



**“Ejecución del balance estático a las palas del rotor de cola de acuerdo al manual de
mantenimiento Sección 9.230 Parte A y B del helicóptero Robinson R44
perteneciente a la Empresa EUROFISH”**

Ramirez Pazmiño, Melanie Adriana

Departamento de Energía y Mecánica

Carrera de Mecánica Aeronáutica mención Aviones

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnóloga en Mecánica Aeronáutica
mención Aviones

Inca Yajamín, Gabriel Sebastián

Latacunga, 15 de marzo del 2021



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES

CERTIFICACIÓN

Certifico que la monografía, **“EJECUCIÓN DEL BALANCE ESTÁTICO A LAS PALAS DEL ROTOR DE COLA DE ACUERDO AL MANUAL DE MANTENIMIENTO SECCIÓN 9.230 PARTE A Y B DEL HELICÓPTERO ROBINSON R44 PERTENECIENTE A LA EMPRESA EUROFISH”** fue realizado por la señorita **RAMIREZ PAZMIÑO, MEÑANIE ADRIANA** la cual ha sido revisada y analizada 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, 16 de marzo del 2021



Firmado electrónicamente por:
**GABRIEL
SEBASTIAN INCA
YAJAMIN**

Ing. Inca Yajamín, Gabriel Sebastian

C. C.: 1722580329



URKUND

Urkund Analysis Result

Analysed Document: RAMIREZ PAZMIÑO MELANIE ADRIANA .pdf (D98343464)
Submitted: 3/15/2021 4:25:00 AM
Submitted By: maramirez17@espe.edu.ec
Significance: 0 %

Sources included in the report:

Instances where selected sources appear:

0





DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
AVIONES

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **RAMIREZ PAZMIÑO, MELANIE ADRIANA**, con cédula de ciudadanía N° **0202477303**, declaro que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“EJECUCIÓN DEL BALANCE ESTÁTICO A LAS PALAS DEL ROTOR DE COLA DE ACUERDO AL MANUAL DE MANTENIMIENTO SECCIÓN 9.230 PARTE A Y B DEL HELICÓPTERO ROBINSON R44 PERTENECIENTE A LA EMPRESA EUROFISH”** 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, 16 de marzo del 2021

Ramirez Pazmiño, Melanie Adriana

C.C.: 0202477303



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
AVIONES

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **RAMIREZ PAZMIÑO, MELANIE ADRIANA** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: **“EJECUCIÓN DEL BALANCE ESTÁTICO A LAS PALAS DEL ROTOR DE COLA DE ACUERDO AL MANUAL DE MANTENIMIENTO SECCIÓN 9.230 PARTE A Y B DEL HELICÓPTERO ROBINSON R44 PERTENECIENTE A LA EMPRESA EUROFISH”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 16 de marzo del 2021

Ramirez Pazmiño, Melanie Adriana

C.C.: 0202477303

Dedicatoria

Mi esfuerzo va dedicado para mi familia, mi hermosa madre, mi padre y mis dos hermanos. Son mi fuente de inspiración y las personas por las que sigo adelante cada día. Gracias padres por su bendición y apoyo toda mi vida, siempre han sido y serán el motivo de mis triunfos.

Dedicado también para mi abuelita Emilia, por creer en mí incluso cuando yo no lo hacía, este escrito es una muestra de amor para usted quien cada día bendice mi vida y mis acciones, por todas sus oraciones a Dios por mi bienestar, mi graduación se la dedico a usted plenamente.

Agradecimiento

Mamá y papá gracias por promover mis anhelos y acompañarme cada segundo de mi vida, gracias por hacerme sentir amada y respaldada en cualquier circunstancia, gracias por apoyarme en lograr esta meta más. Son ustedes las personas que han forjado mi ser. Por eso y mucho más, mil gracias.

Mi agradecimiento sincero a la empresa EUROFISH por su apoyo constante durante el proceso de realización de mi proyecto de titulación, a todos sus miembros dedicados a la prospección pesquera con helicópteros gracias por su apoyo profesional.

Es importante también agradecer a mi director de proyecto Ing. Gabriel Inca por la asesoría y paciencia todo el tiempo dedicado a la ejecución de este trabajo de titulación. Gracias por ser una gran maestro y transmitir sus conocimientos sin cohibiciones hacia sus estudiantes.

Tabla de contenidos

Carátula.....	1
Certificación.....	2
Reporte Urkund.....	3
Responsabilidad de Auditoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento.....	7
Tabla de contenidos	8
Índice de tablas	11
Índice de figuras.....	12
Resumen.....	14
Abstract.....	15
Planteamiento del problema	16
Antecedentes	16
Planteamiento de problema	17
Justificación e importancia.....	18
Objetivos	19
<i>Objetivo general</i>	19

<i>Objetivos específicos</i>	19
Alcance.....	20
Marco teórico.....	21
Reseña empresa aérea EUROFISH.....	21
<i>Certificaciones aeronáuticas de la empresa</i>	22
<i>Misión</i>	23
<i>Visión</i>	23
Compañía de helicópteros Robinson R44.....	23
<i>Historia</i>	23
<i>Modelos de helicópteros Robinson</i>	25
Balance en helicópteros.....	30
<i>Concepto de balance</i>	30
<i>Balance estático</i>	30
<i>Balance dinámico</i>	31
Inspecciones y/o mantenimiento aeronáutico.....	32
<i>Concepto de inspección de una aeronave</i>	32
<i>Tipos de inspecciones para el helicóptero Robinson R44</i>	32
Tipos de inspecciones aeronáuticas.....	35
Tiempos de inspección aeronáutica.....	35
Modelos de herramientas para realizar balance estático.....	37

	10
<i>Modelo 1. Equilibrador universal magnético.....</i>	37
<i>. Modelo 2. TARO máquina de balanceo estática</i>	38
<i>Modelo 3. Balanceador estático rotor de cola Robinson.....</i>	39
Comparación de características los tres modelos descritos.....	40
Desarrollo del tema.....	42
Introducción	42
Beneficiarios.....	42
Selección de la herramienta.....	43
Stand de balance estático para Robinson. - simplificación	44
Propiedades físicas de los ejes y las palas.....	46
Resumen análisis estructural estático.....	46
Implementación del stand de balance estático para Robinson R44	47
Ejecución de tarea de mantenimiento a aeronave Robinson R44	52
Ejecución de balance estático en palas.....	53
Presupuesto del proyecto de titulación.....	63
Conclusiones y Recomendaciones.....	65
Conclusiones	65
Recomendaciones.....	66
Bibliografía	67
Anexos	69

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Comparación de Performance de helicópteros Robinson</i>	29
Tabla 2 <i>Parámetros comparativos de modelos de stand de balance estático.</i>	40
Tabla 3 <i>Valores cuantitativos para análisis de parámetros</i>	43
Tabla 4 <i>Análisis cuantitativo de parámetros de estudio en modelos.</i>	43
Tabla 5 <i>Valores de las propiedades físicas de las palas y ejes.</i>	46
Tabla 6 <i>Análisis estructural estático, resultado de factor de seguridad</i>	46
Tabla 7 <i>Herramientas necesarias para ejecutar la tarea de mantenimiento</i>	53
Tabla 8 <i>Equipo de Protección Personal para personal técnico</i>	55
Tabla 9 <i>Costos Primarios</i>	63
Tabla 10 <i>Costos Secundarios</i>	64
Tabla 11 <i>Costo Total Proyecto de Titulación</i>	64

Índice de figuras

Figura 1	<i>Taller de la Organización de Mantenimiento Aprobado (OMA) EUROFISH..</i>	22
Figura 2	<i>Dimensiones del helicóptero Robinson R22.....</i>	25
Figura 3	<i>Dimensiones del helicóptero Robinson R44 RAVEN I y CLIPPER I.....</i>	26
Figura 4	<i>Dimensiones del helicóptero Robinson R44 RAVEN II y CLIPPER II.....</i>	27
Figura 5	<i>Dimensiones del helicóptero Robinson R66.....</i>	28
Figura 6	<i>Stand Balanceador de hélices a propulsión.....</i>	37
Figura 7	<i>Máquina de balanceo estática TARO.....</i>	38
Figura 8	<i>Stand de balance estático para conjunto rotor de cola Robinson.....</i>	39
Figura 9	<i>Ensamble original de la herramienta con el conjunto rotor de cola.....</i>	44
Figura 10	<i>Modelo simplificado del conjunto rotor para el análisis.....</i>	45
Figura 11	<i>Stand de balance estático para Robinson R44.....</i>	47
Figura 12	<i>Representación de las ruedas ubicadas bajo la base de monel.....</i>	48
Figura 13	<i>Perno de ajuste a nivel de la superficie.....</i>	49
Figura 14	<i>Plancha base de monel con tubos soportes para el conjunto rotor.....</i>	50
Figura 15	<i>Eje de apoyo del stand de balance estático para el conjunto rotor de cola ...</i>	51
Figura 16	<i>Brazos soportes para balanza.....</i>	52
Figura 17	<i>Herramientas necesarias para la tarea de mantenimiento.....</i>	54
Figura 18	<i>Conjunto rotor de cola de helicóptero Robinson R44.....</i>	55
Figura 19	<i>Stand de balance con nivel de superficies tipo burbuja y balanza.....</i>	56
Figura 20	<i>Medición de ángulo 90° vertical de la cabeza del conjunto rotor con el eje..</i>	57
Figura 21	<i>Articulaciones llamadas Chordwise del conjunto rotor.....</i>	58
Figura 22	<i>Montaje del Chordwise.....</i>	59

Figura 23 <i>Conjunto rotor de cola en posición guiñado para balance estático</i>	60
Figura 24 <i>Rotor de cola en posición cabeza para balance estático</i>	61
Figura 25 <i>Medición de ángulo 90° horizontal de la cabeza del rotor de cola con el eje</i>	62

Resumen

El presente trabajo de titulación detalla la ejecución del balance estático a las palas del rotor de cola de acuerdo al manual de mantenimiento Sección 9.230 Parte A y B del helicóptero Robinson R44 perteneciente a la empresa EUROFISH mediante la implementación de un stand de balance estático en el que se inserta el conjunto rotor de cola previa a una limpieza del mismo para evitar pesos ligeros que afecte el desplazamiento de una pala con la otra cuando se las deje caer por gravedad. El primer movimiento, estipulado por el manual, se lo realizó en cuerda y la segunda corrección en la cabeza del rotor de cola de la aeronave, teniendo como resultado la nivelación de las palas en ambas posiciones gracias a la manipulación de arandelas. La tarea de mantenimiento pudo ser ejecutada por la implementación de la herramienta de balance estático que se rige a los requerimientos y es óptima para su aplicación debido a sus atribuciones en movilidad, mantenimiento a largo plazo, poco espacio de almacenamiento y fácil maniobrabilidad para el personal técnico quienes son los beneficiarios directos del proyecto ejecutado junto con la tripulación de vuelo de toda la flota EUROFISH para realizar las operaciones con todos los estándares de seguridad.

