carlos Altamirano
Submitter email	jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	jc.altamiranoc.uta@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	UNIVERSIDAD TECNICA DE AMBATO / MONOGRAFIA WILLIAN ICHAU2.pdf	 5
	Document MONOGRAFIA WILLIAN ICHAU2.pdf (D167363163)	
	Submitted by: jc.altamiranoc@uta.edu.ec	
	Receiver: jc.altamiranoc.uta@analysis.orkund.com	

Entire Document

"Chequeo del balance estático del rotor de cola, acorde a las especificaciones del manual de mantenimiento capítulo 30, del helicóptero Robinson R44 perteneciente a la Empresa HELIMANTA"
 Suarez Macias, Erick Ignacio
 Departamento de

64%	MATCHING BLOCK 1/5	SA MONOGRAFIA WILLIAN ICHAU2.pdf (D167363163)
Energía y Mecánica Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica Monografía, previa a la obtención del título de		



Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián
 C.C.: 1722580329



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Certificación

Certifico que la monografía: “Chequeo del balance estático del rotor de cola, acorde a las especificaciones del manual de mantenimiento capítulo 30, del helicóptero Robinson R44 perteneciente a la Empresa HELIMANTA.” fue realizada por el señor **Suarez Macías, Erick Ignacio** 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, 14 de julio de 2023

.....

Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastián

C.C.: 1722580329



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Suarez Macías, Erick Ignacio**, con cédula de ciudadanía n° **1316456878**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Chequeo del balance estático del rotor de cola, acorde a las especificaciones del manual de mantenimiento capítulo 30, del helicóptero Robinson R44 perteneciente a la Empresa HELIMANTA.”** 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, 14 de julio de 2023

Suarez Macías, Erick Ignacio

C.C.: 131645687-8



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Aeronáutica

Autorización de Publicación

Yo, **Suarez Macías, Erick Ignacio**, con cédula de ciudadanía n° **1316456878**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“Chequeo del balance estático del rotor de cola, acorde a las especificaciones del manual de mantenimiento capítulo 30, del helicóptero Robinson R44 perteneciente a la Empresa HELIMANTA.”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 14 de julio de 2023

Suarez Macías, Erick Ignacio

C.C.: 131645687-8

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a Dios, por la fuerza, sabiduría y aliento que ha sido durante la trayectoria de mis estudios, por ser la fuente de inspiración para superar muchos malos momentos y difíciles situaciones que se presentan en la vida y que gracias a él puedo permitirme terminar la carrera que es una meta complicada. A mis papás y mis hermanas por apoyarme en todo el transcurso del tiempo, por ser incondicionales, estar a diario en desveladas largas, por ser mi ejemplo a seguir y mostrarme la lucha diaria de la vida, pero también lo gratificante que es conseguir algo por lo que has luchado y soñado. Doy gracias a mis amigos y profesores que son una ayuda, compañeros de aventuras las cuales alegraron nuestro proceso de aprendizaje y unas que otras mostraron una verdadera amistad.

Suarez Macías, Erick Ignacio

Agradecimiento

Gracias Dios por permitirme lograr una meta en mi vida, por darme dones como la perseverancia, conocimientos, capacidades que me permitieron cumplir mis sueños, a mi familia que nunca desistieron y confiaron en mi a pesar de estar lejos de casa, por sus consejos y apoyo incondicional, por permitirme conocer personas increíbles en este proceso, personas que me recordaban “cuando el momento es fuerte la recompensa es grande” a todos los señores mecánicos que he conocido de aviación, por impartir sus conocimientos tan únicos y que han tomado tiempo recaudarlos y han sido una gran guía en este camino. Agradezco a Helimanta S.A por darme la aceptación de mi proyecto, por el consejo diario, fuerzas y apoyo incondicional, por darme la oportunidad de forjarme como mecánico de aviación. Agradezco a la Universidad de las fuerzas Armadas Espe sede Latacunga, que tiene una catedra de alto estima, a sus varios profesores en especial al profesor Gabriel Inca que ha sido un amigo y una excelencia en su forma de enseñar.

Suarez Macías, Erick Ignacio

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	11
Índice de tablas.....	13
Resumen.....	14
Abstract	15
Capítulo I: Planteamiento del problema	16
Antecedentes.....	16
Planteamiento del problema.....	17
Justificación e importancia	18
Objetivos.....	19
<i>Objetivo general</i>	19
<i>Objetivos específicos</i>	19
Alcance	20
Capítulo II: Marco Teórico	21

Reseña histórica de la empresa aérea HELIMANTA S.A	21
Generalidades de la compañía Robinson	22
Descripción de los modelos de helicópteros Robinson.....	23
<i>R22 Beta II</i>	23
<i>R44 Cadet</i>	24
<i>R44 Raven I/Clipper I</i>	25
<i>R44 Raven II/Clipper II</i>	26
<i>R66 Turbine/Turbine Marine</i>	26
<i>Comparación del performance</i>	28
Rotor de cola de un helicóptero	28
Sistemas antitorque	29
<i>Rotor de cola</i>	29
<i>Fenestrón</i>	30
<i>Notar</i>	31
<i>Rotor de cola de Robinson</i>	32
Balance estático y dinámico en Helicópteros	33
<i>Balance estático</i>	34
<i>Balance Dinámico</i>	35
Equipos de vibración usados en helicópteros Robinson.....	35
<i>Vibrex 2000</i>	35
<i>Cobra II</i>	36
Mantenimiento o inspección aeronáutico.....	37
<i>Categoría de inspección aeronáutica</i>	37
<i>Intervalos de tiempo para las inspecciones aeronáuticas</i>	38
<i>Inspección por Robinson a modelos R44</i>	39
<i>Documentación técnica requerida para el helicóptero Robinson R44</i>	42

<i>Medidas de seguridad en un mantenimiento aeronáutico</i>	45
Capítulo III: Desarrollo	46
Introducción.....	46
Beneficios	46
Banco de balance estático para el conjunto del rotor de cola para Robinson R44 ..	46
Síntesis del análisis estructural	48
Realización del banco de balance estático.....	51
Propiedades físicas del eje y las palas	52
Determinación de la estructura del disco	53
Implementación del banco estático para Robinson R44	54
Eje especial para el rotor de cola	54
Ejecución del balance estático	56
Presupuesto del proyecto de titulación.....	62
Capítulo IV: Conclusiones Y Recomendaciones	64
Conclusiones.....	64
Recomendaciones.....	65
Abreviaturas	66
Glosario	68
Bibliografía	71
Anexos.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Infraestructuras de la Organización de Mantenimiento Aprobada Helimanta S.A.</i>	21
Figura 2	<i>Modelo real del helicóptero Robinson R22</i>	23
Figura 3	<i>Modelo real del helicóptero Robinson R44 Cadet</i>	24
Figura 4	<i>Modelo real del helicóptero Robinson R44 con flotadores</i>	25
Figura 5	<i>Modelo real del helicóptero Robinson R44 Raven II/Clipper II</i>	26
Figura 6	<i>Modelo real del helicóptero Robinson R66 turbine</i>	27
Figura 7	<i>Componentes primordiales de la transmisión de un helicóptero R44</i>	29
Figura 8	<i>Sistema antitorque que contrarresta el efecto del rotor principal el efecto antipar</i>	29
Figura 9	<i>El sistema fenestrón ofrece mayor protección al estar completamente cubierto</i>	30
Figura 10	<i>El sistema Notar utiliza el efecto Coanda para su funcionamiento</i>	32
Figura 11	<i>Sistema de transmisión de los rotores del helicóptero Robinson R44</i>	33
Figura 12	<i>Vista frontal del Vibrex 2000</i>	36
Figura 13	<i>Montaje del sistema de equilibrado en el conjunto del rotor de cola</i>	37
Figura 14	<i>Manuales aplicables y actualizados para modelos R44</i>	43
Figura 15	<i>Manuales y divisiones para helicópteros Robinson</i>	44
Figura 16	<i>Equipo de protección individual</i>	45
Figura 17	<i>Prototipo del banco estático simulando el modelo Anderson 20</i>	47
Figura 18	<i>Rotor de cola ensamblado palas y el cubo</i>	47
Figura 19	<i>Estrés aplicado a los discos del banco de balance estático</i>	49
Figura 20	<i>Acero-Limite elástico estructural</i>	50
Figura 21	<i>Estrés aplicado en la estructura del banco de balance estático</i>	50
Figura 22	<i>Análisis estructural del banco estático, con el factor de seguridad</i>	51
Figura 23	<i>Proceso de realización de los discos de aluminio en base a la tabla 3</i>	53
Figura 24	<i>Eje utilizado en el banco estático para el conjunto del rotor de cola</i>	55
Figura 25	<i>Observación del procedimiento de ajuste de los discos en el banco</i>	55
Figura 26	<i>Banco para el Balance estático del helicóptero Robinson R44</i>	56
Figura 27	<i>Herramientas utilizadas para la tarea de mantenimiento</i>	58

Figura 28 <i>Rotor posicionado en perspectiva vertical</i>	59
Figura 29 <i>Rotor posicionado en perspectiva Horizontal</i>	60
Figura 30 <i>Procedimiento final del balance estático según el capitula 30 del AMM</i>	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Comparación de Performance de helicópteros Robinson</i>	28
Tabla 2 <i>Análisis estructural del banco estático</i>	48
Tabla 3 <i>Aluminio: aleación de alta resistencia</i>	49
Tabla 4 <i>Valores determinados en base a la investigación</i>	52
Tabla 5 <i>Determinar pesos en base a la forma geométrica del disco</i>	54
Tabla 6 <i>Equipos y herramientas requeridas para realizar la tarea de balance</i>	57
Tabla 7 <i>Costos Primarios</i>	62
Tabla 8 <i>Costos secundarios</i>	63
Tabla 9 <i>Costo total del proyecto de titulación</i>	63

Resumen

En este informe de graduación se describe cómo se llevó a cabo el balance estático en las palas del rotor de cola siguiendo las instrucciones del manual de mantenimiento en el capítulo 30, sección 30-11, parte A y B de los helicópteros Robinson R44 en la compañía Helimanta S.A, a través del uso de un dispositivo de equilibrio estático, se colocó el conjunto del rotor de cola después de haberlo limpiado para evitar la presencia de pesos ligeros que podrían afectar el movimiento de una pala en relación a la otra al dejarlas caer por gravedad. Se siguieron las instrucciones del manual para llevar a cabo el primer ajuste en la cuerda de las palas y luego se realizó una segunda corrección en la cabeza del rotor de cola de la aeronave. Como resultado de manipular las arandelas, se logró nivelar las palas en ambas posiciones. Gracias a la utilización de la herramienta de balance estático, que cumple con los requisitos y es altamente adecuada para su aplicación, se pudo llevar a cabo la tarea de mantenimiento de manera exitosa. Esta herramienta ofrece ventajas en términos de movilidad, mantenimiento a largo plazo, ocupa poco espacio de almacenamiento y es fácil de maniobrar para el personal técnico, quienes son los beneficiarios directos del proyecto, así como para la tripulación de vuelo de la flota de Helimanta S.A.

Palabras claves: Balance estático, manual de mantenimiento, Helicóptero Robinson, rotor de cola.