Palabras Clave

- Balance
- Rotor
- Desplazamiento
- Aeronave

Abstract

This Project details the execution of the static balance to the tail rotor blades according to the Maintenance Manual 9.230 Part A and B of the Robinson R44 helicopter belonging to the EUROFISH company through the implementation of a static balance stand in which the tail rotor assembly is inserted prior to cleaning it to avoid light weights that affect the displacement of one blade with the other when they are dropped by gravity. The first movement, stipulated by the manual, was carried out in Chordwise and the second correction in spanwise of the tail rotor of the aircraft, resulting in the leveling of the blades in both positions thanks to the manipulation of washers. The maintenance task could be executed by the implementation of the static balance tool that meets the requirements and is optimal for its application due to its mobility, long-term maintenance, little storage space and easy maneuverability for the personnel. technician who are the direct beneficiaries of the project executed together with the flight crew of the entire EUROFISH fleet to carry out operations with all safety standards.

KEY WORDS

- Balance
- Rotor
- Displacement
- Aircraft

CAPÍTULO I

1. Planteamiento del problema

1.1. Antecedentes

En la industria aeronáutica del mundo, con enfoque en helicópteros Robinson R44, se han analizado a lo largo del tiempo, estudios de la importancia que tienen los rotores tanto principal como de cola en este tipo de aeronaves. Las casas fabricantes tienen como objeto principal la seguridad del vuelo. Por esta razón, el estudio de los procedimientos para lograr estabilidad de la aeronave es primordial. Uno de estos procedimientos es el balance estático.

Tanto en la República del Ecuador como en otros países, han ocurrido un sinnúmero de accidentes relacionados con los rotores de cola de los distintos helicópteros y esto se debe a motivos como el inadecuado balance que poseen las palas y que como consecuencia llega a producir resonancia y a su vez pérdida del control por parte de la tripulación de vuelo.

Para lograr una operación segura luego del mantenimiento técnico respectivo al helicóptero, la empresa EUROFISH realiza procedimientos de balance al conjunto de palas del rotor de cola. Por ello, se ha decidido realizar como tarea de mantenimiento el balance estático correspondiente al conjunto de cola de un helicóptero con un banco de pruebas que se ajusta a los requerimientos para las tareas pertinentes acorde al manual de mantenimiento. El proyecto es innovador ya que se desarrolla en un ámbito profesional oportuno para la estudiante y ofrece gran aporte para la práctica de las actividades de mantenimiento de la empresa.

1.2. Planteamiento de problema

La empresa EUROFISH está ubicada en el cantón Montecristi provincia de Manabí helipuerto de La Fabril S.A., ofrece a sus clientes como Organización de Mantenimiento Aprobado (OMA), tareas de mantenimiento acorde a sus capacidades listadas y aprobadas por la Autoridad Aeronáutica Civil en helicópteros Robinson R44. Una de las tareas de mantenimiento es el balance estático que se realiza al conjunto de palas del rotor de cola cuya ejecución no puede ser posible por la falta de la herramienta correspondiente como lo indica el manual de mantenimiento de la aeronave en la sección 9.230 parte A y B.

Por este motivo, el balance correcto de los conjuntos rotores no es óptimo y se deben revisar constantemente por condición. Las tareas correspondientes al balance dinámico deben ser ejecutadas sin el previo balance estático lo que no es recomendable para una operación de vuelo a largo plazo. De manera que conlleva a inconvenientes en el mantenimiento tanto para el personal técnico en tierra como para la tripulación de vuelo.

De otra manera, al no poder efectuar este proyecto, desembocará en tareas de mantenimiento tardías en procedimientos como overhaul de la aeronave, overhaul del conjunto de rotor de cola, como tarea de mantenimiento retrasará la entrega a tiempo de las aeronaves para sus clientes y no se podrá verificar en la trazabilidad de las palas del rotor de cola cuando sea requerido.

1.3. Justificación e importancia

La empresa EUROFISH es una empresa de aviación enfocada en el mantenimiento de helicópteros Robinson R44 en todas sus versiones. En la actualidad, cuenta con la certificación de Organización de Mantenimiento Aprobado (OMA) y cuenta con las instalaciones, equipos, herramientas y personal técnico certificado. Por esta razón, los innova y adquiere para mejorar su servicio y ofrecer una alta gama de capacidades para su clientela, como es el caso de la herramienta para balance estático (Parte 9.230 AMM Robinson R44).

El bien principal del proyecto es la posibilidad de ejecutar el balance estático en las palas del rotor de cola de cualquier aeronave Robinson R44 utilizando el instrumento que la casa fabricante recomienda a los operadores de esta flota. Es de beneficio para procedimientos de overhaul, tareas de mantenimiento y juega un importante papel en la trazabilidad de las partes antes mencionadas.

Este proyecto posee gran importancia ya que se añadirá un escalón más al servicio en el mantenimiento de este tipo de aeronaves con el correcto uso de la herramienta implementada y en sí próximas tareas referentes a la estabilidad del helicóptero es sus fases de despegue, hover, vuelo y aterrizaje. Además, es factible gracias al apoyo tanto técnico- profesional, instalaciones y documentación por parte de la empresa privada EUROFISH. La asesoría es oportuna y está al alcance de efectuarse sin dificultades.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Ejecutar el balance estático a las palas del rotor de cola de acuerdo al manual de mantenimiento sección 9.230 parte A y B del helicóptero Robinson R44 perteneciente a la empresa EUROFISH para cumplimiento de la orden de trabajo correspondiente.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar la información técnica pertinente para la ejecución de la tarea de mantenimiento.
- Implementar la herramienta requerida para la tarea de balance estático a las palas del rotor de cola.
- Registrar los datos obtenidos en la trazabilidad correspondiente de las palas del rotor de cola.

1.5. Alcance

La presente investigación tiene como propósito la ejecución del balance estático de las palas del rotor de cola del helicóptero Robinson R44 con el implemento de un banco de pruebas acorde al manual de mantenimiento correspondiente para una adecuada estabilidad del helicóptero en todas sus fases de vuelo. De la misma manera, beneficio para la empresa EUROFISH ya que ofrece esta tarea de mantenimiento a todos sus clientes en la flota de Robinson.

El proyecto abarca la posibilidad de ejecutar otras tareas de mantenimiento además de la principal que es el balance estático y sirve de provecho para un óptimo desempeño del personal involucrado y vuelo seguro de la aeronave. La empresa puede también desarrollarse de mejor manera con el uso de la herramienta implementada y puede agilizar sus operaciones en gran magnitud.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1. Reseña empresa aérea EUROFISH

EUROFISH S.A. es una empresa que nace en el año 1998 en la ciudad de Manta, Provincia Manabí en la República del Ecuador. Se consolida como una unidad de negocio que se dedica a la fabricación de conservas en lata y pouch de atún y otros pelágicos pequeños. Gracias a la calidad del producto en el año 2005 empieza a abastecer mercados en América y Europa. Y, por consiguiente, en los próximos años inicia un proceso de ampliación de toda su planta de producción. (EUROFISH S.A., 2020)

La actividad de prospección pesquera se realiza con veintiún barcos en total, de los cuales siete son adecuados con plataformas para llevar a bordo helicópteros. La misión que tienen estos últimos en la marea es visualizar y localizar el pescado en el océano y hacer de la pesca un proceso mucho más rápido y eficiente. Por esta razón, la logística tanto del barco como del helicóptero a bordo debe ser óptima antes del zarpe oficial. Especialmente el área de mantenimiento.

Es así que, EUROFISH S.A. decide ampliar sus capacidades e incursiona en el ámbito de la aviación visto la necesidad de helicópteros para la pesca. Por ello, empieza en el año 2019 con los procesos para acreditarse como una Organización de Mantenimiento Aprobado (OMA) donde puede efectuar las tareas de mantenimiento de sus helicópteros de forma legal y segura; llevándola a constituirse como tal el mes de julio del año 2020.

En la actualidad la empresa posee siete helicópteros con la mira de adquirir nueva flota para abastecer los buques de pesca. He ahí la necesidad de crear su propio taller de mantenimiento avalado por la Dirección de Aviación Civil (DGAC). Además, que puede ampliar sus negocios con la afiliación de propietarios y operadores de helicópteros Robinson R44 que soliciten los bienes y servicios que oferta esta empresa de aviación.

Figura 1

Taller de la Organización de Mantenimiento Aprobado (OMA) EUROFISH



Nota: Se muestra las instalaciones del taller de mantenimiento EUROFISH.

2.1.1. Certificaciones aeronáuticas de la empresa

OMA EUROFISH está certificada por la Autoridad Aeronáutica Civil (AAC) bajo la Parte 145 de las Regulaciones de la Dirección de Aviación Civil (RDAC) que hace referencia a Organización de Mantenimiento Aprobado (OMA). Ésta acreditación permite ejecutar el mantenimiento acorde a sus alcances o llamado también Certificado de Aprobación, mientras no sea revocado o suspendido.

De esta manera, la empresa es responsable de realizar mantenimiento a las aeronaves como se establece en su lista de capacidades, en el programa de mantenimiento aprobado por la Dirección General de Aviación Civil (DGAC), el Manual de Organización de Mantenimiento (MOM), todos los documentos técnicos proporcionados por los fabricantes, y las leyes y regulaciones bajo las cuales se rige la aviación del Ecuador. (EUROFISH S.A., 2019)

2.1.2. Misión

Ofertar a propietarios y operadores el mejor servicio en mantenimiento preventivo y correctivo de helicópteros Robinson R44 con el compromiso profesional de nuestro personal técnico calificado y la disposición de un amplio stock de repuestos de esta aeronave, extendiendo nuestra posición líder al más alto punto de rentabilidad.