Abstract

This graduation report describes how static balancing was carried out on the tail rotor blades following the instructions of the maintenance manual in chapter 30, section 30-11, part A and B of the Robinson R44 helicopters at Helimanta S.A company, through the use of a static balancing device, the tail rotor assembly was placed after having been cleaned to avoid the presence of light weights that could affect the movement of one blade in relation to the other when dropped by gravity. Manual instructions were followed to perform the first adjustment on the blade chord and then a second correction was performed on the aircraft tail rotor head. As a result of manipulating the washers, the blades were leveled in both positions. Thanks to the use of the static balancing tool, which meets the requirements and is highly suitable for its application, the maintenance task could be carried out successfully. This tool offers advantages in terms of mobility, long-term maintenance, small storage space and easy maneuverability for the technical personnel, who are the direct beneficiaries of the project, as well as for the flight crew of the Helimanta S.A. fleet.

Key words: Static balance, maintenance manual, Robinson helicopter, tail rotor.

Capítulo I

Planteamiento del problema

Antecedentes

En el ámbito de la industria aeronáutica, se ha establecido a través de estudios un problema que afecta a las aeronaves, estos efectos son destructivos para aviones, helicópteros u otros prototipos de aeronaves, estos problemas pueden llegar a causar defectos en sus superficies causando que puedan ocurrir accidentes trágicos con mayor probabilidad, este problema es conocido como vibraciones, estas vibraciones pueden llegar que cualquier material se fatigue el cual va a causar agrietamiento, mala estabilidad, o lo más seguro causar un trágico accidente. Es importante reconocer que para los helicópteros es aun de mayor importancia, sus rotores deben tener un buen balance, para tener un vuelo seguro y confiable, como la empresa Fabricante Robinson diseña en sus prototipos, llevando un estudio de diferentes comprobaciones para los rotores, uno de ellos es el balance estático.

A nivel mundial se han confirmado un sinnúmero de accidentes que involucran los rotores en especial de cola en diferentes modelos de helicópteros, acorde a las investigaciones realizadas por las autoridades competentes se ha determinado un problema de balance en los rotores de cola, lo cual causa vibraciones en el helicóptero y esto como consecuencia ocasiona que la tripulación pierda el control del helicóptero.

Para que el helicóptero logre una operación segura después de un mantenimiento técnico, la organización de mantenimiento aprobada HELIMANTA realiza diferentes procedimientos de balance al rotor de cola en conjunto con las palas. Debido a este proceso se ha determinado como una tarea de mantenimiento que tiene por nombre balance estático, correspondiente al conjunto del rotor de cola del helicóptero de Robinson, con un banco de prueba estático que cumple con los requerimientos especificados por el fabricante. Este proyecto promueve el uso de herramientas técnicas y la verificación de los procesos recomendados por el fabricante de la aeronave dentro de una organización.

Planteamiento del problema

La organización de mantenimiento aprobada HELIMANTA se encuentra ubicada en la ciudad de Portoviejo en el km 5 y medio vía Portoviejo Manta, en las instalaciones distribuidoras Marcos Raúl, provincia de Manabí, helipuerto de diferentes entidades dedicadas a la pesca, esta ofrece a sus clientes trabajos de mantenimientos de acuerdo con sus capacidades aprobadas por la autoridad aeronáutica civil en la republica del Ecuador. Una de las labores de mayor relevancia realizadas a estos helicópteros es el balance estático al conjunto de palas del rotor de cola, la cual actualmente no puede realizarse por la falta de herramientas especificadas en el manual de mantenimiento de la aeronave en el capítulo 30 en la pág. 30.5-30.9.

Debido a la falta de las herramientas necesarias para el equilibrio de los rotores, se requiere realizar inspecciones constantes para evitar posibles problemas durante el vuelo de los helicópteros. El fabricante recomienda dos tipos de equilibrio: estático y dinámico. El equilibrio estático se realiza cuando el rotor está fuera de la aeronave, mientras que el equilibrio dinámico se lleva a cabo una vez que el rotor está instalado y en funcionamiento. Sin embargo, si no se cuenta con una herramienta de equilibrio estático, se procede directamente al equilibrio dinámico, lo cual no es recomendable, ya que a largo plazo puede deteriorar la aeronave de manera más rápida. Estos problemas afectan tanto a la aeronave como al personal técnico encargado del mantenimiento y a la tripulación. La implementación de este proyecto permitirá complementar importantes procesos de mantenimiento, como la revisión general de los helicópteros y del conjunto del rotor de cola, así como cumplir con los plazos de entrega establecidos en los contratos con los clientes. Dado que son pocas las empresas que disponen de estas herramientas esenciales, la verificación de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) será necesaria para garantizar la competencia y responsabilidad en el uso de las herramientas adecuadas.

Justificación e importancia

La organización de mantenimiento aprobada HELIMANTA es una empresa dedicada al mantenimiento de helicópteros Robinson R44 usados en el sector atunero, actualmente esta empresa cuenta con dos certificaciones, una de ellas es como una organización de mantenimiento autorizada (OMA) por la autoridad regulatoria de la república del Ecuador, y otra certificación la cual es como punto autorizado de la compañía Robinson y cuenta con instalaciones, herramientas, equipos y personal técnico capacitado y certificado para realizar un mantenimiento adecuado a los helicópteros de Robinson. Por este motivo la compañía siempre está al tanto de actualizaciones e innovaciones que ofrezca el fabricante para mejorar su servicio y diversificar sus capacidades como una organización de mantenimiento, adquiriendo herramientas necesarias e indispensables que autorice las compañías.

El proyecto tiene como enfoque principal ejecutar en la compañía el balance estático en el conjunto de las palas del rotor de cola de todas las aeronaves Robinson R44 en todas las versiones usando las herramientas que el fabricante especifica y recomienda a todas las organizaciones como centro certificado. Esta herramienta tiene un gran beneficio para las aeronaves que salen de un overhaul o tareas de mantenimiento ya que cumple con la trazabilidad de los componentes de la aeronave antes mencionados.

El proyecto tiene una gran importancia en la república del Ecuador, ya que estas herramientas no son muy comunes en este país, por lo que permite llevar los procesos adecuados de mantenimiento y la verificación de la aeronave acorde al balanceo cumpliendo los estándares establecidos por el fabricante, haciendo practica de las buenas prácticas de mantenimiento añadiendo un escalón más al servicio técnico que ofrece la compañía, además, este proyecto es posible gracias al apoyo y guía del personal técnico que brinda y presta sus instalaciones y documentación de la empresa HELIMANTA. La asesoría es óptima y cumple con los estándares alcanzables para efectuarse sin dificultades.

Objetivos

Objetivo general

Chequear el balance estático del rotor de cola, acorde a las especificaciones del manual de mantenimiento capítulo 30, del helicóptero Robinson R44 perteneciente a la Empresa HELIMANTA usando la herramienta adecuada.

Objetivos específicos

- Recopilar información técnica relevante para realizar tareas de mantenimiento respectivas al banco de prueba.
- Realizar el utillaje necesario para la tarea de balance estático en el conjunto de rotor de cola.
- Registrar los datos obtenidos durante la respectiva trazabilidad del conjunto de rotor de cola.

Alcance

Esta investigación tiene como propósito incentivar el uso de herramientas adecuadas en las demás organizaciones de mantenimiento aprobadas, para la realización, chequeo o inspección del balance estático del conjunto de las palas del roto de los helicópteros Robinson, implementando el banco de pruebas de balance estático del conjunto de rotor de cola como lo recomienda el fabricante, para que el helicóptero no sufra daños y cuente con una adecuada estabilidad en todas las fases de vuelo. De esta manera la empresa HELIMANTA en beneficio añadiría esta tarea de mantenimiento a todos sus clientes usuarios de los helicópteros Robinson R44 y todas sus versiones.

El proyecto tiene un enfoque amplio por lo que abarca los medios de llevar a cabo otras tareas de mantenimiento, esta herramienta brinda la posibilidad que el personal involucrado tenga una noción de los procesos de balance estático, y este mucho más capacitado para futuros procesos de mantenimiento. La empresa puede proyectarse como una organización adecuada de mantenimiento y pioneros en la república del Ecuador como una organización que practica e implementa herramientas estandarizadas.

Capítulo II

Marco Teórico

Reseña histórica de la empresa aérea HELIMANTA S.A

Helimanta S.A es una empresa ecuatoriana, con sede principal ubicada en la ciudad de Portoviejo. Es reconocida por su excelencia en reparación y mantenimiento en el sector aeronáutico, esta empresa fue fundada el 8 de febrero del 2014. Da sus inicios como un grupo de amigos, los cuales forman una sociedad y aceptan trabajos en diferentes partes del Ecuador, naciendo así, la necesidad de una firma autorizada, por consiguiente, se requiere la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) donde se pueden efectuar mantenimientos seguros y adecuados a los helicópteros.

Las tareas de mantenimiento se realizan en base al manual de mantenimiento que ofrece la empresa Robinson para tareas aprobadas, Helimanta S.A cuenta con las capacitaciones y personal con ardua experiencia en helicópteros Robinson. Su sello es la calidad y rapidez en el que se realiza el chequeo y trabajo en los helicópteros, al laborar con empresas que tienen buques atuneros deben salir con mucha prontitud al mar.

Figura 1

Infraestructuras de la Organización de Mantenimiento Aprobada (OMA) Helimanta S.A



Nota. Las Instalaciones de Helimanta son aptas para dar mantenimiento y reparación.

Generalidades de la compañía Robinson

De (Robinson, 2023) fundó “Robinson Helicopter Company” en 1973 en Torrance, California. El objetivo principal que tenía era desarrollar los helicópteros más destacados a nivel mundial, destacando por su calidad superior, fiabilidad y rentabilidad. Su trayectoria como fabricante comenzó en 1979 con la introducción del R22, un modelo que se caracterizaba por su motor de cuatro cilindros y pistones, el cual se hizo popular gracias a su gran ventaja económica y accesibilidad. Como resultado, ha habido un aumento en la cantidad de individuos que muestran interés en adquirir habilidades de pilotaje para esta aeronave.

Algunos años más tarde, en 1992, se introdujo el helicóptero R44 equipado con el motor Lycoming O-540. Este modelo seguía el mismo diseño que el R22, pero tenía la ventaja de poder transportar hasta cuatro pasajeros. En 2002, se realizaron mejoras en el mismo modelo cuando la compañía Robinson presentó el Raven II, que contaba con un motor de inyección similar. En 2005, surgió la idea de desarrollar un nuevo modelo con turbina, y se llevaron a cabo conversaciones entre Rolls Royce y Robinson. En última instancia, en el año 2010, el R66 recibió la aprobación después de una minuciosa evaluación por parte de la Administración Federal de Aviación (FAA), lo que le permitió obtener la autorización para transportar un máximo de cinco pasajeros.

En la actualidad, la compañía ofrece diversas variantes de sus helicópteros, como modelos equipados con flotadores, versiones destinadas a uso policial y modelos Cadet diseñados específicamente para entrenamiento. Además, Robinson considera el desarrollo tecnológico como un aspecto fundamental, tanto es así que ahora ofrecen un sistema de piloto automático para los helicópteros. La seguridad es una prioridad indiscutible en todos los procedimientos de fabricación, y se centra en brindar capacitación continua a todos los implicados en la producción y operación de estas aeronaves.

Descripción de los modelos de helicópteros Robinson

Los helicópteros fabricados por Robinson cuentan con un sistema de rotor de dos palas que necesita un espacio de hangar reducido. Además, cuentan con una barra en T cíclica que facilita las operaciones de entrada y salida, así como un sistema de combustible resistente a impactos. Estos helicópteros presentan un fuselaje ligero pero resistente, construido con una estructura monocasco de aluminio y un armazón de tubo de acero cubierto con una capa de pintura en polvo. La forma aerodinámica del fuselaje está diseñada para optimizar la velocidad y la capacidad de consumir combustible de manera eficiente.