2.1.3. Visión

Posicionarnos en primer lugar de América Latina como taller de mantenimiento de aeronaves Robinson R44. Alcanzaremos la confianza y fidelidad de todos los operadores; como Organización de Mantenimiento Aprobado (OMA) capacitaremos en todas las ramas pertinentes a nuestros colaboradores, tecnificaremos las herramientas e infraestructura que poseemos a un punto incomparable para llegar a la calidad total de todos los helicópteros y los procesos que implican mantenerlos aeronavegables.

2.2. Compañía de helicópteros Robinson R44

2.2.1. Historia

La Compañía de helicópteros Robinson fue fundada por Frank Robinson en 1973 en Torrance California. La visión principal que tenía era fabricar los helicópteros de mejor calidad, confiables y más rentables del mundo. Su historia como fabricante nace en

1979 con la presentación del modelo R22 que se caracteriza por su motor recíproco de cuatro cilindros, el cual tomó fuerza por sus grandes ventajas económicas y asequibles.

Por tanto, hubo incremento de personas que aprendieron a volar esta aeronave.

(ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

Después de algunos años, en 1992, con el mismo diseño de helicóptero nace el modelo R44 con motor O-540 Lycoming con la ventaja de aumentar a cuatro el número de pasajeros que puede transportar. Con la acogida, en el 2002 se hace un avance en el mismo modelo presentando el mismo helicóptero con un motor a inyección llamado Raven II. En 2005, se genera la idea, entre Rolls Royce y Robinson, de un nuevo modelo a turbina hasta que en 2010 se aprueba el R66 tras el análisis de la Administración Federal de Aviación (FAA), con capacidad para llevar en total cinco pasajeros.

(ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

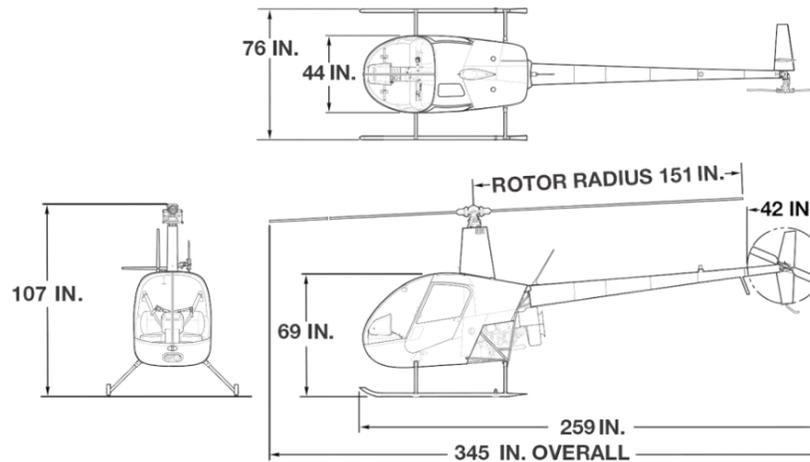
En la actualidad, la compañía ofrece diferentes versiones como flotantes, policiales y Cadet que es concretamente para entrenamiento. Además, para Robinson es imprescindible el desarrollo tecnológico a tal punto que ya oferta piloto automático para helicópteros. De la mano sigue la seguridad para todos los procesos de manufactura traduciéndolos en cursos constantes para todo el personal que implica la fabricación y desempeño de estas aeronaves. (ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

2.2.2. Modelos de helicópteros Robinson

- **Robinson R22**

Figura 2

Dimensiones del helicóptero Robinson R22



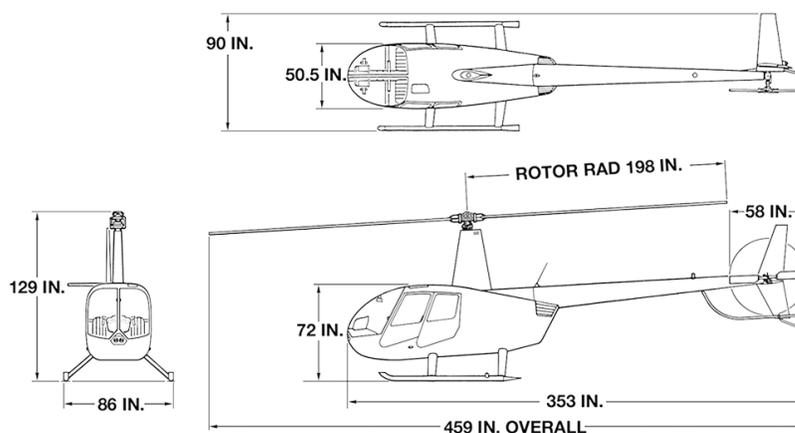
Nota: Se muestran las dimensiones del helicóptero Robinson R22. Obtenido de (ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

El helicóptero de dos plazas R22 Beta II es una aeronave con motor Lycoming O-360 de cuatro cilindros con 131 caballos de fuerza para despegar y 124 hp continuos, de tamaño reducido para proporcionar energía de respaldo y un mejor rendimiento en climas cálidos y de gran altitud. El peso bruto máximo de la aeronave es 1370 lb, el peso vacío aproximado que incluye aceite y parte de aviónica es 880lb. La carga en el tanque de combustible principal es 16.9 galones y en el tanque auxiliar 9.4 galones. La velocidad crucero es 96 kts alcanzando un máximo de 102 kts. La altitud de operación máxima es de 14000 pies y posee un sistema eléctrico de 14 Voltios. (ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

- **Robinson R44 RAVEN I Y CLIPPER I**

Figura 3

Dimensiones del helicóptero Robinson R44 RAVEN I y CLIPPER I



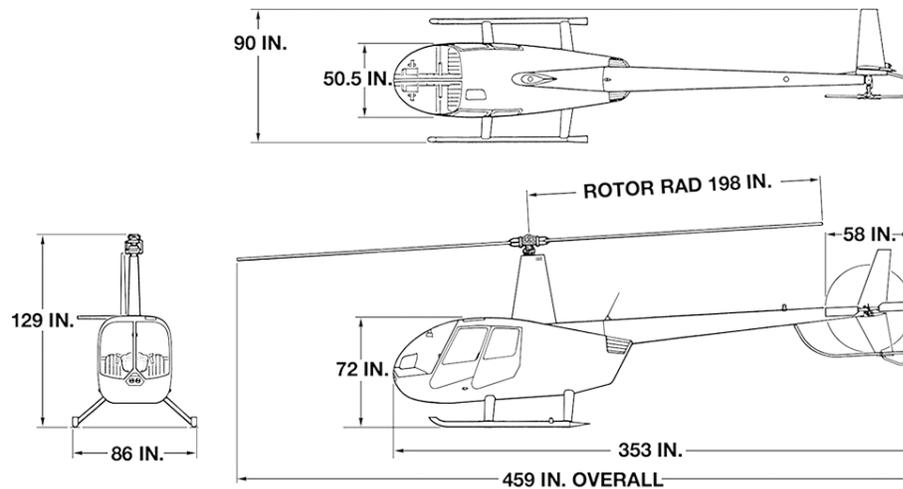
Nota: Se muestran las dimensiones del helicóptero Robinson R44 en versiones Raven I y Clipper I. Obtenido de (ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

Es un helicóptero con capacidad para cuatro pasajeros. Tiene un sistema rotor de dos palas, cíclico en forma de T. Además, Raven I y Clipper I utilizan motor O-540 a carburación de seis cilindros. La diferencia entre ambos yace en los flotadores, puesto que Raven I no posee flotadores y Clipper I sí está equipado con estos por motivo de desarrollar sus vuelos sobre grandes extensiones de agua. Posee 225 caballos de poder para despegar, peso bruto máximo de 2400 lb, capacidad de carga en el tanque principal de 29.5 galones y en el tanque auxiliar 17 galones, tiene una altitud máxima de operación de 14000 pies y sistema eléctrico de 28 Voltios. (ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

- **Robinson R44 RAVEN II Y CLIPPER II**

Figura 4

Dimensiones del helicóptero Robinson R44 RAVEN II y CLIPPER II



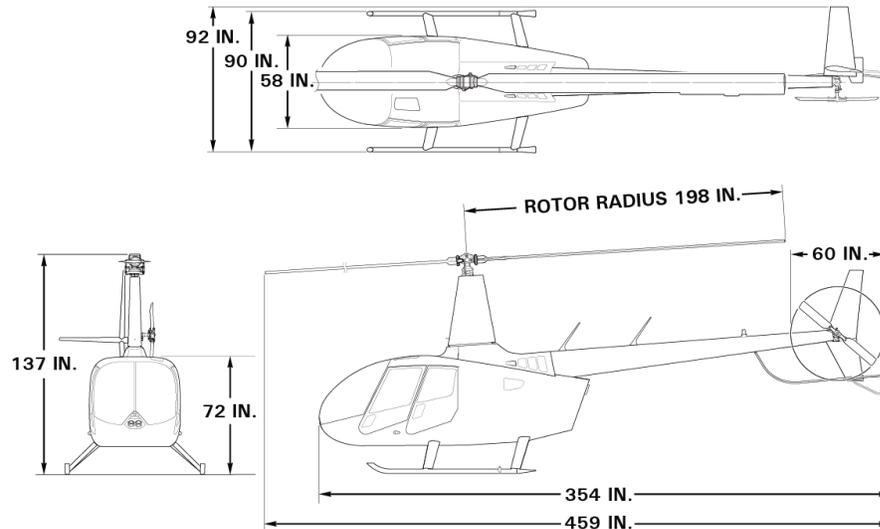
Nota: Se muestran las dimensiones del helicóptero Robinson R44 en versiones Raven II y Clipper II. Obtenido de (ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

Con las mismas características que el Raven I y Clipper I, la diferencia es que posee un motor a inyección IO-540 que le proporciona mejor altitud y performance. Poseen una tecnología avanzada incluyendo paneles de instrumentos optimizados y tanques de combustible resistentes al impacto. La característica principal es que elimina la necesidad de calentar el carburador para el encendido de la aeronave independientemente de la zona en la que opere porque ya no posee este componente. (ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

- **Robinson R66**

Figura 5

Dimensiones del helicóptero Robinson R66



Nota: Se muestran las dimensiones del helicóptero a turbina Robinson R66. Obtenido de (ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