R22 Beta II

Según (HELICOPTER, 2022) el R22, un helicóptero con capacidad para dos personas, que ha demostrado ser un vehículo confiable y ha brindado resultados sobresalientes en diversas aplicaciones. a lo largo de más de cuarenta años. Este modelo cuenta con el motor probado O-360 de Lycoming, el cual ha sido ajustado para proporcionar potencia adicional y un rendimiento mejorado en altitudes elevadas y en condiciones climáticas cálidas.

Figura 2

Modelo real del helicóptero Robinson R22



Nota. Gracias a su accesibilidad y flexibilidad, el helicóptero R22 se utiliza en diversas partes del mundo para entrenamiento de pilotos, tareas relacionadas con la ganadería y transporte personal. Tomado de (Robinson, 2023)

R44 Cadet

De acuerdo a (HELICOPTER, 2022) el helicóptero R44 CADET, con aforo para dos asientos, es una opción versátil perfecto para escuelas de vuelo y operadores que buscan una aeronave pequeña que ofrezca eficiencia sin comprometer la potencia y el rendimiento de modelos más grandes. El CADET comparte el mismo diseño estructural, sistema de rotor y motor Lycoming O-540 que el exitoso R44 Raven I. Las diferencias radican en que el compartimento de carga trasero ha sido reconfigurado, el peso máximo de despegue se ha reducido a 2200 lb, y el motor tiene una potencia de 210 hp al despegar y 185 hp en funcionamiento continuo. La menor carga y potencia proporcionan márgenes de rendimiento más amplios en altitudes elevadas, así como intervalos de mantenimiento extendidos de hasta 2400 tiempos.

Los helicópteros CADET están equipados con paneles de instrumentos aerodinámicos y un sistema de combustible resistente a impactos.

Figura 3

Modelo real del helicóptero Robinson R44 Cadet



Nota. El R44 FLOAT CADET está equipado con flotadores utilitarios fijos que brindan una capa adicional de seguridad durante las operaciones realizadas en entornos acuáticos.

Tomado de (HELICOPTER, 2022)

R44 Raven I/Clipper I

Según (HELICOPTER, 2022) los helicópteros R44 RAVEN I y CLIPPER I, diseñados para cuatro pasajeros, ofrecen un rendimiento sobresaliente, confiabilidad y facilidad de mantenimiento. Sus controles hidráulicamente reforzados eliminan las fuerzas de retroalimentación en los controles cíclicos y colectivos, brindando una respuesta precisa. Gracias a la baja velocidad en la punta del rotor de cola y al diseño curvado de la cola, se logra una reducción del ruido durante el vuelo. Estos helicópteros están equipados con el motor carburado O-540 de Lycoming, cuenta con un sistema de asistencia de calor en el carburador que ajusta automáticamente la temperatura, lo que mejora la seguridad y reduce la carga de trabajo del piloto.

Figura 4

Modelo real del helicóptero Robinson R44 con flotadores



Nota. El helicóptero CLIPPER I cuenta con flotadores utilitarios fijos que proporcionan una medida adicional de seguridad durante las operaciones realizadas sobre el agua. Tomado de (HELICOPTER, 2022)

R44 Raven II/Clipper II

Según (Robinson, 2023) los helicópteros Raven y Clipper II están propulsados por el motor IO-540 de Lycoming que es a inyección de combustible. Este motor ofrece un rendimiento mejorado en altitudes elevadas, una mayor capacidad de carga útil y elimina la necesidad de calentar el carburador. Este helicóptero ofrece la opción de ser equipado con flotadores fijos o flotadores emergentes, lo que brinda una mayor seguridad durante los vuelos realizados sobre el agua. Los flotadores emergentes, diseñados para situaciones de emergencia, se inflan en tan solo 2 a 3 segundos después de su activación. Cuando no están en uso, los flotadores emergentes se pliegan y se guardan en cubiertas protectoras a lo largo de los patines de aterrizaje del helicóptero.

Figura 5

Modelo real del helicóptero Robinson R44 Raven II/Clipper II



Nota. El diseño aerodinámico de perfil bajo reduce la resistencia al mínimo y facilita el acceso y la salida de la cabina de forma sencilla. Tomado de (HELICOPTER, 2022)

R66 Turbine/Turbine Marine

De acuerdo a (Robinson, 2023) los helicópteros R66 TURBINE y R66 TURBINE MARINE, con capacidad para cinco pasajeros, son confiables, rentables y fáciles de mantener. El R66 ofrece un amplio compartimiento de equipaje con una capacidad de 300 lb, lo que brinda a los operadores una mayor versatilidad. Además, está equipado con el

potente motor de turbina Rolls Royce RR300, que permite un mayor rendimiento. Este motor de peso ligero opera con facilidad utilizando combustible Jet A ampliamente disponible, lo cual proporciona una mayor potencia de reserva, mayor capacidad de carga útil y un mejor rendimiento en altitudes elevadas. El R66 cumple con las normas de resistencia a impactos actuales establecidas por la FAA, gracias a la incorporación de asientos con absorción de energía y un sistema de combustible resistente a impactos.

Figura 6

Modelo real del helicóptero Robinson R66 turbine



Nota. El R66 TURBINE MARINE cuenta con flotadores emergentes que proporcionan una medida de seguridad durante los viajes realizados sobre el agua. Tomado de (HELICOPTER, 2022)

Comparación del performance

Tabla 1

Comparación de Performance de helicópteros Robinson

	Motor	Caballos de fuerza	Peso bruto máximo	Capacidad de combustible	Velocidad crucero	Rango de ascenso	Altitud máxima de operación	Sistema eléctrico
R22	Lycoming O-360, 4	131 hp	1370 lb	26,3 gal	96 kts	N/D	14000 ft	14 volt
R44 Clipper I y Raven I	Lycoming O-540, 6 cilindros a carburación	225 hp	2400 lb	46,5 gal	101-108 kts	1000 fpm	14000 ft	28 volt
R44 Clipper II y Raven II	Lycoming IO-540, 6 cilindros a inyección	245 hp	2500 lb	46,5 gal	106-109 kts	1000 fpm	14000 ft	28 volt
R66 Turbine	Rolls Royce RR300 Turbine	300 shp	2700 lb	73,6 gal	110 kts	1000 fpm	14000 ft	28 volt

Nota. Datos de performance de los helicópteros Robinson. Tomado de (Robinson, 2023)

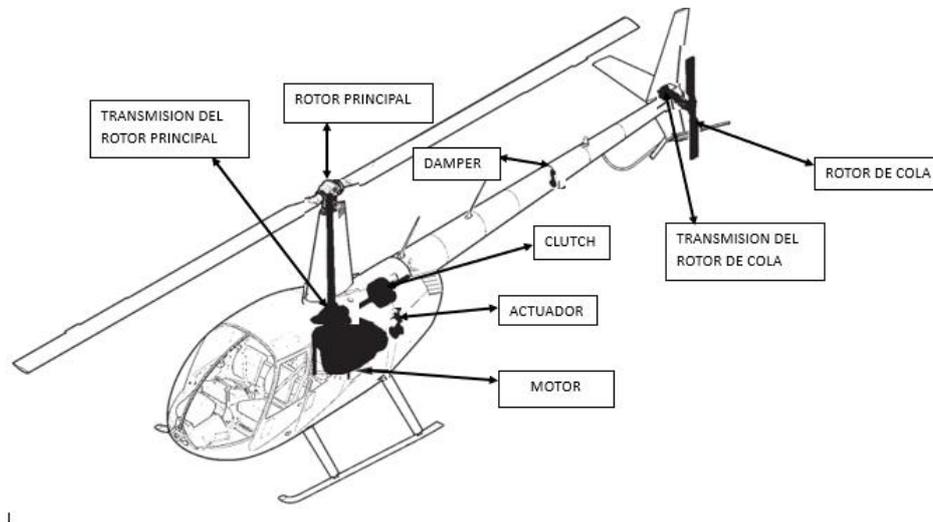
Rotor de cola de un helicóptero

De acuerdo (FAA, 2000) Los helicópteros presentan una variedad de tamaños y formas, aunque la mayoría comparten componentes principales similares. Estos componentes incluyen una cabina donde se transporta la carga y la tripulación, un fuselaje que alberga los distintos elementos o donde se instalan los componentes, una planta motriz o motor, y una transmisión que se encarga de transferir la potencia generada por el motor al rotor principal, generando las fuerzas aerodinámicas necesarias para volar. Además, para

contrarrestar el efecto de torsión y evitar el giro del helicóptero, se requiere un sistema antipar.

Figura 7

Componentes primordiales de la transmisión de un helicóptero Robinson R44



Nota. En los helicópteros, el rotor principal desempeña la función de generar sustentación y empuje, mientras que el rotor de cola se encarga de generar empuje para contrarrestar el par producido por el rotor principal.

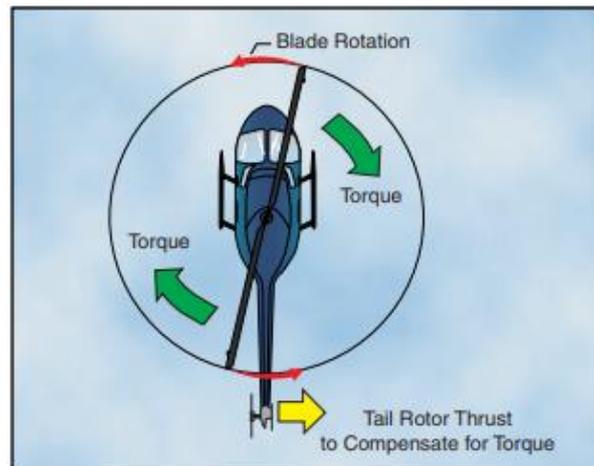
Sistemas antitorque

Rotor de cola

En la mayoría de los helicópteros que cuentan con un único rotor principal, se emplea un rotor de cola adicional para contrarrestar el efecto del par producido por el rotor principal. Este rotor de cola ajustable se encarga de equilibrar y contrarrestar cualquier cambio o inversión en la dirección del par mientras el helicóptero está en movimiento. Es crucial ajustar adecuadamente el empuje del sistema de contrapar para asegurar la estabilidad y el control del helicóptero en diversas situaciones de vuelo, especialmente durante maniobras como el deslizamiento.

Figura 8

Sistema antitorque que contrarresta el efecto del rotor principal.



Nota. El sistema antitorque, compuesto por el rotor de cola, genera un empuje para contrarrestar el par y evita que el helicóptero gire en dirección opuesta al rotor principal.

Tomado de (FAA, 2000)

Fenestrón

Un tipo adicional de sistema antipar es el diseño conocido como fenestrón o "ventilador en cola". En este sistema, se emplea un conjunto de palas giratorias ubicadas dentro de una estructura de cola vertical. Al estar las palas contenidas dentro de un conducto circular, se reduce en gran medida la posibilidad de contacto con personas u objetos durante la operación del helicóptero.

Figura 9

El sistema fenestrón ofrece una mayor protección al estar completamente cubierto.