Es un helicóptero con plaza para cinco pasajeros. Posee un sistema rotor de dos palas. La barra cíclica se mantiene en forma de T. La característica que hace especial este modelo es su capacidad de equipaje que supera 300 lb más a los otros modelos. En adición, posee un motor Rolls Royce RR300 lo que diferencia el tipo de combustible que utiliza por ser turbina. En este caso, Jet A. (ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

Está disponible el equipamiento con flotadores para este modelo lo que lo posiciona en un nivel de seguridad elevado cuando se trata de viajes sobre el agua. Tras ser activados, se inflan de dos a tres segundos y cuando no es necesaria su

activación se guardan en los skids del helicóptero. (ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

2.2.3 Características de 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 cilindros	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	Rolls Royce RR300 Turbine	300 shp	2700 lb	73,6 gal	110 kts	1000 fpm	14000 ft	28 Volt

Nota. Datos de performance de helicópteros Robinson. Obtenido de página oficial (ROBINSON HELICOPTER COMPANY, 2017)

2.4. Balance en helicópteros

2.4.1. Concepto de balance

Según la Real Academia Española, balance se denomina al “estado de un cuerpo cuando fuerzas encontradas que obran en él se compensan destruyéndose mutuamente.” Dicho de otra manera, contrapeso, contrarresto o armonía son sinónimos de este concepto. En adición, denomina al balance estático como “equilibrio en que se mantiene un cuerpo sólido cualquiera que sea la posición en que se coloque.” (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 2019)

Balance es un término importante que se encuentra presente en los procesos de mantenimiento de una aeronave que posee hélices para su propulsión. Tal es el caso del helicóptero Robinson en todas sus versiones. He ahí, se justifica el valor del proceso que se tiene que ejecutar en los rotores, tanto principales como de cola, para que exista armonía durante el vuelo y no represente un motivo para que las operaciones del mismo sean inseguras. En otras palabras, el concepto se resume en el objetivo de eliminar resonancia y vibración durante la operación de la aeronave.

El área encargada de vigilar este estado es el de mantenimiento el cual se guía y realiza la tarea acorde al manual de mantenimiento de la aeronave respectiva proporcionado por el fabricante.

2.4.2. Balance estático

Desde la perspectiva de los helicópteros es el procedimiento mediante el cual se equilibran las palas del rotor con el fin de eliminar resonancia y vibraciones durante el vuelo. Balance estático, en los rotores de cola, se denomina a la tarea que se ejecuta

previo a realizar balance dinámico en el mismo o comúnmente conocido como corrección de vibraciones.

La tarea de mantenimiento trata de posicionar las dos palas del conjunto de cola en una posición en la que no existe fuerza que desplace a la una y arrastre a la otra. Lo que incurre, en el uso de lastre en forma de arandelas que se colocan en las articulaciones de la misma para igualar el peso cuando se haya hecho la prueba y los cálculos correspondientes.

La tarea se basa en el uso de una herramienta especial de balanceo llamado Anderson 20, como lo indica el Manual de Mantenimiento del helicóptero Robinson R44 o en otro equipo de diferente diseño, pero con el mismo principio de funcionamiento.

La importancia se resume en la seguridad del conjunto rotor que engloba también el de la operación de la aeronave, puesto que, si las palas están balanceadas de forma errónea producen resonancia o vibraciones que pueden afectar estructuralmente el conjunto rotor y las juntas y materiales estructurales de todo el helicóptero. (Hélices CLERICI, 2012)

2.4.3. Balance dinámico

El balance dinámico para el helicóptero es importante por varias razones. Entre ellas se encuentra mejorar el performance de la aeronave especialmente en vuelo, alargar la vida del motor, evitar daños estructurales por la existencia de vibraciones y por lo tanto evitar futuros costos elevados en el mantenimiento de los componentes mayores y menores del helicóptero.

Balance dinámico se refiere al procedimiento de corregir las vibraciones a las que está expuesto el helicóptero, de igual manera, como se conceptualizó al balance estático,

es el procedimiento mediante el cual se equilibran las palas del rotor con el fin de eliminar resonancia y vibraciones durante el vuelo. La diferencia se halla en que el estático como su nombre lo indica, se ejecuta en una posición de reposo mientras el dinámico es necesario el helicóptero encendido, en estacionario y en vuelo.

La tarea de mantenimiento se basa en el uso de equipos de detección instalado en la aeronave cuyos nombres son VIBREX 2000, ACES, COBRA los cuales leen los datos de vibración que deben ser analizados en una tabla especificada por el manual de mantenimiento para añadir o quitar pesos de las articulaciones o de la cabeza del rotor para así balancear la aeronave tanto en tierra como en vuelo.

2.5. Inspecciones y/o mantenimiento aeronáutico

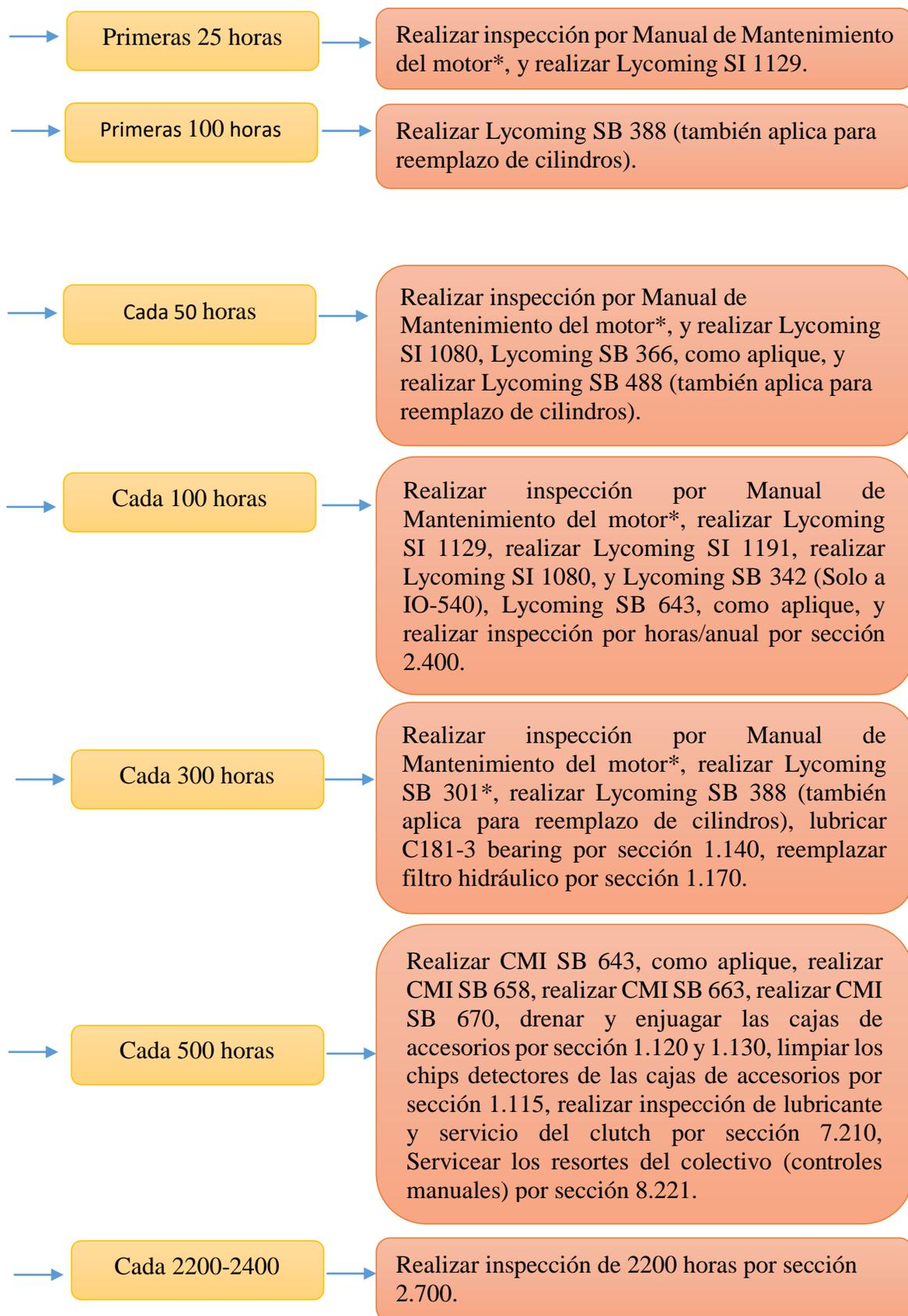
2.5.1 Concepto de inspección de una aeronave