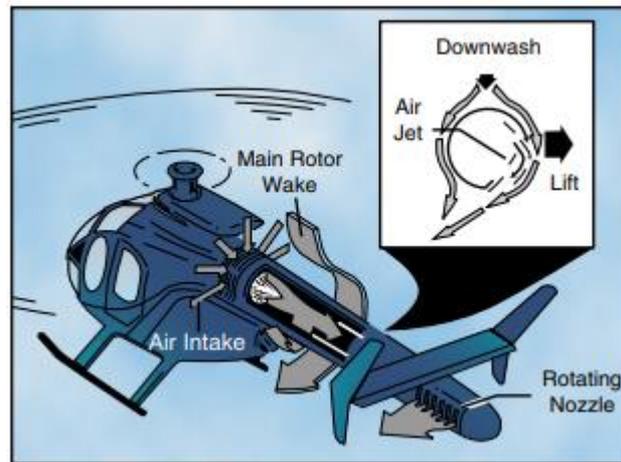
Nota. En comparación con un rotor de cola sin protección, el sistema antitorque fenestrón proporciona un margen mejorado de seguridad durante las operaciones en tierra. Tomado de (FAA, 2000)

Notar

El sistema Notar es una opción alternativa al rotor antipar convencional. Este sistema utiliza aire a baja presión que se introduce en el espejo de cola a través de un ventilador ubicado en el interior del helicóptero. El aire pasa luego por ranuras horizontales situadas en el lado derecho del brazo de cola y alcanza una tobera giratoria controlable, proporcionando así control direccional y contrarresto al par del rotor principal. Mediante el efecto Coanda, el aire a baja presión proveniente de las ranuras horizontales, combinado con la estela descendente del rotor principal, genera una fuerza de sustentación en el lado derecho del espejo de cola.

Figura 10

El sistema Notar utiliza el efecto Coanda para su funcionamiento.



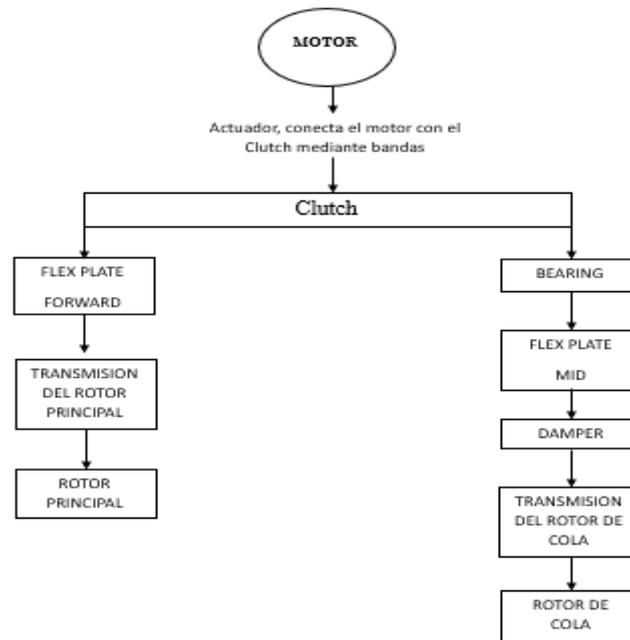
Nota. En vuelo estacionario, el efecto Coanda proporciona aproximadamente dos tercios de la sustentación necesaria para mantener el control direccional. El resto se crea dirigiendo el empuje de la tobera giratoria controlable. Tomado de (FAA, 2000)

Rotor de cola de Robinson

El rotor de cola está compuesto por dos palas completamente metálicas y un cubo oscilante con un ángulo fijo. Los rodamientos utilizados para el cambio de paso están recubiertos con materiales auto lubricantes. Asimismo, los rodamientos de las bisagras pueden ser de elastómero o contar con revestimientos auto lubricantes. Las palas del rotor de cola están fabricadas con recubrimientos de aluminio. (Robinson, 2023)

Figura 11

Sistema de transmisión de los rotores del helicóptero Robinson R44



Nota. La figura muestra el sistema de transmisión de un helicóptero Robinson R44, esta imagen está simplificada, comienza desde el motor y pasa por un sistema de transmisión y seguridad hasta llegar a los rotores, en base al manual de partes ilustradas en los capítulos 62, 63, 64, 65.

Balance estático y dinámico en Helicópteros

De acuerdo a (Española, 2019), El equilibrio se refiere al estado en el que las fuerzas opuestas que actúan sobre un objeto se anulan entre sí. Se puede entender como la presencia de contrapesos, contrarresto o armonía. Por otro lado, el equilibrio estático se define como aquel en el que un cuerpo sólido se mantiene estable independientemente de su posición en el espacio.

El equilibrado es un concepto clave en los procedimientos de mantenimiento de aeronaves con hélice propulsora, incluyendo todas las versiones del helicóptero Robinson. Este proceso es de gran importancia para garantizar la armonía y la seguridad durante el vuelo. El objetivo principal es eliminar la resonancia y las vibraciones durante la operación

de la aeronave. En resumen, el equilibrado busca asegurar que todas las partes del rotor, tanto el principal como el de cola, funcionen de manera adecuada y sin generar peligrosos efectos indeseados.

Balance estático

Desde la perspectiva de un helicóptero, el equilibrado es un procedimiento utilizado para balancear las palas del rotor y eliminar la resonancia y las vibraciones durante el vuelo. El equilibrio estático de las palas del rotor de cola se conoce como tarea, que se realiza antes de llevar a cabo el equilibrio dinámico o, a menudo, se le denomina ajuste de vibración.

La tarea de mantenimiento implica asegurar que las dos palas del rotor de cola se encuentren en una posición en la que ninguna se mueva y no ejerzan una fuerza desequilibrada sobre el conjunto. Para lograr esto, se utiliza lastre en forma de arandelas que se colocan en las uniones de las palas para igualar el peso después de realizar pruebas y cálculos correspondientes. De esta manera, se logra un equilibrio adecuado y se elimina cualquier desequilibrio que pueda afectar el funcionamiento del helicóptero.

La tarea consiste en emplear la herramienta de equilibrado Anderson 20, mencionada en el manual de mantenimiento del helicóptero Robinson R44 u otros dispositivos similares con el mismo principio de funcionamiento.

La seguridad del conjunto del rotor es de suma importancia, ya que afecta directamente el funcionamiento general de la aeronave. Si las palas no están adecuadamente equilibradas, pueden generar resonancia o vibración que podría tener consecuencias negativas en las uniones entre el conjunto del rotor y la aeronave, así como en los materiales estructurales de todo el helicóptero. Por lo tanto, es crucial mantener un equilibrio adecuado para garantizar la integridad y la seguridad del helicóptero en su conjunto.

Balance Dinámico

El balance dinámico de un helicóptero es de gran importancia por diversas razones. Entre ellas se encuentran mejorar el rendimiento de la aeronave, especialmente durante el vuelo, prolongar la vida útil del motor, prevenir daños estructurales causados por vibraciones y evitar futuros gastos elevados de mantenimiento en los componentes principales y secundarios del helicóptero. El balanceo dinámico se refiere al proceso de corregir las vibraciones que afectan al helicóptero, de manera similar a como se discutió el balanceo estático, que consiste en equilibrar las palas del rotor para eliminar la resonancia y las vibraciones durante el vuelo. La diferencia radica en que el balanceo estático se realiza en reposo, mientras que el balanceo dinámico requiere que el helicóptero esté en funcionamiento, estacionario y en vuelo.

Equipos de vibración usados en helicópteros Robinson

De acuerdo al manual de mantenimiento (Robinson, 2023) capítulo 10, sección 10.200, la tarea se basa en el uso de detectores instalados en la aeronave llamados VIBREX 2000, COBRA I-II, los cuales leen datos de vibraciones que deben ser analizados en una tabla definida en el capítulo 10, para agregar o quitar peso en los lugares descritos para balance estático y dinámico de cualquier rotor.

Vibrex 2000

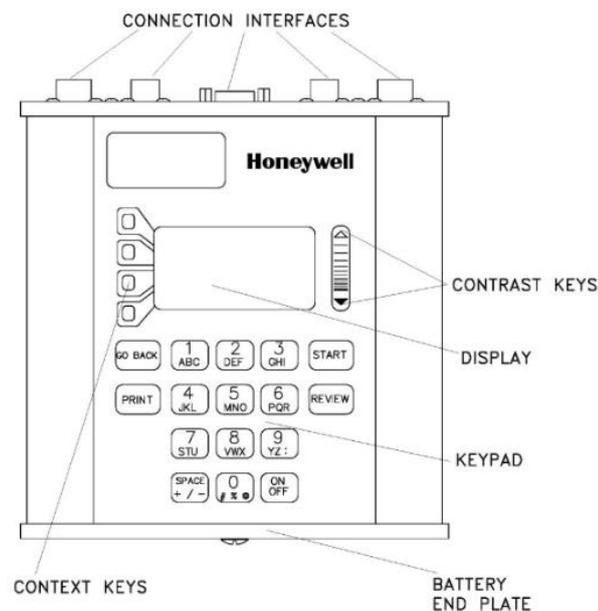
De acuerdo a (SYSTEMS, 2023) es un instrumento de medición de las vibraciones fabricado por Honeywell international Inc, Los sistemas Vibrex 2000 ofrecen al usuario muchos beneficios y acorde a su manual de operador en la sección 2.2.1.2 los beneficios son:

- Se logra una disminución en los gastos operativos de la aeronave y en el tiempo de inactividad.
- La reducción de las vibraciones en la hélice y el rotor conlleva a una mayor confiabilidad, incrementando el tiempo medio antes de fallar (MTBF) de la aviónica, así como de las estructuras mecánicas y aerodinámicas.

- Mejor comodidad de viaje para pilotos y pasajeros
- Balanza de hélice aprobada por la Asociación Federal de Aviación (FAA), cuando se utiliza con la publicación manual The Smooth Propeller de Honeywell
- Trabajos de equilibrio que se almacenan en la memoria y se pueden archivar en una PC
- Un microprocesador de 32 bits para cálculos rápidos de equilibrio y cálculos FFT
- Uso de baterías D-cell desechables o recargables comunes
- Atención al cliente de Honeywell en todo el mundo

Figura 12

Vista frontal del Vibrex 2000



Nota. Este modelo es utilizado en Robinson para la verificación de vibraciones, es un modelo básico a diferencia de los otros usuarios como el modelo cobra. Tomado de (Honeywell, 2015)

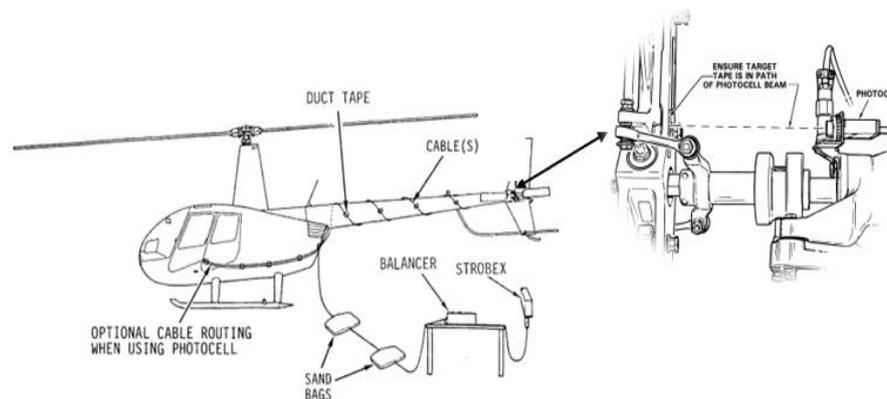
Cobra II

De acuerdo a (SYSTEMS, 2023) el analizador de vibraciones de doble canal COBRA II es un instrumento versátil pero compacto que combina todas las diversas

tecnologías necesarias para el análisis de vibraciones de motores de alta gama, seguimiento y equilibrio del rotor y equilibrio de la hélice en una sola herramienta. Con el Cobra II, todas estas funciones de mantenimiento se pueden realizar fácilmente en prácticamente cualquier fuselaje y tipo de motor, como un avión de 2 hélices. El COBRA II tiene una gran pantalla transmisiva a todo color de alta resolución con una retroiluminación LED súper brillante que se puede ver fácilmente bajo la luz solar directa.

Figura 13

Montaje del sistema de equilibrado en el conjunto del rotor de cola.



Nota. Al realizar el balance dinámico es importante colocar el equipo en un lugar cercano a la aeronave y bien sujeto a las superficies para evitar daños. Tomado de (Robinson, 2023)

Mantenimiento o inspección aeronáutica

La inspección es un procedimiento regular y minucioso que se realiza en aeronaves y sus componentes en los ámbitos civil, comercial y militar. Esta actividad se lleva a cabo después de un período determinado o tras acumular un número específico de horas de vuelo en la aeronave. (Itaerea, 2023)

Categoría de inspección aeronáutica

Se diferencian dos tipos de inspecciones: las programadas según intervalos de tiempo y las no programadas que se basan en factores externos:

Mantenimiento programado: Es el trabajo de mantenimiento realizado después de detectar un fallo o mal funcionamiento que afecta a la aeronavegabilidad de la aeronave, tanto en el corto como en el largo plazo.

Mantenimiento no programado: Se lleva a cabo en coordinación con un plan de mantenimiento diseñado para preservar las condiciones originales de seguridad y aeronavegabilidad. (ICAO, 2012)

Intervalos de tiempo para las inspecciones aeronáuticas.

- **Pre-flight:** Se realiza antes de cada despegue o parada de la aeronave con el fin de prevenir posibles desviaciones o daños estructurales.
- **Inspección de 48 horas:** En algunas ocasiones, este tipo de inspección reemplaza el control diario y es considerado por todos los usuarios. Durante esta tarea de inspección, se realiza la evaluación de los neumáticos como una de las acciones llevadas a cabo en este proceso.
- **Verificación en tiempos límites:** Las inspecciones se programan según las horas de funcionamiento y/o habilitación de la aeronave. Se aplican tanto a motores como aeronaves y sistemas. Se realiza un resumen para llevar a cabo la revisión, teniendo en cuenta el tiempo de trabajo acumulado.
- **Revisión A:** La inspección se realiza cada 400-600 horas, dependiendo de las condiciones establecidas por las compañías aéreas. Este procedimiento debe realizarse en hangares o talleres que cuenten con la aprobación de la Autoridad de Aviación Civil.
- **Revisión B:** Por lo general, se realiza cada seis u ocho meses, con una duración promedio de dos días. Adicionalmente, estas inspecciones son realizadas en talleres especializados.
- **Revisión C:** El fabricante establece el tiempo necesario para llevar a cabo esta inspección exhaustiva, la cual implica examinar la mayoría de las partes de la aeronave. Por lo tanto, se lleva a cabo en un punto de mantenimiento donde la

aeronave queda fuera de servicio hasta que se completen todos los cambios requeridos y se pueda poner nuevamente en operación.

- **Revisión D:** Estas inspecciones son considerablemente más complejas y se destacan por las mejoras que se realizan incluso en la estructura de la aeronave. En su mayoría, se retira la pintura para llevar a cabo pruebas no destructivas y análisis de la aeronavegabilidad de las piezas. Estas inspecciones requieren un tiempo prolongado para su realización. Además, existe la posibilidad de mejorar otros sistemas y productos, como tapicería y asientos, entre otros. (School, 2023)

Inspección por Robinson a modelos R44

Inspección recomendada por Robinson a modelos R44

Primeras 10 horas

- Realice la inspección de acuerdo con el manual de servicio del motor.
- En los motores Lycoming se basa en servicio de boletines los cuales son mandatorios para las horas de vuelo.

Primeras 25 horas

- Realizar inspección de acuerdo al Manual de Mantenimiento del motor Lycoming, los cuales ayudan a cuidar y monitorear el estado de los líquidos y las bujías, algunos componentes suelen tener mayor atención por verificación del trabajo correcto del motor.

Primeras 50 horas

- Realizar inspección por Manual de Mantenimiento del motor*, y realizar Lycoming SB 1080, Lycoming SB 366, como aplique, y realizar Lycoming SB 488 (también aplica para reemplazo de cilindros).

Cada 100 horas

- Realizar Lycoming SB 388 (también aplica para reemplazo de cilindros).
- Realizar inspección por Manual de Mantenimiento del motor*, realizar Lycoming SI 1129, realizar Lycoming SI 1191, realizar Lycoming SI 1080, y Lycoming SB 342 (Solo a IO-540), Lycoming SB 643, como aplique, y realizar inspección por horas/anual por sección 2.400.

Cada 300 horas

- Se realiza una inspección acorde al Manual de Mantenimiento del motor, realizar Lycoming SB 301, realizar Lycoming SB 388 (también aplica para reemplazo de cilindros), lubricar C181-3 bearing por sección 1.140, reemplazar filtro hidráulico por sección 1.170.

Cada 500 horas

- Realizar CMI SB 643, como aplique, realizar CMI SB 658, realizar CMI SB 663, realizar CMI SB 670, drenar y enjuagar las cajas de accesorios por sección 1.120 y 1.130, limpiar los chips detectores de las cajas de accesorios por sección 1.115, realizar inspección de lubricante y servicio del clutch por sección 7.210, Servicear los resortes del colectivo (controles manuales) por sección 8.221.

Cada 3 años

- Lubrique C181-3 bearing por sección 1.140, realizar chequeo de inflación de los flotadores por sección 5.640*, realizar la prueba hidrostática del cilindro de presión del flotador.

Cada 4 años

- Realizar CMI SB 643, como aplique, realizar CMI SB 658, realizar CMI SB 663, realizar CMI SB 670.

Cada 2200-2400

- Realizar una inspección de 2200 horas por sección 2.700 del manual de mantenimiento de Robinson.

Cada 4 meses

- Se realiza Lycoming SB 480.

Cada 12 meses

- Realizar inspección anual/100 horas por sección 2.400, limpiar los chips detectores de las cajas de accesorios por sección 1.115, inspeccione el transmisor de ubicación de emergencia (ELT) por 14 CFR sección 91.207, realizar chequeo de inflación de los flotadores por sección 5.630.

Cada 24 meses

- Pruebe e inspeccione el transponder por 14 CFR sección 91.413.

Cada 12 años

- Realizar CMI SB 643, como aplique, realizar inspección 12 años por sección 2.600.

Cada 15 años

- Realizar CMI SB 643, como aplique.

Esta información está basada en el manual de Robinson, ver Anexo A.

Documentación técnica requerida para el helicóptero Robinson R44

Estos documentos son una guía detallada que establece los procedimientos adecuados para el mantenimiento correcto y otros procesos técnicos relacionados. Estos consejos son proporcionados por el fabricante y son verificados por organismos reguladores como la FAA (Administración Federal de Aviación) y la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional). El objetivo de estos documentos es facilitar la gestión del uso y operación de la aeronave, capacitar a los técnicos de mantenimiento y mantener la información

actualizada. También tienen la función de orientar a los técnicos en todas las tareas, comunicar información precisa relacionada con la seguridad, mal funcionamiento, debilidades y modificaciones, así como facilitar la identificación de los componentes necesarios.

Figura 14

Manuales aplicables y actualizados para modelos R44

The image shows a screenshot of the Robinson Helicopters website's navigation menu for the R44 series. The menu is organized into sections and titles, with a list of specific manual titles on the right side.

Section	Title	Manual Title
	Introduct	R44 Pilot's Operating Handbook
Chapter 1	General	R44 Cadet Pilot's Operating Handbook
Chapter 2	Inspection	R44 II Pilot's Operating Handbook
Chapter 3	Life-Limited Components	R44 Maintenance Manual
		R44 Illustrated Parts Catalog
		R44 Service Bulletins
		R44 Service Letters
		R44 Kit Instructions
		R44 EASA Operational Suitability Data

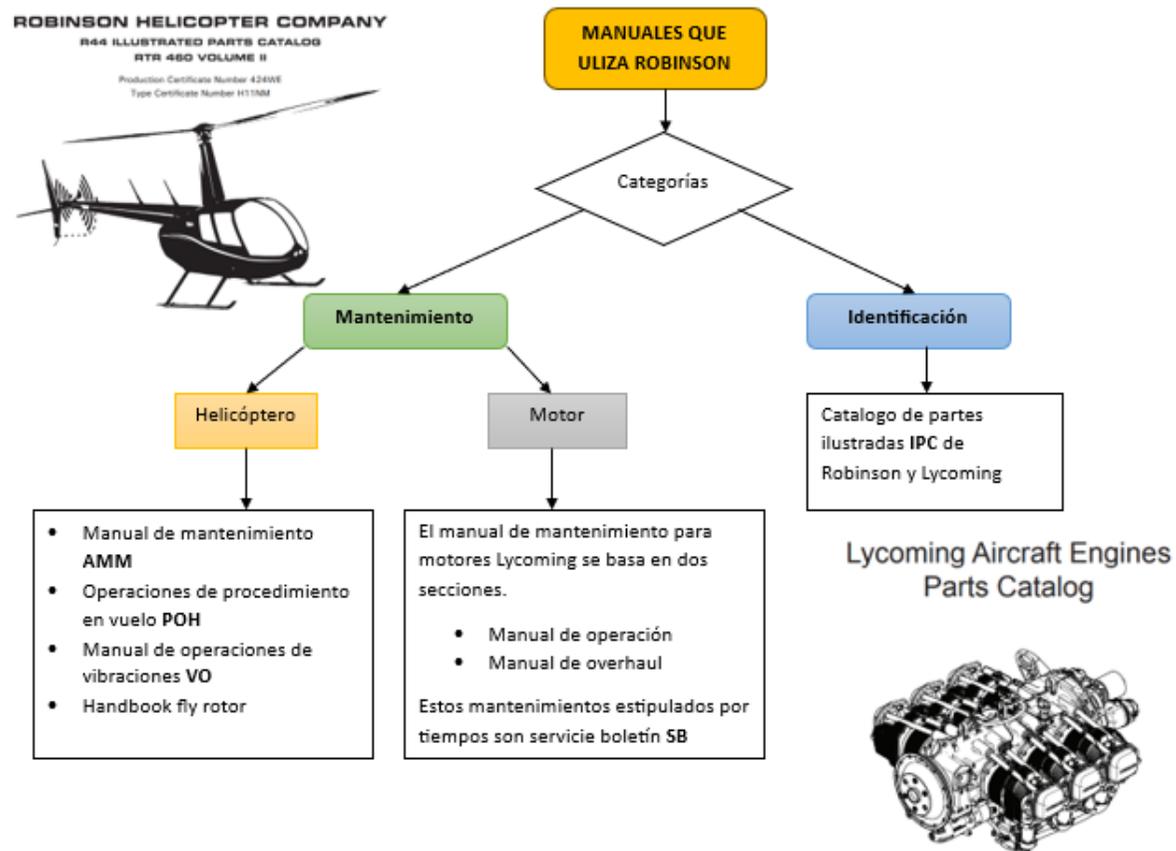
Nota. Los manuales de los helicópteros Robinson se encuentran en la plataforma oficial y están de libre acceso a todo el público. Tomado de (Robinson, 2023)

Como se observa en la figura 14, los manuales que utiliza Robinson helicóptero, tienen las divisiones de cada uno de sus modelos y practicas satisfactorias, el manual de operación en vuelo que debe ir a bordo, y diferentes guías que aconseja el fabricante.