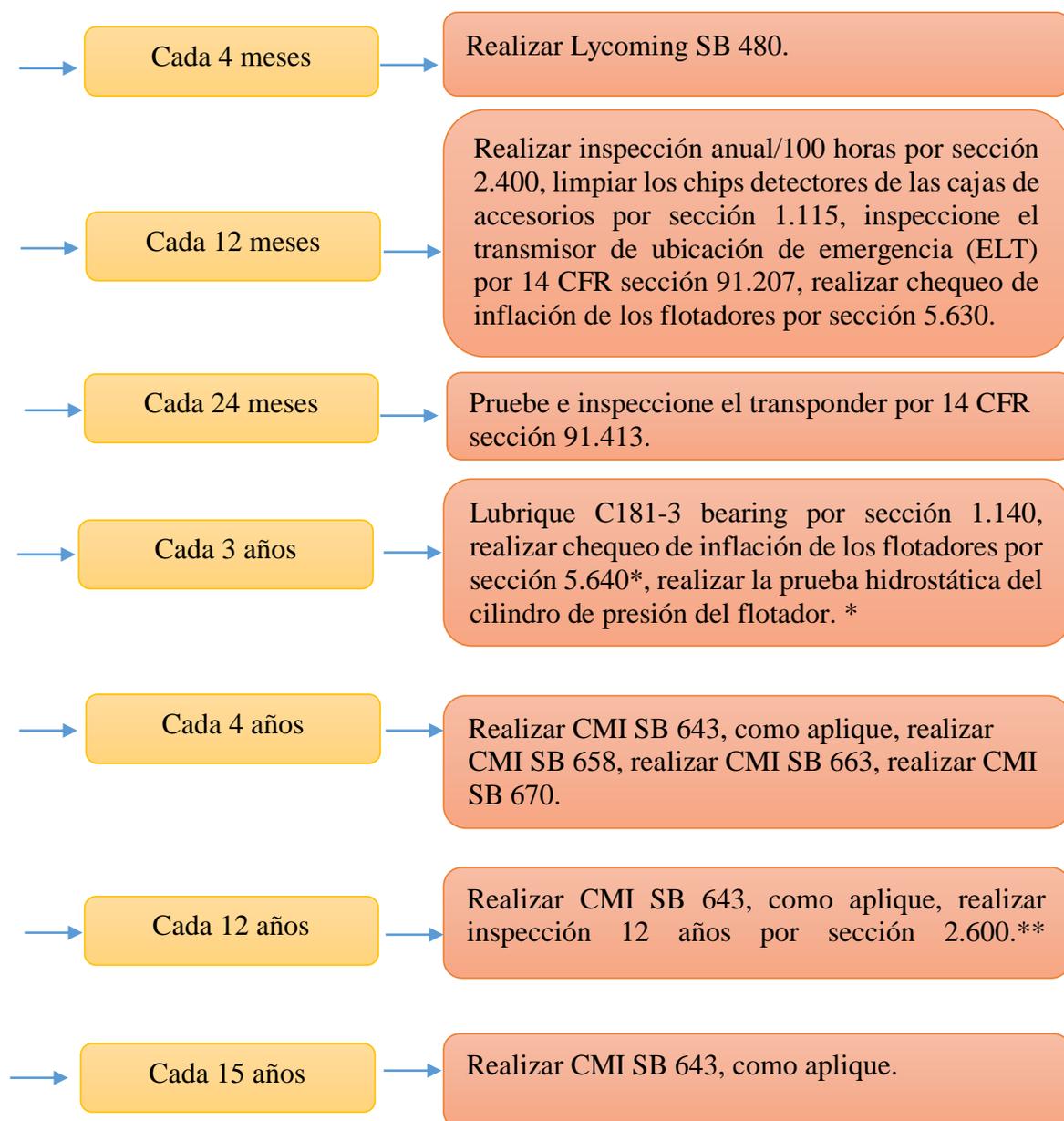
Una inspección se detalla como el chequeo periódico que se debe realizar obligatoriamente en una aeronave y sus componentes, en cualquier rama que se desempeñe como civil, comercial o militar. Esto después de haber transcurrido un ciclo tiempo específico o cierto número de horas voladas por la aeronave. (Aeronautical Business School, s.f.)

2.5.2 Tipos de inspecciones para el helicóptero Robinson R44

Como se especifica en el anexo A, tabla 1 del manual de mantenimiento de la aeronave Robinson R44 las inspecciones son:







*Intervalo más corto que el publicado en el documento de referencia.

**Inspección de 12 años es requerida solo para helicópteros que han acumulado años en servicio y menos que 2200 horas de tiempo en servicio desde nuevo, desde la última inspección de 2200 horas, o desde la última inspección de 12 años.

Nota: Las siglas e instrucción de cada instrucción cumplida en el helicóptero se puede observar en el Anexo B.

2.6. Tipos de inspecciones aeronáuticas

Existen dos tipos de inspecciones de mantenimiento en el ámbito aeronáutico:

Mantenimiento Programado: Tareas de mantenimiento efectuadas tras el hallazgo de una falla que, a corto o largo plazo, afecta la aeronavegabilidad de la aeronave.

Mantenimiento no programado: Se lleva a cabo conjuntamente con un plan de mantenimiento efectuado con el fin de conservar las condiciones originales de seguridad y aeronavegabilidad. (ICAO, 2012)

2.7 Tiempos de inspección aeronáutica

- **Revisiones en tránsito.** - Se realiza previo cada vuelo o escala que realice la aeronave para descartar posibles anomalías como daños en la estructura de la aeronave. (Aeronautical Business School, s.f.)
- **Chequeos de 48 horas.** - En ocasiones sustituye a la inspección diaria y está a consideración de cada operador. Un ejemplo de lo que se realiza en este tiempo de inspección es revisión de neumáticos. (Aeronautical Business School, s.f.)
- **Verificaciones de tiempo límite.** - Se dan acorde al número de horas que ha sido operada la aeronave y/o rodaje. Son aplicables para motores, aeronaves y sistemas. Se resume en cumplir la revisión tomando en cuenta el tiempo de operación. (Aeronautical Business School, s.f.)
- **Revisiones del ciclo de límites de operación.** - En algunos casos como son los helicópteros, se maneja con programas acorde a los ciclos de la aeronave. Como

ejemplo, se toma los álabes de la turbina que deben sujetarse a esfuerzos cíclicos. En este caso, un ciclo es un equivalente al número de vuelos efectuados tomando en cuenta el número de despegues y aterrizajes realizados. (Aeronautical Business School, s.f.)

- **Revisión A.-** Se cumple en un intervalo de 400 a 600 horas acorde a condiciones que ejecutan las compañías aéreas. Debe cumplirse en hangares o talleres avalados por la Autoridad Aeronáutica Civil. (Aeronautical Business School, s.f.)
- **Revisión B.-** Se estima que se realiza cada seis a ocho meses en una duración promedio de dos días. De igual manera, se realizan en talleres especializados.
- **Revisión C.-** El tiempo en el que se realiza puede ser especificado por el fabricante y requiere la inspección de mayor número de componentes de la aeronave. Por esta razón, se realiza en la base de mantenimiento donde la aeronave queda inoperativa hasta que se haya cumplido a cabalidad toda la revisión y pueda ser liberada. (Aeronautical Business School, s.f.)
- **REVISIÓN D.-** Son revisiones mucho más complejas, diferenciándose del resto por reparaciones que se realizan incluso en la estructura, la pintura es removida en su mayoría para realiza ensayos no destructivos y analizar la condición de aeronavegabilidad de las partes, y por el tiempo extenso que toma este tipo de revisión las compañías aprovechan para hacer mejoras en otros sistemas y bienes como tapizado, asientos, entre otros. (Aeronautical Business School, s.f.)

2.8. Modelos de herramientas para realizar balance estático.

2.8.1. Modelo 1. *Equilibrador universal magnético.*

Figura 6

Stand Balanceador de hélices a propulsión



Nota: Modelo de herramienta de balance estático. Recuperado de: (AliExpress, s.f.)

Ésta es una herramienta de centrado directo “perno directo” diseñado para hélices de drone, avión, helicópteros. Fabricado con material endurecido cuyo nombre se denomina acero de tungsteno. Varios ejemplos de su uso son para hélices de barcos o botes, spinners, ruedas de automóviles, rotores de helicópteros, ventiladores de chorro, entre otros. Una de las ventajas es que es desmontable y junto con le herramienta viene adjunto el procedimiento de uso ya que se adapta a accesorios de gran escala.

(AliExpress, s.f.)

La desventaja de esta herramienta, es que no posee ruedas para su movilización y debido al peso significativo que posee, se dificulta la transportación del mismo en el área

o taller de trabajo y no posee alternativas para nivelarla con la superficie del suelo en caso de que la tarea de mantenimiento se ejecute en un lugar a desnivel.

2.8.2. Modelo 2. TARO máquina de balanceo estática

Figura 7

Máquina de balanceo estática TARO



Nota: Equipo para realizar balanceo estático con conexión eléctrica. Recuperado de:

(SCHENCK ROTEC , s.f.)

La aplicación de este banco de pruebas es para rotores en forma de discos, ruedas de trenes, discos de rectificado, entre otros. El peso que hay que remover o añadir es calculado automáticamente por la computadora táctil integrada en este equipo. No requiere de algún implemento de seguridad ni de un procedimiento de tracción previo al cálculo cuyo tiempo de ejecución es muy corto. (SCHENCK ROTEC , s.f.)

La principal ventaja es que requiere de poco espacio de almacenamiento y con la compra solo se requiere de la conexión eléctrica para encenderlo. Por otra parte, el costo

de compra es elevado y requiere de calibración cada cierto tiempo para su funcionamiento por lo que no es muy comercial y representa una alternativa compleja en la toma de decisiones para adquirir un stand de balance por parte de los operadores.

(SCHENCK ROTEC , s.f.)

2.8.3. Modelo 3. Balanceador estático rotor de cola Robinson

Figura 8

Stand de balance estático para conjunto rotor de cola Robinson



Nota: Modelo de stand de balance estático para hélices de helicópteros Robinson.

Este diseño de herramienta está fabricado de monel o conocido como acero negro, posee un eje del mismo material con un perno de ajuste donde se inserta el conjunto rotor de cola de aeronaves Robinson R44. El costo de fabricación es cómodo para cualquier taller de mantenimiento. La desventaja principal es que debido al material con el que está fabricado es demasiado pesado por lo que se dificulta la movilidad. Es por esta razón, que posee tres ruedas giratorias para poder deslizar la herramienta completa al lugar de

trabajo donde se la requiera. En adición, está hecha de monel para una larga vida de la misma ya que es inoxidable y difícil de requerir mantenimiento a corto plazo.

Asimismo, posee cuatro pernos que permiten determinar el equilibrio a nivel del suelo por si las tareas de mantenimiento deben ejecutarse en superficies no uniformes. Esto se lo realiza con un instrumento llamado nivelador tipo burbuja cuya función es mostrar con precisión las líneas verticales, horizontales e inclinadas que forma un objeto con relación al suelo u otra superficie. (Cameselle, 2013)

2.9. Comparación de características los tres modelos descritos

Tabla 2

Parámetros comparativos de modelos de stand de balance estático.

CARACTERÍSTICAS/ MODELOS	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
MOVILIDAD	Puede ser transportado con un coche. No posee ruedas.	Difícil de mover debido a su instalación eléctrica y tamaño del equipo.	Muy fácil de transportar a pesar del peso gracias a las ruedas que posee.
ESPACIO DE ALMACENAMIENTO	De gran ventaja ya que no posee ramificaciones que involucre más espacio que el que representa.	Requiere de gran espacio para instalarlo ya que su computadora necesita una toma eléctrica.	Necesita un espacio regular en una bodega de herramientas.
MANTENIMIENTO	No requiere mantenimiento debido al material con el que está hecho, acero tungsteno.	Requiere de calibraciones cada cierto tiempo ya que tiene un software de análisis.	No requiere de mantenimiento a corto plazo. Gracias al material tiene un tiempo de vida extenso, acero negro.
MANIOBRABILIDAD	Fácil de utilizar y analizar.	Fácil de utilizar y analizar.	Fácil de utilizar y analizar.

CARACTERÍSTICAS/ MODELOS	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
APLICABILIDAD PARA HELICÓPTEROS ROBINSON	Sí aplica	No aplica	Sí aplica

Nota: Parámetros descritos con fuente propia.