En este estudio se aplica el manual del R44 series, tanto el manual de mantenimiento como el catálogo de partes ilustras, una curiosidad de los manuales es que el AMM, los capítulos son diferente a las ATA'S mientras que, en el IPC, siguen llevando el orden de las ATA'S

Figura 15

Manuales y divisiones para helicópteros Robinson



Nota. Ilustración basada en la plataforma de Robinson helicóptero 2023. Tomado de (Robinson, 2023)

Medidas de seguridad en un mantenimiento aeronáutico

Este tema reviste una gran importancia, ya que es fundamental garantizar la protección y seguridad al realizar tareas de mantenimiento en una aeronave. En resumen, se trata de lograr una armonía en la relación entre el personal y la máquina, donde la prioridad es la preservación de la integridad humana. Es crucial que cada individuo priorice su propio cuidado, utilizando el Equipo de Protección Personal (EPP) correspondiente, el cual puede reducir el daño en caso de alguna anomalía o accidente. (solutions, 2022)

Es importante tener una planificación el cual tenga un estudio profundo para determinar los posibles incidentes, y/o tener un equipo de auxilio el cual pueda dar pronto socorro.

Es esencial realizar el mantenimiento en las aeronaves utilizando los equipos y herramientas recomendados para cada tarea específica. No prestar atención a este aspecto puede representar un riesgo tanto para el personal encargado de llevar a cabo las tareas como para las personas presentes en el entorno, los equipos y la propia aeronave. Incluso el más mínimo descuido puede tener consecuencias graves. En consecuencia, resulta esencial adherirse a todas las medidas necesarias para asegurar un cuidado responsable y seguro en todo momento.

Figura 16

Equipo de protección individual



Nota. Es importante llevar este equipo siempre que se encuentre dentro de las instalaciones de un hangar.

Capítulo III

Desarrollo

Introducción

En este capítulo se describe cómo realizar un balance estático de acuerdo al capítulo 30, sección 30-11, parte A y B del manual de mantenimiento Robinson, al instalarse el rotor de cola de un helicóptero Robinson R44 propiedad de HELIMANTA utilizando una herramienta especial especificada por el fabricante de la aeronave.

Para utilizar la herramienta mencionada anteriormente, se debe conocer los resultados de estabilidad estática y los criterios de estabilidad de la herramienta aplicada según el peso de las palas del rotor de cola. Este estudio se llevó a cabo mediante un software de elementos de diferentes dimensiones, que simula condiciones reales de operación, la interfaz dinámica y el soporte de peso. Los resultados presentados en el informe son exclusivamente de naturaleza teórica, ya que el sistema se simula en un entorno ideal, considerando materiales, dimensiones y conexiones ideales.

Beneficios

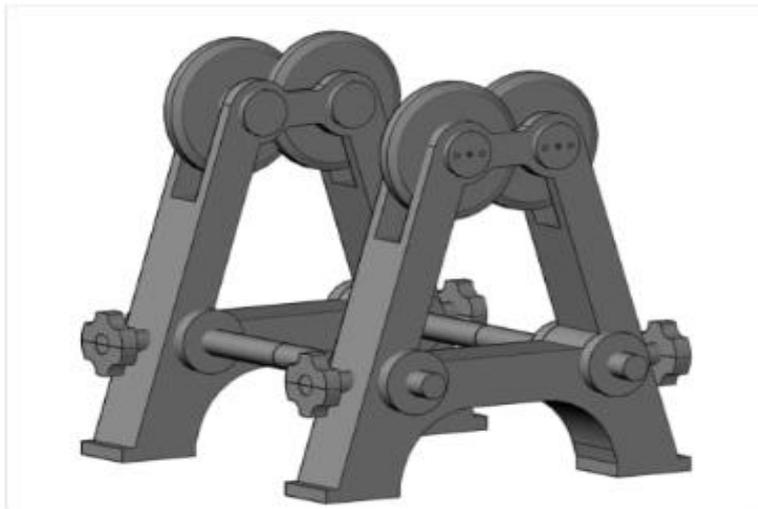
La realización del proyecto de titulación tendrá un impacto directo en el proceso técnico de la empresa privada HELIMANTA, especialmente en el personal técnico, las tareas de mantenimiento y la tripulación de vuelo. Estos profesionales llevarán a cabo sus labores aplicando sus conocimientos y recursos con altos estándares de técnica y seguridad. De esta manera, se beneficiarán de manera directa de los resultados y avances obtenidos a través del proyecto.

Banco de balance estático para el conjunto del rotor de cola para Robinson R44

El manual de mantenimiento en el capítulo 30, sección 30-11, figura 30-4 recomienda utilizar una herramienta especial para el balance estático la cual se denomina Anderson 20 o modelos similares. El modelo realizado en este proyecto está construido con materiales de aluminio y Monel conocido como hierro.

Figura 17

Prototipo del banco estático simulando el modelo Anderson 20

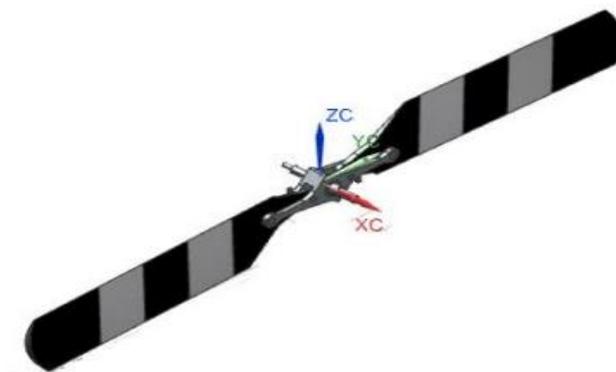


Nota. Este modelo trata de cumplir los estándares del fabricante, así mismo cumple los requerimientos para realizar un mantenimiento correcto.

Enseguida se presenta el conjunto del rotor de cola del helicóptero Robinson R44, el cual está compuesto por un cubo que proporciona soporte a las palas. Estas palas están principalmente fabricadas en aluminio.

Figura 18

Rotor de cola ensamblado palas y el cubo.



Nota. Conjunto del rotor de cola de los helicópteros Robinson R44.

Síntesis del análisis estructural

El análisis estructural se llevó a cabo en el software Fusión 360 de la plataforma autodesk, (Verma, 2018) este es un análisis que simula el estrés o fuerzas que va a soportar como el peso del rotor o del eje, tomando en cuenta que los discos son de aluminio y la estructura de monel.

Tabla 2

Análisis estructural del banco estático

Componentes	Material	Factor de seguridad
Componente 1:1	Acero-Limite elástico estructural	Alta resistencia
Componente 2:1	Aluminio: aleación de alta resistencia	Limite estático
Componente 3:1	Aluminio: aleación de alta resistencia	Limite estático
Componente 4:1	Aluminio: aleación de alta resistencia	Limite estático
Componente 5:1	Aluminio: aleación de alta resistencia	Limite estático

Como punto importante de recalcar el aluminio es un material ligero y muy poco resistente, por ende, al soportar estrés de mucha magnitud se va a deformar, es por ende que se lleva el caso de estudio mediante software los cuales pueden ayudan a simular un espacio en condiciones reales que ayudan a determinar un peso ideal y proporcionar pesos aproximados sin llegar a deformar el material.

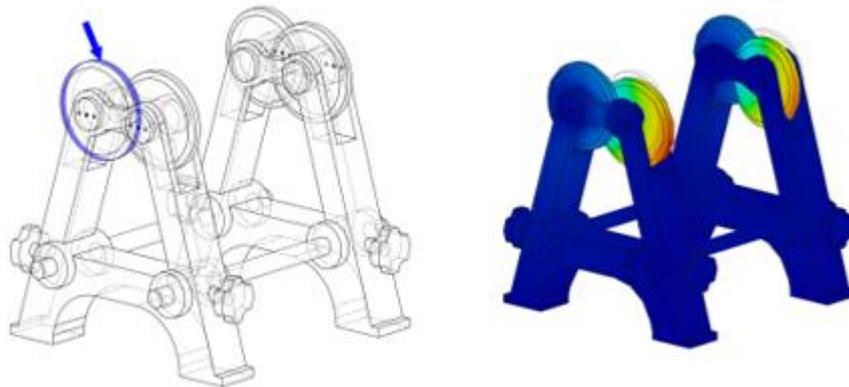
Tabla 3

Aluminio: aleación de alta resistencia

Aluminio: aleación de alta resistencia	
Densidad	2.78e-06kg/mm ³
Módulo de Young	73080 MPa
El coeficiente de posición	0,33
Limite estático	324,1 MPa
Resistencia máxima a la tracción	468,8 MPa
Conductividad térmica	0,134 W / (mm C)

Figura 19

Estrés aplicado a los discos del banco de balance estático



Nota. Con este software se puede determinar en condiciones reales el esfuerzo que puede soportar los materiales.

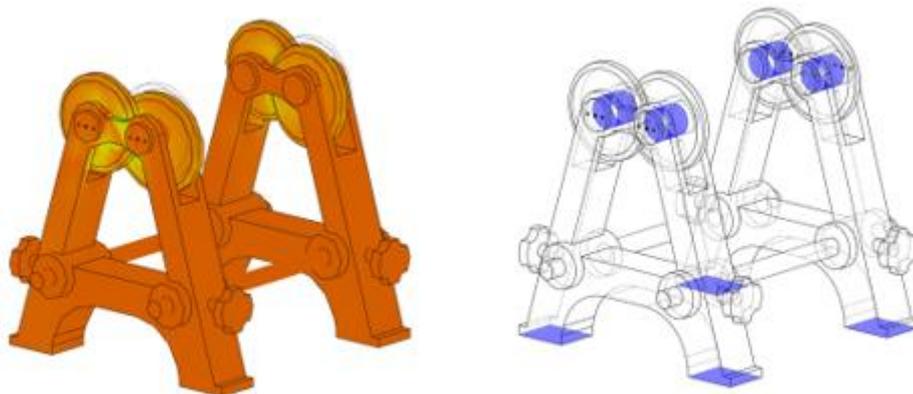
Tabla 4

Acero-Limite elástico estructural

Acero-Limite elástico estructural	
Densidad	7,85E-06kg/mm ³
Módulo de Young	200000 MPa
El coeficiente de posición	0,29
Limite estático	344,7 MPa
Resistencia máxima a la tracción	448,2 MPa
Conductividad térmica	0,045 W / (mm C)

Figura 20

Estrés aplicado en la estructura del banco de balance estático



Nota. El estrés que se aplica principalmente en la estructura, es mucho mayor el alcance ya que su estructural es de hierro por lo que puede soportar 200 veces su peso.

Tabla 5

Análisis estructural del banco estático, con el factor de seguridad

Análisis estructural del banco estático						
<i>La estructura ensamblada se sometió a la fuerza que resultaba de los propios pesos de sus componentes</i>						
Denominación	Estructura		Discos		Ensamble	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Esfuerzo equivalente	0	1329	0	0.3322MPa	0	33.22
Von Mises (MPa)	0	1230	0	0.1423MPa	0	31.45MPa
Deformación total (mm)						
Factor de seguridad				8		

Realización del banco de balance estático

Dentro de los procedimientos recomendados por la empresa Robinson para el adecuado mantenimiento y equilibrio de los rotores, se destaca la realización de un balanceo estático. Este proceso tiene como objetivo mejorar la precisión del ensamblaje y es relativamente sencillo de llevar a cabo. Consiste en hacer girar un eje sobre cuatro ruedas, las cuales están fijadas al banco balanceador y niveladas correctamente con respecto al suelo donde se ubican los bancos.