CAPITULO III

3. Desarrollo del tema

3.1. Introducción

En este capítulo se describe la ejecución del balance estático acorde al manual de mantenimiento sección 9.230 parte A y B en las palas del rotor de cola del helicóptero Robinson R44 perteneciente a la empresa EUROFISH mediante el uso de una herramienta cuyo funcionamiento está especificado por el fabricante de la aeronave.

Para el uso de la herramienta mencionada, se desea conocer los resultados de resistencia estática de la herramienta implementada y el criterio de estabilidad según el peso de las palas de un rotor de cola. El estudio se realizó mediante un software por elementos finitos, simulando las condiciones reales de trabajo, con implante, interfase dinámica y tornillo. Los resultados obtenidos en el informe son puramente teóricos, debido a que el sistema está simulado en un entorno ideal (materiales, dimensiones y conexiones).

3.2. Beneficiarios

El proyecto técnico de titulación que se ha desarrollado beneficia directamente a la empresa privada EUROFISH específicamente a todo el personal de mantenimiento y tripulación de vuelo quienes deben ejecutar sus tareas haciendo uso de sus conocimientos y recursos con altos estándares de seguridad.

3.3. Selección de la herramienta

Tabla 3

Valores cuantitativos para análisis de parámetros

VALOR	DESCRIPCIÓN
1	Bajo rendimiento
2	Regular
3	Buen rendimiento
4	Muy bueno
5	Satisfactorio

Tabla 4

Análisis cuantitativo de parámetros de estudio en modelos.

CARACTERÍSTICAS/ MODELOS	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
MOVILIDAD	2	1	5
ESPACIO DE ALMACENAMIENTO	4	3	4
MANTENIMIENTO	3	3	5
MANIOBRABILIDAD	5	4	5
APLICABILIDAD PARA HELICÓPTEROS ROBINSON	5	5	5
TOTAL	19/25	16/25	24/25

Acorde a lo analizado cuantitativamente en la tabla 4, se determina que la mejor opción para aplicar en la tarea de mantenimiento descrita en la Sección 9.230 Parte A y B es el modelo de stand de balance número 3, debido a sus ventajas de fácil movilidad,

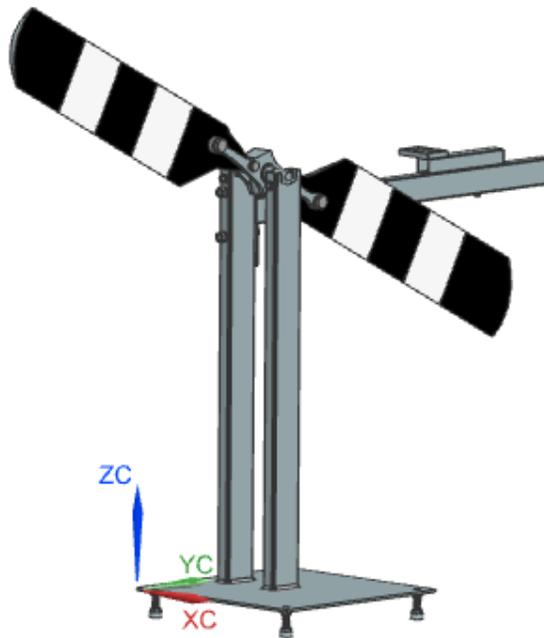
mantenimiento a corto plazo, espacio de almacenamiento satisfactorio, maniobrabilidad y aplicabilidad ajustable para lo requerido. Es así que la planimetría se encuentra detallada en el Anexo D con todas sus partes.

3.4. Stand de balance estático para Robinson. - simplificación

Se optó por simplificar la geometría del ensamble, de modo que se tenga las superficies necesarias para la observación de deflexión y estrés en el eje central del rotor. A continuación, se esquematiza las simplificaciones realizadas.

Figura 9

Ensamble original de la herramienta con el conjunto rotor de cola



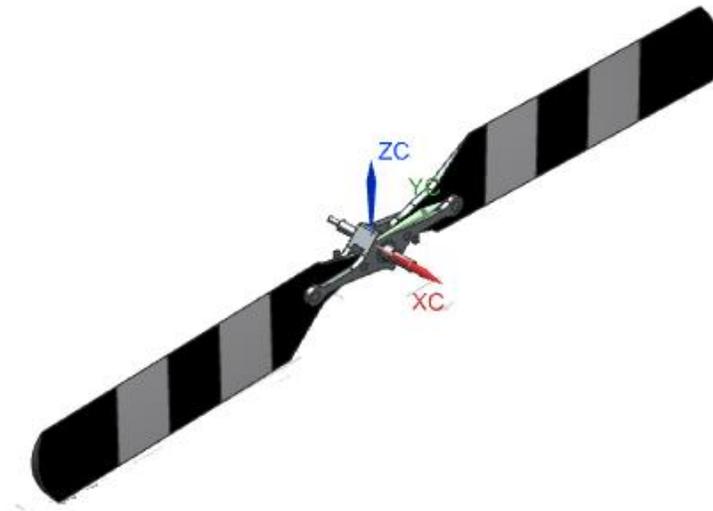
Nota: La imagen muestra la posición de las palas del conjunto rotor de cola del helicóptero Robinson R44 en el stand de balance seleccionado.

Las reducciones se fundamentan en la obtención de un modelo asimilable para los resultados. En base a este principio, se tiene que simplificar: pernos, tuercas, soportes, arandelas, roscas y cualquier otro objeto geométrico que sea irrelevante para la simulación. En el caso de pernos, se toma en cuenta el diámetro nominal y se lo sustituye por cilindros que representen la unión.

A continuación, se presenta el conjunto rotor de cola del helicóptero Robinson R44, posee una cabeza central que es la que sostiene las palas cuyo material de fabricación posee en su mayoría aluminio.

Figura 10

Modelo simplificado del conjunto rotor para el análisis



Nota: Diseño de las palas del helicóptero Robinson R44 insertadas en la cabeza del rotor.

3.5. Propiedades físicas de los ejes y las palas

Tabla 5

Valores de las propiedades físicas de las palas y ejes

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

Nota: Valores obtenidos del análisis estructural se detallan en el Anexo C.

3.6. Resumen análisis estructural estático

Tabla 6

Análisis estructural estático, resultado de factor de seguridad

ANÁLISIS ESTRUCTURAL ESTÁTICO						
<i>Se sometió a la estructura a la fuerza producida por el peso propio de sus componentes.</i>						
Denominación	Eje 1		Eje 2		Ensamble	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Esfuerzo equivalente Von Mises (MPa)	0	2,8919	0	2,2564	0	17,165
Deformación total (mm)	0	0,0071	0	0,0064	0	0.179
Factor de seguridad	15					

3.8. Implementación del stand de balance estático para Robinson R44

El stand de balance estático del conjunto rotor de cola del helicóptero Robinson R44 consta de varias partes ensambladas por pernos y tuercas para mayor facilidad de montaje y desmontaje. En adición, las partes que son de junta necesaria están hechas por medio de soldadura SMAW acorde al material. La herramienta, en su mayoría, está elaborada de acero negro y más conocido en la industria metalúrgica como monel.

Figura 11

Stand de balance estático para Robinson R44



Nota: Stand de balance estático aplicable a helicópteros Robinson R44

Debido al material con el que está construido el stand de balance se necesitan ruedas para transportarlo dentro del taller. Por esta razón se han añadido tres ruedas de material de goma para mayor adherencia al piso.

Figura 12

Representación de las ruedas ubicadas bajo la base de monel



Nota: Se muestra representación de la junta de las ruedas a la plataforma de monel del stand de balance estático

La diferencia en el material se halla en sus ruedas amortiguadas que son hechas de material sintético plástico y las cabezas de los pernos de nivelar que también son hecho de goma para mayor adherencia al piso una vez haya sido nivelada la herramienta con respecto a la superficie. Todas fijadas con soldadura Smaw gracias a su base hecha con monel para facilitar la movilidad de la herramienta en el taller y ofrecer mayor eficiencia con los pernos niveladores con el uso del nivelador tipo burbuja. De esta forma, el balance se torna más exacto y confiable.

Los pernos niveladores son cuatro ubicados en cada esquina de la plataforma base del stand y sirven de ayuda para ubicar a la herramienta horizontalmente adecuada. Esto es, que forme un ángulo de 90° con la superficie terrestre donde se ubique para trabajar.

Esto incurre en la perfecta demostración del desplazamiento de las palas, puesto que no habrá arrastre preferencial de una pala con otra.

Figura 13

Perno de ajuste a nivel de la superficie



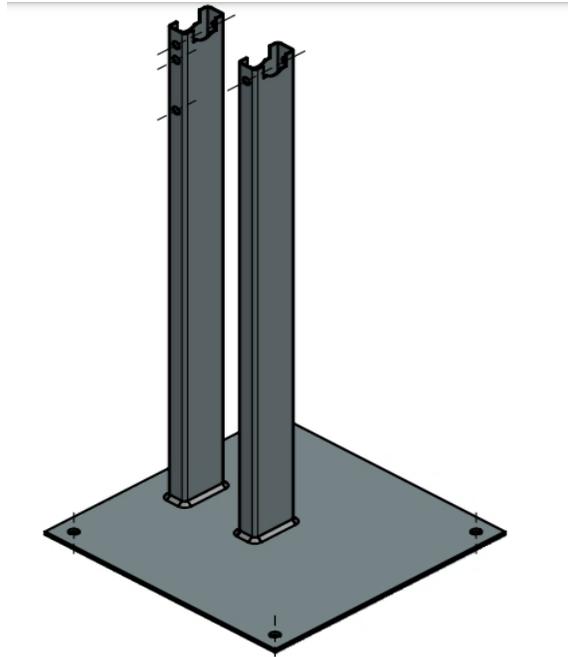
Nota: Muestra de la ubicación de los pernos de ajuste en la plataforma del stand de balance

La base de la herramienta es una plancha de monel la cual soporta los dos tubos de acero que sirven de apoyo para colocar el conjunto rotor de cola. Lo que permite este trabajo es el eje de acero negro que se ubica en la parte superior de ambos tubos, una vez que hayan sido insertadas las palas se asegura todo el conjunto tuerca al perno del eje central.

La representación de los dos tubos de acero con la plataforma base se puede observar en la Figura 14.