Esta técnica consiste en identificar el tamaño del peso y el lugar donde se debe retirar el material para compensar la fuerza causada por el efecto de desequilibrio. Esto

permite experimentar una mejora significativa en calidad y rendimiento porque reduce la vibración del rotor de cola.

La definición ampliamente aceptada de balanceo estático establece que un objeto se encuentra en equilibrio estático cuando la sumatoria de las fuerzas que actúan sobre él (fuerza neta o resultante) es igual a cero. Al igual que las fuerzas de translación como las fuerzas de torsión deben ser consideradas, lo que implica que un objeto está en equilibrio estático cuando se encuentra en equilibrio tanto en términos de movimiento lineal como de rotación.

Propiedades físicas del eje y las palas

Tabla 6

Valores determinados en base a la investigación

Denominación	Material	Densidad (g/cm ³)	Peso (Kg)	Radio de Poisson	Módulo de elasticidad (Gpa)
Pala		2,73	1	0,33	70
Cubo	AISI 1018	7,85	2	0,29	200
Eje	Monel	8,84	0,2159	0,37	180
Componente					
1					
Eje	Monel	8,84	0,3450	0,37	180
componente 2					
Elementos de conexión	AISI 1018	7,85	-	0,29	200

Nota. Análisis basado en las secciones estructurales del manual de Robinson

Determinación de la estructura del disco

Este aspecto es de gran importancia, ya que no solo se determina la forma del disco, sino también la capacidad de peso que el banco estático deberá soportar. Si bien un banco de balanceo estático no requiere necesariamente soportar un peso significativo, sí debe ser capaz de manejar pesos medios, con un mínimo de ± 12 libras, que se encuentra entre el eje y el rotor de cola, como se menciona en la sección 3.3. En el anexo B, se debe tener en cuenta la forma para la capacidad del disco, mientras que el banco en sí está construido con monel para evitar la deformación o formación de grietas debido a los pesos medios.

Los discos tienen una forma cónica esto se debe a que una superficie muy pequeña puede mejorar la exactitud del equilibrio, al no ser algo fácil de fabricar se optó por realizar los bordes delgados, también, esto ayuda a que el disco pueda soportar mayores pesos sin deformarse.

Figura 201

Proceso de realización de los discos de aluminio en base a la tabla 3



Nota. El aluminio tiene propiedades de resistencia a la corrosión, aunque en un entorno salino es más propenso al deterioro en comparación con otros materiales.

Tabla 7

Determinar pesos en base a la forma geométrica del disco

Determinar la forma geométrica del disco			
	Grosor del centro	Grosor del vértice	Peso soportable
Forma plana delgada	200 mm	200 mm	10 libras
Forma cónica	1200 mm	200 mm	70 libras

Nota. La forma cónica es la opción más eficaz propuesta para el proyecto en curso en esta investigación.

Implementación del banco estático para Robinson R44

El banco de balanceo estático utilizado para el conjunto del rotor de cola del helicóptero Robinson R44 está compuesto por múltiples componentes ensambladas, como pernos y tuercas, lo que facilita su instalación y remoción. Además, las piezas de conexión requeridas se fabrican mediante soldadura SMAW utilizando el material correspondiente. La herramienta está principalmente hecha de acero negro y es conocida como monel en la industria metalúrgica.

Eje especial para el rotor de cola

Este eje es una herramienta especial, se requiere que sea liso y exacto no puede tener deformaciones o alimañas ya que se puede deformar el disco del banco, este eje tiene adaptadores para ubicar el cubo del rotor de cola lo cual permite ajustar el conjunto y permita llevar a cabo la tarea de mantenimiento.

Figura 22

Eje utilizado en el banco estático para el conjunto del rotor de cola



Nota. Los adaptadores son las dos piezas que sobresalen en la forma del eje estas encajan perfectamente en el eje del rotor de cola y aseguran de que no se salga o forme vibraciones al realizar el proceso de balance.

El material utilizado para la creación del banco estático fue de monel o conocido normalmente como hierro, este material se tomó en cuenta dado que es muy estable por su peso cuando este recto y nivelado; uno de los puntos en contra es que es muy pesado, por ende, debe transportarse entre dos personas, los discos tienen un material de aluminio siendo un material no corrosivo y puede mantener intacta la superficie de fricción, se realizaron pruebas antes de su fabricación mediante un software especial, ver el anexo C.

Figura 23

Observación del procedimiento de ajuste de los discos en el banco



Nota. Estos discos están hechos con material de aluminio, este material es usado para proveer que la superficie se corra y esto genere desperfectos en los cuales afectarían el proceso de balance.

Tras realizar las pruebas en el software, ver anexo D, que una sola torcedura produce el deterioro en la superficie del vértice queda invalidado el disco, ya que es una herramienta de exactitud y equilibrio por ende no puede generar desperfectos en la superficie que está rozando con el eje que mantiene el rotor de cola.

Figura 24

Banco para el Balance estático del helicóptero Robinson R44



Nota. Este modelo aplica para rotores de cola Robinson para todos sus modelos tomando en cuenta familia de los R44 Y R22.

Ejecución del balance estático

Es necesario identificar las herramientas adecuadas para llevar a cabo esta tarea de mantenimiento de acuerdo con el manual de mantenimiento del helicóptero Robinson R44. Dicho manual proporciona información detallada sobre las herramientas necesarias, como llaves de 7/16 y 9/16 de pulgada, que se utilizan para cambiar los pesos ubicados en las áreas chordwise y spanwise, tal como se observa en la figura 11, con el fin de realizar las correcciones necesarias. El manual de mantenimiento también indica las dos posiciones en

las que se puede colocar el rotor para llevar a cabo las acciones correctivas, teniendo en cuenta las identificaciones de las palas designadas por el fabricante como "light" y "heavy".

Los pesos que requieren corrección tienen dimensiones y están fabricados con un material específico. Estos pesos pueden ser determinados mediante el uso de una balanza en gramos o un pie de rey, lo que ayuda a identificar y colocar el peso adecuado para realizar la corrección necesaria.

Tabla 8

Equipos y herramientas requeridas para realizar la tarea de balance

Ítem	Herramientas	Cantidad
1	Llave 7/16	1
2	Llave 9/16	1
3	Banco de balance estático	1
4	Pie de rey	1
5	Balanza en gramos	1
6	Torquímetro	1

Nota. Estas herramientas son útiles para cumplir con los requisitos establecidos en el manual de mantenimiento con el fin de llevar a cabo esta tarea de mantenimiento, es importante saber utilizarla, ver anexo E.

Figura 25

Herramientas utilizadas para la tarea de mantenimiento



Nota. Para cada cambio de pesos se debe ejercer el torque al perno que especifica el manual de mantenimiento.

Algo importante de mencionar es que en cada proceso se debe tener como suma prioridad el cuidado personal, un equipo de protección personal para llevar a cabo cada tarea de mantenimiento.

Antes de realizar la tarea es importante tener preparado todo el equipo que se va utilizar mencionado en la tabla 4, también se verifica el conjunto del rotor de cola, que este en óptimas condiciones y no este afectado de ninguna suciedad para prevenir daños tanto para el banco estático o el rotor de cola, ver anexo F.

Se debe realizar la verificación de los adaptadores que deben ser colocados en el centro del cubo del rotor de cola, asegurándose de que estén bien adheridos y sin oscilaciones. Utilizando una escuadra, se verifica el ángulo requerido para el rotor de cola. El manual de mantenimiento indica que el rotor debe colocarse en un ángulo de 90 grados y luego soltarse gradualmente siguiendo la fuerza de la gravedad. Si la pala que cae primero desde el borde de ataque indica que es la más pesada, mientras que si la pala superior cae por el borde de salida significa que es la más liviana.

El movimiento que se realizó con las palas verticalmente se le denomina movimiento de cuerda, la cual se realiza las correcciones en la sección denominada por el manual como chordwise, las cuales a través de links se conectan al pitch controller la cual permite el cambio de ángulos de las palas como se observa en la figura 11.

Figura 216

Rotor posicionado en perspectiva vertical



Nota. La primera posición que indica el manual de mantenimiento en la sección 30-11, parte A, indica una posición vertical.

Este es la primera posición que indica el manual de mantenimiento como antes mencionado en la sección 3.9, párrafo 1, este sería el primer paso de la tarea de mantenimiento, luego se debe balancear en la posición horizontal para realizar una tarea exitosa.

Por último, al tener el balance verticalmente, de acuerdo al manual de mantenimiento capítulo 30 sección 30-11, parte B la cual especifica identificar la pala más pesada, pero específicamente en la posición horizontal tiene que estar ubicado el rotor en el banco de balance, como antes mencionado tienen el mismo principio pero en diferentes posiciones, ubicar el rotor en una posición horizontal, y dejar caer desde una de las palas, la cual, la pala que tenga mayor peso comenzara a girar desde el ángulo de ataque mientras la que sea más ligera caerá desde el borde de salida.

Figura 27

Rotor posicionado en perspectiva Horizontal



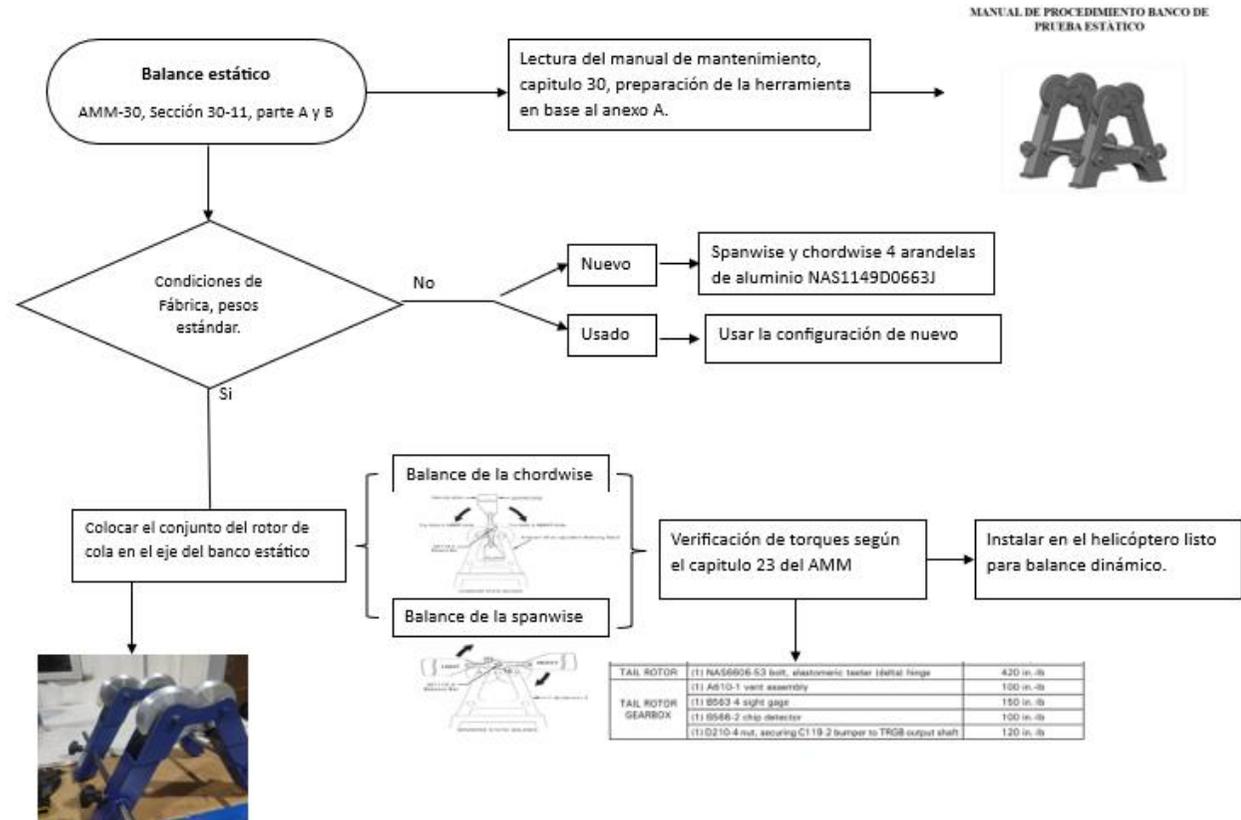
Nota. Rotor calibrado de manera horizontal como lo indica el manual de mantenimiento en el capítulo 30, sección 30-11 parte B

El equilibrio del rotor de cola se logra utilizando arandelas con características específicas en los pernos chordwise y spanwise. El manual proporciona números de parte específicos para estas arandelas. En términos físicos y de fabricación, algunas arandelas son de aluminio y otras de monel. En base a la experiencia acumulada, se ha establecido que las arandelas de aluminio equivalen a 5 milésimas y las arandelas de monel equivalen a 10 milésimas. Es importante destacar que los rotores de cola de Robinson Helicóptero se suministran de fábrica con pesos neutros, lo cual se logra mediante la inclusión de 4 arandelas de aluminio.