Figura 14

Plancha base de monel con tubos soportes para el conjunto rotor



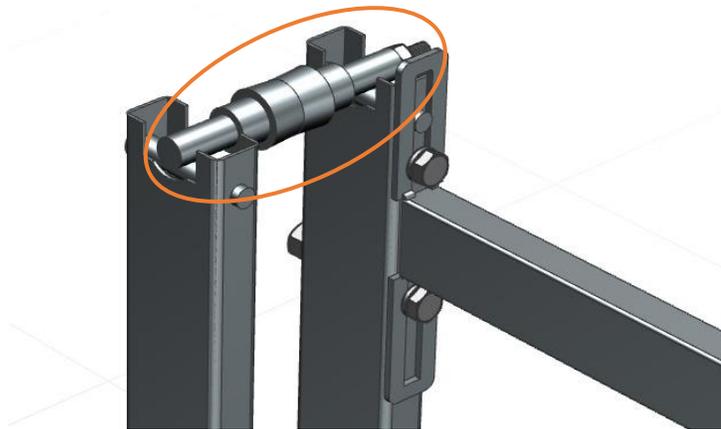
Nota: Modelado de los dos tubos de acero adheridos a la plataforma base de la herramienta.

Por otra parte, el eje que se posiciona en ambos tubos de acero es del mismo material, acero negro inoxidable. Su funcionalidad es posicionar y detectar la pala más pesada del conjunto rotor. Éste eje comprende un espárrago central que atraviesa la cabeza del conjunto rotor de cola cuya función es sostener las palas. Para asegurar este conjunto, posee un buje y una tuerca de seguridad.

La posición del eje del stand de balance se puede observar en la Figura 15 a continuación.

Figura 15

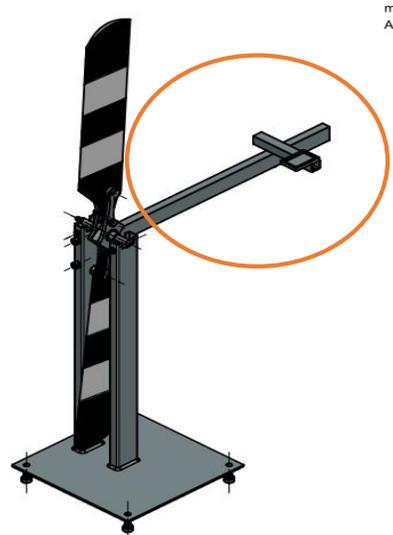
Eje de apoyo del stand de balance estático para el conjunto rotor de cola



Nota: Modelado de eje central de la herramienta posicionado en la misma para uso en tareas de mantenimiento.

En adición posee un brazo igualmente tubo de acero inoxidable cuya función es sostener la balanza en gramos donde será apoyadas las palas y serán pesadas las arandelas que sirven de lastre para compensar o disminuir la masa que equilibra las palas. Está unido a otro pequeño brazo móvil del mismo material que permite el movimiento libre de la balanza para que las palas puedan deslizarse libremente cuando se esté realizando la prueba de caída por gravedad.

La balanza en gramos es removible del stand, por ésta razón, se le considera como un accesorio adicional que puede ser ubicado o no en el brazo removible para pesar las arandelas. De igual manera, el brazo articulado que sostiene la balanza puede ser removido dependiendo del operador y su consideración para utilizar la herramienta para balancear las palas.

Figura 16*Brazos soportes para balanza*

Nota: Se muestra la articulación donde se coloca la balanza en gramos

3.9. Ejecución de tarea de mantenimiento a aeronave Robinson R44

La tarea de mantenimiento para hacer balance estático en el conjunto rotor de cola del helicóptero Robinson R44 está especificado por el fabricante en el manual de mantenimiento de la aeronave donde se puede observar la representación gráfica del proceso de la tarea y se describen los pasos que hay que seguir para tener los resultados esperados.

El objetivo de la tarea de mantenimiento es encontrar el mayor acercamiento del estado de reposo del conjunto rotor sea ubicado en posición vertical u horizontal en el stand de balance. Esto quiere decir, que ambas palas tienen un peso similar o igual y por tanto el efecto de gravedad no afectará para que la una pala arrastre a la otra una vez sean posicionadas en cualquiera de las dos situaciones.

3.10. Ejecución de balance estático en palas.

Tabla 7

Herramientas necesarias para ejecutar la tarea de mantenimiento

ITEM	HERRAMIENTAS	CANTIDAD
1	Llave 7/16	1
2	Llave 9/16	1
3	Stand de balance	1
4	Pie de Rey	1
5	Balanza en gramos	1
6	Escuadra 90°	1
7	Nivelador tipo burbuja	1
8	Torquímetro libras- pulgadas	1

Se describen las herramientas necesarias para realizar la tarea de mantenimiento acorde al manual de mantenimiento del helicóptero Robinson R44. Las llaves 7/16 y 9/16 de pulgadas sirven para aflojar y ajustar las tuercas de los pernos donde se nivelan las arandelas acorde a su peso. El stand de balance permite colocar el rotor de cola para nivelarlo acorde al efecto de gravedad. Para medir las arandelas es necesario tomar como referencia su espesor, por esta razón, se necesita calibrador pie de rey. De la misma manera, la balanza en gramos es útil para pesar las arandelas y determinar cual es la que permite el balance.

Figura 17

Herramientas necesarias para la tarea de mantenimiento



Nota: Herramientas necesarias para ejecutar un balance estático en conjunto rotor de cola del helicóptero Robinson R44

Por otro lado, la escuadra permite ubicar la cabeza del rotor en un ángulo de noventa grados en relación a la bara del eje donde va incrustado el conjunto rotor de cola para dejarlo caer cuando se quiera determinar cual es la pala más pesada. Por ultimo, el nivelador tipo burbuja es la herramienta con la que el operador nivela el stan de balance acorde a la superficie en donde se desarrolla la tarea. Y, el torquímetro libras – pulgadas es para dar el torque o ajuste en las tuercas, especificado en la sección 2.400 del manual de mantenimiento de Robinson.

Tabla 8

Equipo de Protección Personal para personal técnico

Equipo de Protección Personal

- 1 Overol de trabajo
- 2 Botas punta de acero
- 3 Guantes de fuerza

Figura 18

Conjunto rotor de cola de helicóptero Robinson R44



Nota: Conjunto rotor de cola preparado para ser insertado en el stand de balance

El primer paso es verificar que el conjunto rotor de cola se encuentre limpio en su superficie, libre de polvo o limalla que pueda afectar ligeramente el posicionamiento o caída de las palas cuando se realice la tarea.

Una vez reunidas las herramientas a utilizar en la tarea de mantenimiento, se preparó el stand de balance con respecto a la ubicación de la balanza en gramos para pesar las arandelas que harán de función de peso para nivelar las palas. En adición, la

herramienta contiene cuatro pernos en la base los cuales permiten la nivelación de la misma con respecto a nivel del suelo, se utilizó un medidor tipo burbuja para verificar la rectitud horizontal de la herramienta.

Figura 19

Stand de balance con nivel de superficies tipo burbuja y balanza



Nota: Stand de balance estático con nivel tipo burbuja y balanza en gramos

La tarea de mantenimiento específica determinar la pala más pesada. Para ello, cuando el stand de balance estuvo listo se ubicó verticalmente el conjunto rotor de cola de un helicóptero Robinson R44 en el eje principal de soporte de la herramienta asegurándola con la tuerca de ajuste.

Utilizando una escuadra se alineó perpendicularmente el eje del stand de balance con la cabeza del rotor de cola, tomando como referencia que se forme un ángulo de 90° . Suavemente se depuso de sostener a pulso y se dejó caer por efecto de la gravedad. El manual de mantenimiento estipula que si la pala, ubicada en la parte superior, cae primero del borde de ataque, significa que aquella es la más pesada. Por otra parte, si la pala cae del borde de salida la pala superior es la más liviana.

Figura 20

Medición de ángulo 90° vertical de la cabeza del conjunto rotor con el eje



Nota: Ejecución de balance en cuerda

Este movimiento que se realizó en primera instancia con las palas ubicadas verticalmente se denomina Balance Estático en movimiento de cuerda. La particularidad de este paso es que el balance se realiza en unos brazos articulados de la cabeza del conjunto rotor el cual sostiene las palas, como se indica en la figura 21. Ésta articulaciones tienen como función maniobrar los controles de vuelo con los pedales del helicóptero, lo que ocurre con el cambio del paso de las palas.

Es importante mencionar que es el primer movimiento que el manual de mantenimiento especifica ejecutar para continuar en posición horizontal en cuento a la ejecución de la tarea de mantenimiento.

Figura 21

Articulaciones llamadas Chordwise del conjunto rotor



Nota: Cabeza del rotor de cola de helicóptero Robinson R44

En estos brazos articulados se ubican dos brazos llamados enlaces de guiñado, los cuales permiten el cambio de ángulo de las palas siguiendo el movimiento del controlador. Acorde al manual de mantenimiento los enlaces de guiñado fueron sustituidos por dos rodamientos P/N B115-1 para simular que son enlaces de guiñado y acorde a las indicaciones se instaló de la siguiente manera como lo indica la figura 22. Esto se debe a que el enlace de guiñado por su característica de articulación con juego debido a la función que cumple en cuanto a control de vuelo uniendo las palas con el control de guiñado, representa cargas falsas por su movimiento, pintura, desgaste, entre otras características, cuando se realiza el balance estático. Por esta razón, se opta

retirarlos y reemplazarlos por la parte mencionada con anterioridad para que se ajusten los pesos en ambas palas en el balanceo sea equitativo en ambas.

Figura 22

Montaje del Chordwise



Nota: Montaje de perno y arandelas en cuerda

El manual de mantenimiento estipula que las palas están balanceadas en movimiento de guiñado cuando la pala superior no cae una vez posicionado el conjunto rotor en posición vertical en el stand de balance. En el caso de la tarea de mantenimiento efectuada, la pala más pesada se desplazó por lo que, se midieron nuevamente las arandelas y se aumentó peso en la pala más liviana.

Figura 23

Conjunto rotor de cola en posición guiñado para balance estático



Nota: Posición del conjunto rotor de cola insertado en el stand de balance estático

Nuevamente se hizo la prueba y se logró el balance estático realizando tan solo un movimiento en estas articulaciones. Por último, cuando ya estuvo balanceado verticalmente se ejecuta el balance en la cabeza del rotor de cola por la Sección 9.230 Parte B como se explica a continuación.