Una vez finalizado el procedimiento de estático se debe verificar el torque que requiere cada perno, ver anexo G, y en base a la sección 1.400 del manual de mantenimiento, se debe poner líneas de seguridad para verificar en una inspección si estas han perdido torque. Así queda finalizada la verificación de la herramienta de balance, y realizada la respectiva entrega a la empresa Helimanta S.A, ver anexo H.

Figura 28

Procedimiento final del balance estático del rotor de colas según el capítulo 30 del AMM



Nota. Se describe los pasos de la tarea de mantenimiento según las condiciones que se deben efectuar y procesos adecuados acorde al fabricante.

Finalmente, se determina que la herramienta cumple eficazmente su función, y la tarea de mantenimiento efectúa los estándares de calidad, seguridad y operación solicitados por la organización de mantenimiento aprobada HELIMANTA, ya que se debe a su funcionamiento correcto, y al requerir poco espacio, fácil de manipular y aplicación apta.

Presupuesto del proyecto de titulación

Tabla 9

Costos Primarios

Materiales usados	Cant.	C/U	Valor total
Tubos cuadrados de monel	2	100.00	200.00
Bloques de aluminio	4	90.00	360.00
Barillas de acero inoxidable	3	60.00	180.00
Transporte	1	20.00	20.00
Soporte técnico	1	200.00	200.00
		Total	\$960.00

Nota. Estos precios fueron realizados en una investigación de campo

Tabla 10*Costos secundarios*

Materiales usados	Cant.	C/U	Valor total
Herramientas	Juego de llaves	40.00	40.00
Asesoría en software Solid Word	2	20.00	40.00
Imprevistos	--	8	400.00
		Total	\$480.00

Nota. Investigación de campo**Tabla 11***Costo total del proyecto de titulación*

Valor total de costos primarios	\$960.00
Valor total de costos secundarios	\$480.00
TOTAL	\$1440.00

Nota. Investigación de campo

*Este proyecto tiene un costo de \$1440.00 dólares americanos

Capítulo IV

Conclusiones Y Recomendaciones

Conclusiones

- La tarea de mantenimiento puede verificarse en el manual de la aeronave Robinson r44 del capítulo 30 en la sección 30 - 11 parte a y b. Esta tarea de mantenimiento fue realizada con un rotor de cola operativo de la empresa HELIMANTA los estándares requeridos como torque y líneas de seguridad fueron seguidos mediante la sección 1400 del manual de mantenimiento del helicóptero.
- Se ha realizado una prueba en el banco de balanceo estático y cumple con los requisitos especificados en el manual de mantenimiento del helicóptero. Gracias a sus características, este banco ofrece facilidad de transporte y requiere un espacio reducido. Además, su mantenimiento a largo plazo ha demostrado su efectividad en aeronaves como el Robinson R44 y R22. Como resultado de su desempeño satisfactorio, el banco de balanceo estático ha sido incluido en la lista de herramientas especiales de la empresa.
- La adquisición de este banco de balanceo estático como una herramienta especial proporcionará beneficios significativos al proceso de mantenimiento, especialmente en la reducción de las vibraciones presentes en el rotor de cola. Esto ayudará a mejorar la calidad del mantenimiento al agilizarlo y hacerlo más preciso. Al ser una de las pocas organizaciones de mantenimiento en contar con esta herramienta, aumentará la confiabilidad de los servicios que se ofrecen. La tarea de mantenimiento realizada con el uso del banco de balanceo estático ha sido registrada como satisfactoria y se ha completado de acuerdo con los requisitos establecidos por el fabricante Robinson.

Recomendaciones

- Revisar el rotor de cola, cada 100 horas de vuelo, verificar sus controles y es de importancia su balance, esto ayudará a mantener y conservar la integridad de la aeronave y del componente con una mayor eficiencia al volar.
- Es recomendable llevar a cabo el mantenimiento periódico del banco de balanceo estático, siguiendo las indicaciones sugeridas. Esto contribuirá a preservar la herramienta en buen estado y garantizar su funcionamiento óptimo. Es importante utilizar lubricantes adecuados que no se sequen y que sean capaces de proteger el banco de los efectos del ambiente salino y otros contaminantes externos. De este modo, se garantiza que el banco de balanceo estático mantenga su calidad y resistencia a lo largo del tiempo.
- Es importante utilizar equipo de protección personal, como zapatos con punta de acero y guantes, al manipular el banco de balanceo estático, ya que gran parte de su construcción está hecha de monel, un material pesado. Esto asegura la integridad personal en caso de emergencia. Al transportar el banco, se recomienda hacerlo entre dos personas de la manera más adecuada y segura. Además, es importante evitar apoyarse en cualquier parte del banco o en el área donde se encuentre ubicado.

Abreviaturas

A

AMM: Manual de mantenimiento de la aeronave.

AD: Directiva de aeronavegabilidad.

B

Base Principal: Si el operador tiene un centro de operaciones donde normalmente se asignan los miembros de la tripulación.

C

CCM: Manual de Mantenimiento de Componentes.

CDL: Lista de desviaciones respecto a la configuración

CFR: Código federal de regulaciones

D

DGAC: Dirección General de Aviación Civil.

F

FAA: Administración Federal de Aviación.

FAR: Regulaciones Federales de Aviación.

FT: Tarts

G

GAL: Un galón.

H

HRS: Temporizador.

HP: Caballo de fuerza.

I

ICAO: Organización de Aviación Civil Internacional.

IFR: Reglas de Vuelo por Instrumentos.

INCH: Pulgadas.

K

KT: Nudos.

R

RDAC: Regulaciones de Aviación Civil.

Glosario

A

Aeronave: Cualquier máquina capaz de ser sostenida en la atmósfera por la respuesta del aire que no sea la respuesta del aire en la superficie de la tierra.

Aeronavegabilidad: La aeronave debe ser técnica y legalmente capaz de volar en condiciones seguras de operación.

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

C

Certificado de Aeronavegabilidad: Es un documento público emitido por la Administración de Aviación Civil de China que certifica que la aeronave amparada por el certificado puede operar con seguridad a la fecha de emisión.

Certificado de tipo: El certificado de diseño básico del diseño de la aeronave, el motor y la hélice que define el diseño de tipo.

Probar: Probar un componente o sistema.

E

Equipo: Un grupo o conjunto de partes funcionalmente relacionadas que se utilizan como un todo para realizar una función específica.

F

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

G

Tren motriz: Un dispositivo que consta de uno o más motores eléctricos y auxiliares que juntos se requieren para producir empuje independientemente de cualquier otro tren motriz o funcionamiento continuo del tren motriz, pero excluyendo el equipo de tracción transitorio.

I

Instrumento: Un componente que usa mecanismos internos para indicar visual o audiblemente la posición, altitud y operación de una aeronave o parte de una aeronave.

Inspección: Revisar, evaluar mediante la vista o equipo.

L

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

M

Material compuesto: Un material que combina dos o más materiales para lograr una combinación de propiedades que no se pueden obtener del material original.

Mantenimiento: Trabajo necesario para asegurar la aeronavegabilidad continua de una aeronave, incluyendo una o más de las siguientes tareas: renovación, reparación, inspección, reemplazo, modificación o reparación de defectos.

O

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

P

Preservar: Proteger de algún daño un componente.

Procedimiento: Conjunto de acciones para cumplir la tarea.

R

Reparación: Restitución de un componente o aeronave.

T

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

Bibliografía

- Camellese. (24 de Diciembre de 2013). Obtenido de <https://www.pisos.com/aldia/el-nivel-de-burbuja/45355/>
- Clerici. (5 de Febrero de 2012). Obtenido de <http://www.helicesclerici.com/procesos/>
- Española, R. A. (3 de Marzo de 2019). Obtenido de <https://dle.rae.es/equilibrio>
- FAA. (29 de MARZO de 2000). *FEDERATION ADMINISTRATION AERONAUTIC*. Obtenido de https://www.faa.gov/sites/faa.gov/files/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/faa-h-8083-21.pdf
- HELICOPTER, R. (2022). *BETA II*. Obtenido de <https://robinsonheli.com/r22-beta-ii-helicopter/>
- Honeywell. (4 de abril de 2015). *User guide Vibrex2000*. Obtenido de <https://manualzz.com/doc/63404194/honeywell-vibrex-2000--vibrex-2000-plus-user-manual>
- ICAO. (2 de DICIEMBRE de 2012). Obtenido de <https://www.icao.int/SAM/Documents/SVSOPGSIIRPAR12/Modulo%2010%2>
- Itaerea. (22 de febrero de 2023). *Aeronautical business school*. Obtenido de <https://www.itaerea.es/escuela-gestion-aeronautica>
- Lycoming. (2 de Abril de 1979). *Lycoming Aircraft Engines Parts Catalog*. Obtenido de <https://www.lycoming.com/sites/default/files/attachments/IO-540%2520Parts%2520Catalog%2520PC-615.pdf>
- Robinson, F. (15 de Marzo de 2023). *Robinson Helicopter*. Obtenido de <https://robinsonheli.com/company-information-2/>

ROTEC, S. (20 de Febrero de 2021). *Schenck-worldwide*.

S.A, H. (7 de Abril de 2014). *Helimanta Ecuador*. Obtenido de

https://www.emis.com/php/company-profile/EC/Helimanta_SA_es_5464391.html

School, A. B. (5 de febrero de 2023). *Itaerea*. Obtenido de

<https://www.itaerea.es/mantenimientoaeronautico#:~:text=Consisten%20en%20una%20inspecci%C3%B3n%20r%C3%A1pida,de%20alg%C3%BAn%20da%C3%B1o%20estructural%20etc.>

solutions, A. (2022). *Aircooltech solutions*. Obtenido de Personal protective equipment

guidelines: <https://www.aircooltechsolutions.com/2019/12/personal-protective-equipment-guidelines.html>

SYSTEMS, A. (20 de Marzo de 2023). *COBRA II*. Obtenido de

<https://www.acesystems.com/product-line/cobra-ii/>

Verma, G. (2018). *Autodesk fusion 360 black book*.

ANEXOS