La parte B sección 9.230 especifica determinar la pala más pesada, la diferencia radica en ubicar y sostener horizontalmente el ensamble del rotor de cola en el stand de balance y luego permitirle caer. La pala que cae por el borde de ataque es la más pesada y la que se levanta con el borde de salida es la más liviana.

Figura 24

Rotor de cola en posición cabeza para balance estático



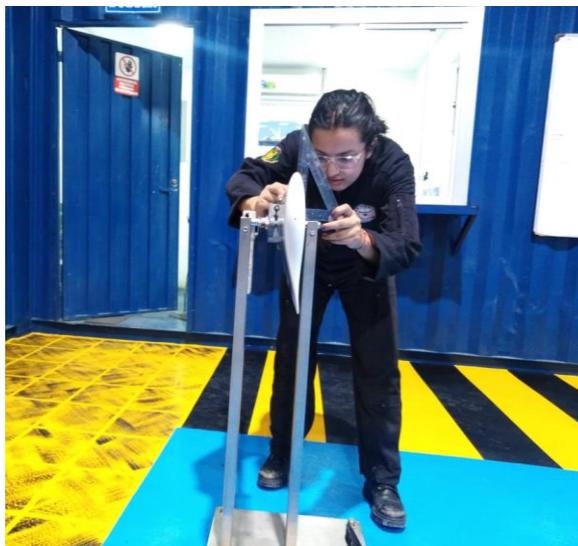
Nota: Conjunto rotor de cola posicionado en movimiento de cabeza para balance estático

La particularidad de este movimiento en la cabeza del rotor de cola es que el conjunto rotor una vez haya sido insertado en el eje principal de la herramienta debe ser sostenido de forma horizontal y graduado con una escuadra 90° como lo indica la figura 25. De esta manera, se seleccionan las arandelas para el balance tomando en cuenta que el manual describe el uso de cuatro. La medición de los grados se realizó tomando como referencia la barra del eje del stand de balance con la cabeza del rotor de cola del helicóptero Robinson R44.

Las palas están balanceadas en la cabeza del rotor de cola cuando no caen una vez son posicionadas de forma horizontal en el stand de balance; en el caso de esta tarea, las palas estuvieron equilibradas horizontalmente. Se recomienda dar los torques pertinentes cuando ya se haya comprobado el balance y asegurarse una vez más acorde a la sección 1.320 como lo sustenta el Anexo E.

Figura 25

Medición de ángulo 90° horizontal de la cabeza del rotor de cola con el eje



Nota: Conjunto rotor de cola en posición cabeza con medición de 90° respecto al stand

Acorde al manual de mantenimiento del helicóptero Robinson R 44 se volvió a chequear el balance tanto en movimiento de guiñado y en la cabeza del conjunto rotor de cola para determinar que efectivamente el balance estático está cumpliendo lo requerido. En adición, se colocan las líneas de fe acorde a la Sección 1.400 del manual de mantenimiento Anexo F y se dan los torques a los pernos acorde a tabla de torques Anexo E.

Es así que se ejecutó el balance estático tanto en cuerda como en la cabeza del rotor de cola del helicóptero Robinson R44 con matrícula HC-CSZ de la empresa EUROFISH acorde al manual de mantenimiento de la aeronave Sección 9.230 Parte A y B como lo detalla el Anexo F. De esta manera, se aprueba la tarea de mantenimiento efectuado acorde a parámetros aceptables y se determina que el conjunto rotor de cola se encuentra aeronavegable.

Finalmente, se determina que la herramienta implementada cumple con los estándares de seguridad, mantenimiento y operación requeridos por la Organización de Mantenimiento Aprobado EUROFISH debido a sus ventajas de movilidad en el área de trabajo, poco espacio de almacenamiento, mantenimiento a largo plazo, fácil maniobrabilidad y su aplicación idónea para cumplir con actividades de mantenimiento en helicópteros Robinson R44.

3.11. Presupuesto del proyecto de titulación

Tabla 9

Costos Primarios

DESCRIPCIÓN (material)	CANT.	C / U	VALOR TOTAL
Tubos y placa de acero	4	250.00	250.00
Transporte de materiales	1	40.00	40.00
Equipo de soldadura	varios	50.00	50,00
Balanza en gramos	1	30.00	30.00
Eje de ajuste	1	55.00	55.00
Pernos de ajuste	4	20.00	20.00
Ruedas para movilización de la herramienta	4	32.00	32.00
Soporte técnico	1	250.00	250,00
		TOTAL	\$ 727.00

Fuente: Investigación de campo

Tabla 10

Costos Secundarios

DESCRIPCIÓN (material)	CANT.	C / U	VALOR TOTAL
Herramientas	varias	-	80,00
Flash memory	1	18	18,00
Asesoría en software	1	80	80,00
Anillados	4	2	8,00
Imprevistos			200,00
VALOR TOTAL			\$ 386.00

Fuente: Investigación de campo

Tabla 11

Costo Total Proyecto de Titulación

VALOR TOTAL COSTO PRIMARIO	\$ 727.00
VALOR TOTAL COSTO SECUNDARIO	\$ 386.00
TOTAL	\$1113.00

Fuente: Investigación de campo

Costo total de Proyecto de titulación \$ 1113,00 dólares americanos.

CAPÍTULO IV

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

- La tarea de mantenimiento se detalla en el manual de mantenimiento de la aeronave Robinson R44 en la Sección 9.230 Parte A y B. La tarea de mantenimiento ha sido ejecutada en el helicóptero con matrícula ecuatoriana HC-CSZ. El torque fue efectuado acorde a la Sección 1.320 y las líneas de seguridad acorde a la Sección 1.400 del manual de mantenimiento de la aeronave.
- La herramienta cumple con los estándares de funcionamiento esperados. Se ha podido balancear el conjunto rotor de cola de la aeronave de forma estática como describe el manual de mantenimiento. Gracias a sus características de fácil movilidad, espacio de almacenamiento regular, ejecución de mantenimiento a largo plazo, maniobrabilidad aceptable y su aplicación ideal para trabajar con helicópteros Robinson R44, se ha seleccionado su modelo como el más satisfactorio para incluirlo en el listado de herramientas de la empresa.
- Acorde al Manual de Organización de Mantenimiento aprobado por la Dirección General de Aviación Civil, la tarea de mantenimiento es registrada en la Orden de Trabajo N° 0098 con formato elaborado por la Organización de Mantenimiento Aprobada y ha sido completada de manera satisfactoria de acuerdo a datos aceptables o aprobados por lo que se emitió el Certificado de Conformidad de Mantenimiento, detalle que puede ser verificado en el Anexo G.

4.2. Recomendaciones

- Cumplir con el mantenimiento anual prescrito en el manual de mantenimiento del stand de balance con el lubricante ACF 50 para protección contra la corrosión. A pesar de ser el material inoxidable, es recomendable llevar una limpieza continua de la herramienta.
- Utilizar equipo de protección personal especialmente botas de punta de acero ya que puede ocurrir golpes cuando el operador manipula el stand para su utilización. De igual manera, para transportarla en gradas o desniveles se recomienda que dos personas levanten la herramienta hasta estabilizarla en la superficie. No apoyarse o subirse en la herramienta cuando se está movilizándola sobre sus ruedas o incluso cuando ya está nivelada respecto al suelo del área de trabajo. Tomar en cuenta que la herramienta tiene su función y pueden ocurrir accidentes laborales si se la utiliza con un mal procedimiento o aplicación.
- Verificar la disponibilidad del rodamiento requerido en la tarea de mantenimiento con número de parte B115-1, en caso de no tenerlo, se debe realizar el pedido correspondiente para poder ejecutar la tarea de mantenimiento.

Bibliografía

- Aeronautical Business School. (s.f.). *itaerea*. Obtenido el 05 de Noviembre del 2020 de itaerea: <https://www.itaerea.es/mantenimiento-aeronautico#:~:text=Consisten%20en%20una%20inspecci%C3%B3n%20r%C3%A1pida,de%20alg%C3%BAn%20da%C3%B1o%20estructural%2C%20etc.>
- Aeronautical Business School. (s.f.). *itaerea*. Obtenido el 22 de Noviembre del 2020 de itaerea: <https://www.itaerea.es/escuela-gestion-aeronautica>
- AliExpress. (s.f.). *aliexpress*. Obtenido el 3 de Diciembre del 2020 de aliexpress: <https://es.aliexpress.com/item/4000739922317.html?spm=a219c.12057483.0.0.7288120atDOY6g>
- Cameselle, S. (24 de diciembre de 2013). *pisos*. Obtenido el 20 de Enero del 2021 de pisos: <https://www.pisos.com/aldia/el-nivel-de-burbuja/45355/>
- EUROFISH S.A. (2019). *MANUAL DE ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO (MOM)*. Manta: N/A.
- EUROFISH S.A. (2020). *eurofish*. Obtenido el 22 de Enero del 2021 de eurofish: <https://www.eurofish.com.ec/nuestra-historia>
- Hélices CLERICI. (2012). *helicesclerici*. Obtenido el 5 de febrero del 2021 de helicesclerici: <http://www.helicesclerici.com/procesos/>
- ICAO. (02 de Diciembre de 2012). *icao*. Obtenido el 5 de febrero del 2021 de icao: <https://www.icao.int/SAM/Documents/SVSOPGSAIRPAR12/Modulo%2010%20%E2%80%93%20Evaluaci%C3%B3n%20del%20programa%20de%20mantenimiento%20-%20incompleto.pdf>
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. (2019). *rae*. Obtenido el 12 de febrero del 2021 de rae: <https://dle.rae.es/equilibrio>
- ROBINSON HELICOPTER COMPANY. (2017). *robinsonheli*. Obtenido el 15 de febrero del 2021 de robinsonheli: <https://robinsonheli.com/company-information-2/>

SCHENCK ROTEC . (s.f.). *schenck-worldwide*. Obtenido el 20 de febrero del 2021 de schenck-worldwide: <https://schenck-worldwide.com/gt-es1/products/products/Taro.php>

TDROBOTICA. (s.f.). *tdrobotica*. Obtenido el 20 de febrero del 2021 de tdrobotica: <https://tienda.tdrobotica.co/retirados/1290-equilibrador-universal-.html>

Anexos